

ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.396.969:004.89

DOI: 10.34680/2076-8052.2025.3(141).468-483

Поступила в редакцию / Received 09.07.2025

ГРНТИ 47.49.29+28.23.29

Специальность ВАК 2.2.16.

Принята к публикации / Accepted 24.09.2025

Научная статья

КОГНИТИВНЫЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

Хомяков А. В., Логвинов С. С., Хомяков К. А., Лазин Ю. А.

Центральное конструкторское бюро аппаратостроения (Тула, Россия)

Аннотация. В статье представлен концептуальный подход к построению единого радиолокационного поля на основе когнитивной архитектуры с интеграцией технологий искусственного интеллекта. Обоснована необходимость перехода от традиционных систем контроля воздушного пространства к когнитивной системе, способной к обучению, адаптации и прогнозированию. Ключевым элементом является параллельное внедрение кластера искусственного интеллекта, обеспечивающего обработку данных в реальном времени без вмешательства в существующие контуры управления ситуационного центра. Модуль искусственного интеллекта функционирует как интеллектуальное расширение, снижая когнитивную нагрузку операторов и повышая устойчивость системы контроля воздушного пространства к современным угрозам, включая массовые атаки беспилотных летательных аппаратов и помеховые воздействия. Подчеркивается возможность эволюционного внедрения без остановки работы действующих систем, а также совместимость с мультисенсорной инфраструктурой. Предложенное решение формирует основу для устойчивой, масштабируемой и интеллектуальной системы обеспечения воздушной безопасности нового поколения.

Ключевые слова: *система контроля воздушного пространства, искусственный интеллект, когнитивная радиолокация, радиолокационное поле*

Для цитирования: Хомяков А. В., Логвинов С. С., Хомяков К. А., Лазин Ю. А. Когнитивные региональные системы контроля воздушного пространства // Вестник НовГУ. 2025. 3 (141). 468–483. DOI: 10.34680/2076-8052.2025.3(141).468-483

Research Article

COGNITIVE REGIONAL AIRSPACE SURVEILLANCE AND CONTROL SYSTEMS

Khomyakov A. V., Logvinov S. S., Khomyakov K. A., Lazin Y. A.

Central Design Bureau of Machine Building (Tula, Russia)

Abstract. The article presents a conceptual approach to building a unified radar field based on a cognitive architecture integrating artificial intelligence technologies. The necessity of transitioning from traditional airspace control systems to a cognitive system capable of learning, adaptation, and prediction is substantiated. A key element is the parallel implementation of an artificial intelligence cluster that enables real-time data processing without interfering with the existing control loops of the situation center. The AI module functions as an intelligent extension, reducing the cognitive load on operators and enhancing the resilience of the airspace control system to modern threats, including mass unmanned aerial vehicle attacks and electronic interference. The approach emphasizes the possibility of evolutionary implementation without interrupting the operation of existing systems, as well as compatibility with a multisensory infrastructure. The proposed solution forms the foundation for a sustainable, scalable, and intelligent next-generation airspace security system.

Keywords: *airspace control system, artificial intelligence, cognitive radar, radar field*

For citation: Khomyakov A. V., Logvinov S. S., Khomyakov K. A., Lazin Y. A. Cognitive regional airspace surveillance and control systems // Vestnik NovSU. 2025. 3 (141). 468–483. DOI: 10.34680/2076-8052.2025.3(141).468-483

Введение

Сегодня мы сталкиваемся с беспрецедентными вызовами в области контроля воздушного пространства. Рост числа беспилотных летательных аппаратов, появление высокоразвитых группировок малых дронов, сложные погодные условия и постоянно возрастающий объем обрабатываемых данных увеличивают оперативную нагрузку на радиолокационные системы и системы контроля воздушного пространства в целом, снижая эффективность ее применения. Операторы часто испытывают перегрузку (рисунок 1), сталкиваясь с огромным количеством данных, из-за чего возрастает вероятность ошибок и промедлений в принятии решений.



Рисунок 1. Типовой ситуационный центр принятия решений

В ответ на эти вызовы разрабатываются инновационные решения, основанные на адаптации когнитивных технологий и искусственного интеллекта в радиолокации и системах контроля воздушного пространства. Эти технологии позволяют радикально изменить подходы к контролю воздушного пространства, создавая новую парадигму, объединяющую достижения науки и техники.

Данная статья рассматривает роль когнитивных систем на основе искусственного интеллекта в повышении эффективности и производительности существующих систем контроля воздушного пространства на базе применяемых радиолокационных станций и автоматизированных рабочих мест операторов в контексте региональных ситуационных центров.

Мы подробно опишем аппаратно-программные компоненты, лежащие в основе этих инновационных систем, и оценим перспективы их дальнейшего развития. Особое внимание уделяется тому, как внедрение искусственного интеллекта способно

коренным образом трансформировать функционирование распределенной системы радиолокационных станций [1, 2], сделать ее более эффективной и надежной в обеспечении безопасности воздушного пространства.

Воздушная угроза нового времени и необходимость когнитивного подхода

Современная воздушная обстановка характеризуется значительным усложнением и высокой степенью неопределенности, что вызвано ростом использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Эти платформы становятся все более разнообразными, технологически совершенными и представляют собой многоаспектную угрозу, охватывающую широкий спектр применений [3].

Использование БПЛА в современных угрозах

Разведывательные операции

БПЛА позволяют нарушителям вести скрытое наблюдение за стратегическими объектами и перемещениями войск, обеспечивая получение оперативной информации в режиме реального времени. Их малая заметность и автономность затрудняют обнаружение и противодействие, повышая эффективность разведки и снижая риск для персонала нарушителя.

Доставка взрывчатых веществ

Использование дронов для доставки взрывчатки или других поражающих элементов делает возможным проведение дистанционных атак на объекты с высокой степенью защиты, что значительно расширяет тактические возможности атакующих.

Электромагнитные атаки на инфраструктуру

БПЛА могут нести специализированное оборудование для проведения электромагнитных воздействий (например, генераторы импульсов или средства радиоэлектронной борьбы), направленных на вывод из строя критических систем управления и связи, что парализует работу инфраструктуры без необходимости физического проникновения.

Химические и биологические атаки

Использование беспилотников для доставки или распыления химических и биологических агентов открывает новые горизонты для проведения асимметричных и скрытных атак с потенциально катастрофическими последствиями для населения и военных сил.

Нарушение работы аэродромов

Атаки БПЛА способны вывести из строя или значительно ограничить работу аэродромов и авиационной инфраструктуры, что приводит к срыву планов, задержкам и риску авиационных происшествий. При этом комплексная защита таких объектов

от малогабаритных и быстро маневрирующих целей требует высокотехнологичных средств обнаружения и нейтрализации.

Роевые атаки БПЛА

Перегрузка систем ПВО множеством целей

Роевые тактики создают «эффект лавины» [4, 5] для средств ПВО, когда их возможности распознавания и обработки информации становятся узким местом. Системы оказываются неспособными эффективно выделить реальные угрозы среди многочисленных объектов, что ведет к снижению вероятности успешного перехвата.

Пробитие обороны путем насыщения

Массовое одновременное появление множества БПЛА позволяет «пробить» оборону путем создания чрезмерной нагрузки, в результате чего часть угроз проходит незамеченной или необработанной. Это требует принципиально новых архитектур систем защиты с распределенной обработкой и приоритетным управлением угрозами.

Парализация критической инфраструктуры

Координированные атаки способны нарушить работу объектов энергетики, связи, транспорта и управления, что приводит к существенным перебоям или полной остановке функционирования. Такое состояние, даже если временное, может вызвать катастрофические последствия как в военном, так и в гражданском контексте.

Дополнительные осложняющие факторы

Усложнение помеховой обстановки

Современные радиоэлектронные средства и массовое использование радиочастотного спектра создают насыщенную помехами среду, снижая эффективность обнаружения и идентификации целей. Это требует внедрения адаптивных алгоритмов подавления помех и повышения селективности систем.

Влияние метеоусловий

Погодные условия (дождь, туман, снег, сильный ветер) существенно влияют на характеристики распространения радиоволн и работу оптических систем, снижая качество и достоверность данных. Когнитивные системы должны учитывать эти факторы при принятии решений и адаптировать параметры работы сенсоров.

Активность биообъектов (птиц, насекомых)

Биологические объекты часто имитируют сигнатуры малоразмерных летательных аппаратов, создавая ложные цели и усложняя задачу классификации. Для эффективного фильтрования таких помех требуется глубокий анализ сигнатур и применение методов машинного обучения.

Когнитивный подход как решение современных вызовов

В условиях стремительно меняющейся и насыщенной угрозами воздушной среды традиционные методы обнаружения и идентификации требуют модернизации

и новой оптимизации. Когнитивные системы, основанные на принципах саморегуляции, обучения и адаптации, позволяют:

- автоматически различать и классифицировать широкий спектр целей, опираясь на комплексный анализ временных, частотных, пространственных и поведенческих признаков;
- прогнозировать поведение объектов с целью заблаговременного определения угроз и выбора оптимальных стратегий реагирования;
- адаптироваться к динамике радиочастотной, метео- и помеховой обстановки, повышая устойчивость и точность обнаружения;
- оперативно принимать решения и корректировать параметры работы оборудования в режиме реального времени, минимизируя влияние человеческого фактора и снижая время реакции.

Таким образом, внедрение когнитивных технологий становится необходимым и перспективным направлением для обеспечения эффективной защиты воздушного пространства и безопасности критически важных объектов в условиях современных и будущих вызовов.

Когнитивная архитектура контроля воздушного пространства: эволюционное внедрение модуля искусственного интеллекта

Одним из ключевых достоинств предлагаемой когнитивной архитектуры (рисунок 2) является возможность поэтапной интеграции высокопроизводительного кластера с функциями искусственного интеллекта в существующую систему контроля воздушного пространства ситуационного центра. В отличие от традиционных модернизаций, требующих остановки или глубокой реконфигурации действующих контуров управления, когнитивный модуль высокопроизводительного кластера с функциями искусственного интеллекта подключается параллельно – как дополнительный источник аналитических обзоров и достоверных сведений, работающий с теми же входными данными от распределенных радиолокационных станций, что и основные автоматизированные рабочие места ситуационного центра.

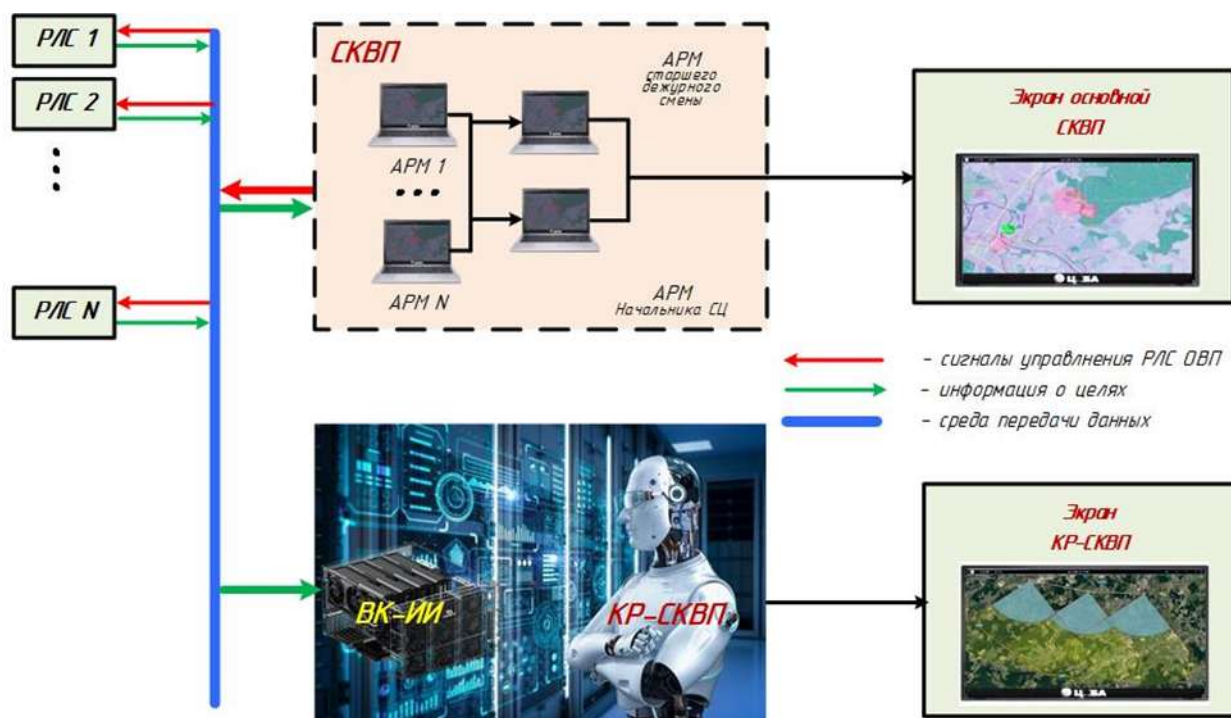


Рисунок 2. Интеграция высокопроизводительного кластера с функциями искусственного интеллекта и когнитивной системы контроля воздушного пространства в ситуационном центре

Это архитектурное решение позволяет высокопроизводительному кластеру с функциями искусственного интеллекта:

- получать, сохранять и анализировать потоки радиолокационной информации в реальном времени без вмешательства в критически важные цепочки управления и отображения ситуационного центра;
- адаптироваться к типовой структуре системы контроля воздушного пространства и минимизировать требования к существующей инфраструктуре;
- постепенно накапливать массивы исторических и текущих данных, необходимые для обучения моделей искусственного интеллекта и повышения их прогностической точности;
- выдавать операторам ситуационного центра рекомендации, основанные на глубоком анализе ситуации, выявлении скрытых взаимосвязей и автоматическом прогнозировании развития событий.

Таким образом, интеллектуальный модуль становится когнитивным усилителем для традиционной системы, действуя как высокоточный «второй контур интерпретации». Он не заменяет, а усиливает и дополняет систему контроля воздушного пространства, повышая ее устойчивость, адаптивность и эффективность принятия решений в условиях перегрузки или неопределенности.

Подобная интеграция особенно актуальна в условиях постоянного роста сложности воздушной обстановки, когда ни одна из изолированных подсистем – будь то человек-оператор, радиолокационная станция или автоматизированное рабочее место – не способна обеспечить своевременный и полный охват всех

аспектов ситуации. Высокопроизводительный кластер с функциями искусственного интеллекта берет на себя когнитивную нагрузку: он непрерывно обучается, уточняет вероятности, формирует приоритеты и помогает операторам сосредоточиться на ключевых решениях.

Внедрение вычислительного кластера с функциями искусственного интеллекта по параллельной модели обеспечивает устойчивый путь к когнитивной трансформации системы контроля воздушного пространства в когнитивную распределенную систему контроля воздушного пространства, позволяя развивать интеллектуальные функции без риска сбоев и с полной совместимостью с текущими структурами управления.

Вычислительная инфраструктура высокопроизводительного кластера с функциями искусственного интеллекта

Выбор архитектуры высокопроизводительной вычислительной платформы определяется задачами анализа радиолокационной информации в реальном времени, возможностью масштабирования и надежностью. Возможны несколько альтернативных вариантов построения такой инфраструктуры, каждый из которых имеет свои особенности и должен рассматриваться при формировании технического задания на модернизацию системы контроля воздушного пространства.

Вариант 1. GPU-кластер для централизованной обработки

Описание: вычислительный кластер на базе серверов с графическими ускорителями (NVIDIA A100, H100 и др.) с фокусом на централизованную обработку больших массивов данных.

Преимущества: высокая производительность, зрелая экосистема программного обеспечения, масштабируемость.

Недостатки: высокое энергопотребление, требования к охлаждению, возможные задержки при передаче данных от удаленных радиолокационных станций.

Рекомендуется, если приоритет отдается точности, глубокой аналитике и наличию надежной сетевой инфраструктуры.

Вариант 2. Гибридная архитектура с ARM/FPGA модулями на периферии

Описание: децентрализованная архитектура с распределенной предобработкой сигналов на периферийных узлах (например, ZynqUltraScale+), с передачей обработанных данных в центр.

Преимущества: низкая задержка, снижение сетевой нагрузки, устойчивость к сбоям.

Недостатки: повышенная сложность в синхронизации и обновлении программного обеспечения.

Рекомендуется, если важна автономность и отказоустойчивость отдельных узлов системы.

Вариант 3. Контейнеризованная облачная архитектура

Описание: использование Kubernetes-кластера (набор компьютеров, которые запускают контейнеризированные приложения) на локальных или распределенных ресурсах.

Преимущества: гибкость в управлении, быстрая масштабируемость, объединение команд разработки и эксплуатации.

Недостатки: требования к информационно-технологической инфраструктуре, необходимость внедрения методологии разработки программного обеспечения, направленной на автоматизацию процессов сборки, тестирования и развертывания.

Рекомендуется, если модернизация предполагает долгосрочное развитие и интеграцию с другими цифровыми платформами.

Критерии выбора архитектуры для технического задания на модернизацию системы контроля воздушного пространства:

- тип и плотность радиолокационных источников в регионе;
- пропускная способность и надежность сетевой инфраструктуры;
- уровень доступного энергоснабжения и охлаждения;
- квалификация обслуживающего персонала и возможности для технической поддержки;
- необходимость обработки первичной и вторичной радиолокационной информации;
- финансовые и временные рамки проекта модернизации.

Таким образом, выбор архитектуры высокопроизводительного кластера с функциями искусственного интеллекта должен быть обоснован в техническом задании в зависимости от задач, масштабов, ресурсов и возможностей интеграции с существующей системой контроля воздушного пространства ситуационного центра.

Функции когнитивной обработки и адаптации

Ключевым элементом новой парадигмы радиолокационного мониторинга становится применение искусственного интеллекта для когнитивной обработки радиолокационной информации. Благодаря возможностям современных моделей машинного обучения и предиктивной аналитики, система с искусственным интеллектом и высокопроизводительным кластером приобретает свойства, выходящие за пределы классической автоматизации: обучаемость, контекстуальность, предвидение и способность к самооптимизации.

Платформа высокопроизводительного кластера с функциями искусственного интеллекта выполняет не просто фильтрацию или предварительный анализ сигналов, а реализует многоуровневую обработку, включающую:

- формирование и постоянное обновление трехмерной модели радиолокационного поля с учетом рельефа местности, урбанизации и динамических помех;
- выявление паттернов в траекториях и поведении воздушных объектов (включая БПЛА, метеоявления, фрагменты отражений от зданий и биообъектов);
- обнаружение аномалий и событий, нехарактерных для конкретного региона или времени суток;
- генерацию прогнозов развития обстановки на основании обученных временных и пространственно-динамических моделей;
- формирование рекомендаций по изменению режимов работы радиолокационных станций, включая адаптивное распределение частот, направлений обзора и плотности зондирования;
- выдачу решений в формате ситуационного резюме с приоритетной маркировкой угроз и отображением наиболее вероятных сценариев развития событий.

Преимуществом когнитивной обработки является учет локального контекста – система обучается на реальных исторических и текущих данных конкретного региона. [6, 7]. Это позволяет формировать уникальную, «регионально специализированную» модель воздушной обстановки, адаптированную под географию, климат, помеховую обстановку и характер типичных угроз.

Кроме того, модули с искусственным интеллектом способны автоматически адаптироваться к изменениям входных условий – например, к смене радиолокационного парка, добавлению новых источников радиолокационной информации или изменению протоколов передачи. Это позволяет сохранять высокую эффективность системы даже при развертывании в условиях ограниченного контроля или при динамическом росте числа сенсоров.

Таким образом, технологии искусственного интеллекта в рамках высокопроизводительного кластера с функциями машинного обучения не являются вспомогательным инструментом, а выступают ядром когнитивной радиолокационной экосистемы, обеспечивая интеллектуальный уровень анализа, необходимый для противодействия современным и будущим воздушным угрозам.

Перспективы мультисенсорной интеграции в мониторинге воздушной обстановки

Одним из ключевых направлений развития когнитивных систем контроля воздушного пространства является расширение спектра используемых источников данных за пределы радиолокационной информации (рисунок 3).

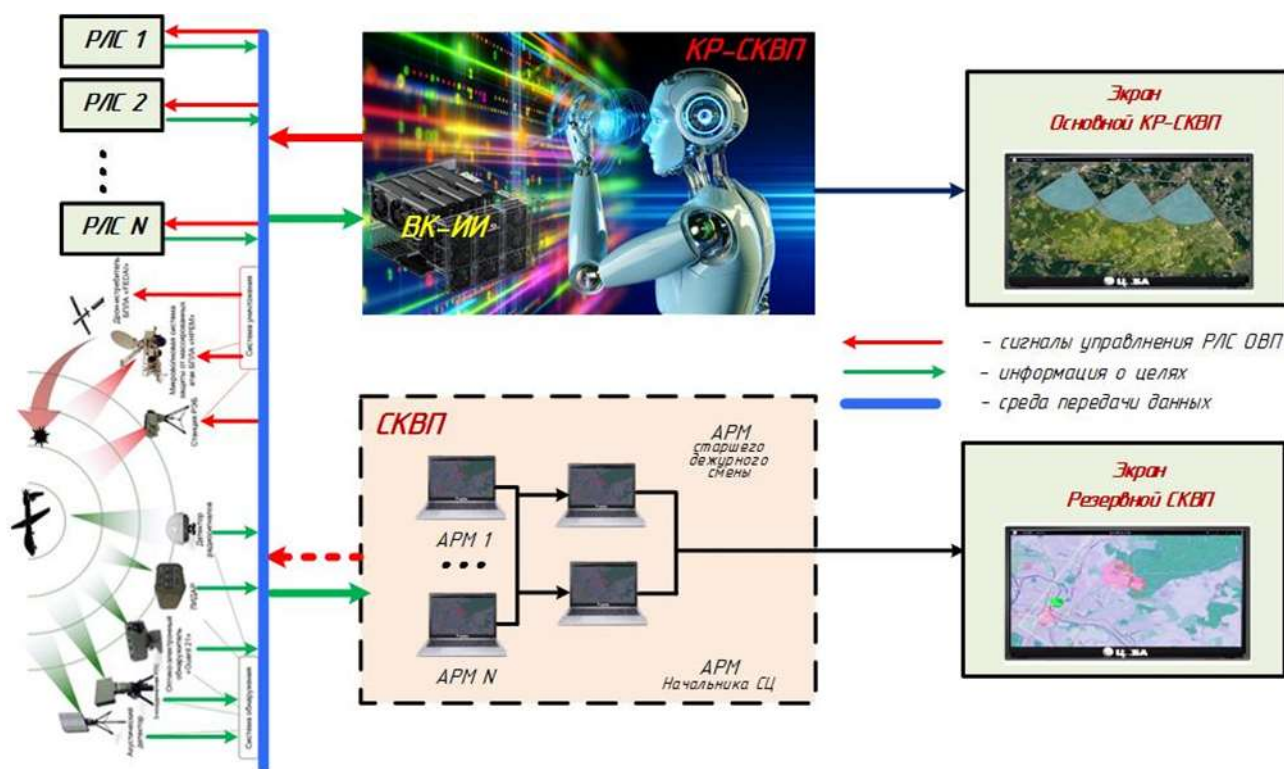


Рисунок 3. Мультисенсорная интеграция в когнитивную распределенную систему контроля воздушного пространства [8]

Мультисенсорная интеграция позволяет существенно повысить достоверность, полноту и устойчивость анализа воздушной обстановки за счет объединения разнородных информационных каналов в единую когнитивную модель восприятия.

Наиболее перспективными направлениями интеграции являются [6]:

- оптические и инфракрасные системы (ИК): позволяют распознавать объекты при плохих метеоусловиях или в условиях слабых радиолокационных отражений. ИК-камеры обеспечивают идентификацию тепловых сигнатур и малозаметных целей;

- системы видеонаблюдения высокого разрешения: визуальное подтверждение типа цели, оценка ее поведения, анализ траектории с помощью видеотрекинга. В сочетании с искусственным интеллектом возможна автоматическая классификация объектов;

- сенсоры радиопеленгации и радиотехнической разведки: дают возможность локализовать источники радиоизлучения и соотносить их с радиолокационными и визуальными наблюдениями. Особенно актуальны для выявления активных БПЛА или средств радиосвязи противника;

- системы радиоэлектронной борьбы: при правильной интеграции могут не только подавлять, но и маркировать активные сигналы, повышая информативность данных по вражеской активности и обеспечивая синергетический эффект с радиолокационными станциями и аналитикой искусственного интеллекта;

- акустические и сейсмические сенсоры: особенно эффективны в маловысотных зонах и при обнаружении низкоскоростных объектов;
- метеодатчики и атмосферные профили: позволяют искусственному интеллекту учитывать текущее состояние среды распространения волн и тем самым улучшать точность прогноза обнаружения и локализации объектов.

Высокопроизводительный кластер с функциями искусственного интеллекта функционирует как интеграционный хаб, преобразующий и согласовывающий данные от различных источников в общую информационную картину. Благодаря этому реализуется принцип ситуативного интеллекта — системы, способной не только фиксировать, но и интерпретировать события, адаптируясь к сложной, динамически изменяющейся обстановке.

В перспективе мультисенсорная архитектура позволит:

- повысить устойчивость системы к помехам и отказам отдельных сенсоров;
- расширить спектр детектируемых угроз (в том числе пассивных и скрытых);
- использовать гибридные методы обработки данных (радарные + визуальные + спектральные);
- создавать распределенные узлы наблюдения на базе мобильных и стационарных платформ.

Таким образом, переход от радиолокационного мониторинга к интегрированной мультисенсорной среде восприятия открывает новые горизонты в автоматизации и интеллектуализации систем контроля воздушного пространства. Он превращает когнитивную распределенную систему контроля воздушного пространства в гибкую, адаптивную, масштабируемую экосистему, способную оперативно реагировать на угрозы любого типа в режиме реального времени.

Этапы эволюции системы контроля воздушного пространства: от классики к когнитивной архитектуре

Развитие систем контроля воздушного пространства с применением вычислительных кластеров с функциями искусственного интеллекта предполагает не одномоментную замену действующих средств, а пошаговую эволюцию, интегрирующую новые технологии с минимальными рисками для непрерывной работы. Такой подход обеспечивает управляемость перехода, адаптацию персонала и возможность проверки эффективности новых решений в реальных условиях [4, 9].

Этап 1. Цифровизация и стандартизация данных от радиолокационных станций

1.1. Обеспечение стабильной и формализованной передачи радиолокационной информации от радиолокационных станций в цифровом виде.

1.2. Внедрение промежуточных шлюзов и адаптеров протоколов для интеграции с высокопроизводительным кластером с функциями искусственного интеллекта.

1.3. Архивирование и маркировка данных для последующего обучения искусственного интеллекта.

Этап 2. Параллельное, бесстрессовое внедрение высокопроизводительного кластера с функциями искусственного интеллекта

2.1. Развертывание вычислительного кластера на базе существующей информационно-технологической инфраструктуры ситуационного центра.

2.2. Подключение к потокам радиолокационной информации и запуск аналитических модулей искусственного интеллекта в тестовом режиме без влияния на основной контур управления.

2.3. Обучение нейросетевых моделей на архивных и оперативных данных.

Этап 3. Частичная когнитивная автоматизация процессов наблюдения

3.1. Внедрение автоматического выделения и классификации аномалий в радиолокационной информации.

3.2. Выдача рекомендаций оператору без права на изменение режимов работы оборудования.

3.3. Мониторинг точности и скорости реагирования модулей искусственного интеллекта.

Этап 4. Расширение когнитивных функций и автономного анализа

4.1. Использование искусственного интеллекта для построения прогнозов воздушной обстановки и раннего оповещения.

4.2. Адаптивное изменение режимов обзора и зондирования радиолокационных станций по командам от модулей искусственного интеллекта.

4.3. Интеграция с другими сенсорными системами.

Этап 5. Переход к распределенной когнитивной системе контроля воздушного пространства

5.1. Объединение нескольких ситуационных центров в общую сеть с распределенной обработкой, используя опыт внедрения искусственного интеллекта в региональных центрах.

5.2. Автоматическое перераспределение вычислительных и сенсорных ресурсов в зависимости от нагрузки и угроз.

5.3. Формирование ситуационного интеллекта на уровне страны или региона.

Преимуществом такого подхода является сохранение управляемости модернизации и плавная трансформация системы контроля воздушного пространства в когнитивную систему нового поколения, способную не только отображать, но и осмысленно интерпретировать и предсказывать развитие воздушной обстановки.

Каждый из этапов должен сопровождаться:

- оценкой прироста функциональности и достоверности;
- обратной связью от операторов ситуационных центров;

- подготовкой нормативной базы и инструкций;
- расчетом затрат и оценки рисков внедрения.

Таким образом, эволюционная траектория позволяет перейти от классической архитектуры системы контроля воздушного пространства к когнитивной экосистеме с минимальными организационно-техническими барьерами и максимальным приростом эффективности.

Будущее когнитивной РЛС-сети и стратегические перспективы

На финальном этапе эволюции системы контроля воздушного пространства когнитивные модули с искусственным интеллектом и мультисенсорные кластеры формируют основу распределенной интеллектуальной радиолокационной сети нового поколения. Это не просто модернизированная система наблюдения, а фундамент для построения устойчивой, самообучающейся экосистемы, адаптирующейся к внешним условиям и угрозам в режиме реального времени.

Выделяют следующие ключевые направления развития [5, 7, 10, 11].

- Единая национальная когнитивная платформа систем контроля воздушного пространства: объединение региональных центров в общую информационно-аналитическую систему, способную обмениваться моделями, данными и ситуационным контекстом для повышения общей устойчивости и точности прогнозирования.

- Интеграция с гражданскими платформами: когнитивные распределенные системы контроля воздушного пространства могут быть полезны для задач гражданской авиации, экологического мониторинга, стихийных бедствий и безопасности воздушного движения.

- Слияние искусственного интеллекта и цифровых двойников: развитие виртуальных моделей воздушной обстановки на основе цифровых двойников регионов позволит проводить сценарный анализ и опробовать реакции системы без риска вмешательства в реальную инфраструктуру.

- Адаптация под угрозы следующего поколения: когнитивная архитектура готова к расширению – например, к интеграции спутниковых данных, квантовых сенсоров или нейросетей с самонастройкой.

- Межведомственное и транснациональное взаимодействие: платформа, построенная на открытых протоколах и модульной архитектуре, может стать технологической основой для межведомственного обмена информацией, координации в чрезвычайных ситуациях и будущих международных программ коллективной воздушной безопасности.

Заключение

Переход от традиционной архитектуры системы контроля воздушного пространства к когнитивной – это не просто внедрение новых технологий, а системная трансформация принципов работы, мышления и взаимодействия человека и машины в контексте безопасности воздушного пространства.

Высокопроизводительные кластеры с функциями искусственного интеллекта, мультисенсорная интеграция, адаптивные алгоритмы и возможности самообучения формируют интеллектуальную платформу, способную обеспечить превентивный, устойчивый и осмысленный мониторинг воздушной среды.

Такой подход открывает путь к созданию многоуровневой цифровой оборонной инфраструктуры, в которой каждый компонент – от радиолокационной станции до модуля искусственного интеллекта – работает согласованно, прогнозирует угрозы и своевременно предоставляет обоснованные рекомендации операторам и системам автоматического реагирования.

Будущее распределенной системы контроля воздушного пространства – это когнитивная система, способная не просто видеть, а понимать, не просто фиксировать, а предугадывать. И ее развитие уже началось.

Список литературы

1. Gurbuz S. Z., Griffiths H. D., Charlish A., Rangaswamy M., Greco M. S., Bell K. An overview of cognitive radar: past, present, and future // IEEE Transactions on aerospace and electronic systems. 2019. 34 (12). 6–18. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8961364> (Дата обращения: 20.06.2025).
2. Татузов А. Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. Книга 28. Москва: Радиотехника, 2009. 432 с. (Научная серия «Нейрокомпьютеры и их применение»).
3. Пальгуев Д. А., Фитасов Е. С., Ильясафов А. Д. Система распознавания малоразмерных малоскоростных воздушных объектов по объединенной разнородной информации и неполным данным от пространственно-разнесенных датчиков // Датчики и системы. 2023. 1 (266). 16–22. DOI: 10.25728/datsys.2023.1.3
4. Cognitive radar. Final report of task group SET-227. NATO. URL: [https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-SET-227/\\$\\$TR-SET-227-ALL.pdf](https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-SET-227/$$TR-SET-227-ALL.pdf) (Дата обращения: 20.06.2025).
5. Thaens R. Cognitive sensors in the intelligence cycle // NATO CI Agency. STO Meeting Proceedings. URL: <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/STO-MP-SET-311/MP-SET-311-MSS-109.pdf> (Дата обращения: 20.06.2025).
6. Handbook of multisensor data fusion: theory and practice / Eds. Liggins II M., Hall D., Llinas J. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. 870 p. DOI: 10.1201/9781420053098
7. Кобан А. Я., Самотонин Д. Н. Научно-технические проблемы развития федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации и пути их решения // Военная мысль. 2017. 4. 14–18.
8. Глахтеев С. В. Система противодействия беспилотным летательным аппаратам с оптико-электронным типом наведения // Молодой ученый:

международный научный журнал. 2024. 36 (535). 8–15.
URL: <https://moluch.ru/archive/535/> (Дата обращения: 20.06.2025)

9. Бендерский Г. П. 25 лет Федеральной системе разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации: этапы становления и развития // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2019. 1 (28). 6–12.

10. Созыкин А. Г. Состояние и направления развития Федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации // Военная мысль. 2021. 2. 78–90.

11. Haykin S. Cognitive dynamic systems: perception-action cycle, radar and radio. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 394 p.

References

1. Gurbuz S. Z., Griffiths H. D., Charlish A., Rangaswamy M., Greco M. S., Bell K. An overview of cognitive radar: past, present, and future // IEEE Transactions on aerospace and electronic systems. 2019. 34 (12). 6–18. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8961364> (Accessed: 20.06.2025).

2. Tatuzov A. L. Neural Networks in Radar Problems. Book 28. Moscow: Radiotekhnika Publ., 2009. 432 p. (Scientific Series “Neurocomputers and Their Applications”). (In Russian).

3. Palguev D. A., Fitasov E. S., Ilyasafov A. D. Recognition system for small low-speed aerial objects using combined heterogeneous information and incomplete data from spatially distributed sensors // Sensors and systems. 2023. 1 (266). 16–22. DOI: 10.25728/datsys.2023.1.3 (In Russian).

4. Cognitive radar. Final report of task group SET-227. NATO. URL: [https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-SET-227/\\$\\$TR-SET-227-ALL.pdf](https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-SET-227/$$TR-SET-227-ALL.pdf) (Accessed: 20.06.2025).

5. Thaens R. Cognitive sensors in the intelligence cycle // NATO CI Agency. STO Meeting Proceedings. URL: <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/STO-MP-SET-311/MP-SET-311-MSS-109.pdf> (Accessed: 20.06.2025).

6. Handbook of multisensor data fusion: theory and practice / Eds. Liggins II M., Hall D., Llinas J. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. 870 p. DOI: 10.1201/9781420053098

7. Koban A. Ya., Samotonin D. N. Scientific-technical problems touching development of the rf federal system of air space reconnaissance and control and ways of their solution // Military thought. 2017. 4. 14–18. (In Russian).

8. Glakhteev, S. V. Counteraction system against unmanned aerial vehicles with optoelectronic guidance // Young scientist: international scientific journal. 2024. 36 (535). 8–15. URL: <https://moluch.ru/archive/535/> (Accessed: 20.06.2025). (In Russian).

9. Bendersky, G. P. Federal system of inspection and control of the air space of the Russian Federation 25 years. Results and prospects of development // Bulletin of Concern VKO “Almaz – Antey”. 2019. 1 (28). 6–12. (In Russian).

10. Sozykin, A. G. Status and development directions of the Federal System of Reconnaissance and Control of the Airspace of the Russian Federation // Military thought. 2021. 2. 78–90. (In Russian).

11. Haykin S. Cognitive dynamic systems: perception-action cycle, radar and radio. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 394 p.

Информация об авторах

Хомяков Александр Викторович – доктор технических наук, генеральный директор, Центральное конструкторское бюро аппаратостроения (Тула, Россия), ORCID: 0009-0008-9164-1538, cdbae@cdbae.ru

Логвинов Сергей Сергеевич – доктор технических наук, главный инженер, Центральное конструкторское бюро аппаратостроения (Тула, Россия), ORCID: 0009-0008-0866-0480, logvinov@cdbae.ru

Хомяков Кирилл Александрович – кандидат технических наук, начальник отделения, Центральное конструкторское бюро аппаратостроения (Тула, Россия), ORCID: 0009-0000-7456-9951, cdbae@cdbae.ru

Лазин Юрий Алексеевич – начальник отдела, Центральное конструкторское бюро аппаратостроения (Тула, Россия), ORCID: 0009-0009-5517-3754, yury.lazin@ckba-tula.ru