

УДК 623.618.3

Мирвалиев Иброхим Баходирович

Начальник цикла кафедры

Института информационно-коммуникационных технологий

и военной связи Республики Узбекистан

**ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ ТРЕНАЖЁРНЫХ
КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ**

Mirvaliev Ibrohim Bahodirovich

Head of the Department

of the Institute of Information and Communication Technologies

and Military Communications of the Republic of Uzbekistan

**FOREIGN EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF RADAR
TRAINING SYSTEMS**

Аннотация. В статье рассматривается зарубежный опыт создания тренажёрных комплексов для подготовки операторов радиолокационных станций (РЛС) в России, США, Китае и Турции. Проанализированы основные направления развития тренажёрных технологий, применяемые методы моделирования радиолокационной обстановки, архитектура современных тренажёрных систем и особенности подготовки операторов радиолокационных средств. Особое внимание уделяется применению виртуальной реальности, цифрового моделирования, распределённых вычислительных сетей и интеллектуальных систем оценки действий обучаемых. Проведён сравнительный анализ подходов различных государств к организации подготовки операторов РЛС. Определены перспективные направления совершенствования тренажёрных комплексов в условиях роста требований к радиолокационным системам и автоматизированным системам управления войсками.

Ключевые слова: радиолокационная станция, тренажёрный комплекс, оператор РЛС, моделирование, виртуальная реальность, цифровой полигон, радиотехнические войска, автоматизированное обучение.

Abstract. The article examines foreign experience in the development of training complexes for radar station (RLS) operators in Russia, the United States, China, and Turkey. The main directions of development of simulator technologies, methods of radar environment modeling, architecture of modern training systems, and specific features of radar operator training are analyzed. Particular attention is paid to the use of virtual reality technologies, digital simulation, distributed computing networks, and intelligent systems for assessing trainee performance. A comparative analysis of different national approaches to organizing radar operator training is carried out. перспективные directions for improving simulator complexes under conditions of increasing requirements for radar systems and automated command-and-control systems are identified.

Keywords: radar station, radar simulator, training complex, radar operator, digital modeling, virtual reality, air defense, radar troops, automated training systems, military simulation.

Введение

Современные радиолокационные станции являются ключевым элементом систем противовоздушной обороны, управления воздушным движением, разведки и навигационного обеспечения. Эффективность функционирования РЛС в значительной степени определяется уровнем подготовки операторов, осуществляющих обнаружение, сопровождение и классификацию целей в сложной помеховой обстановке.

Развитие высокотехнологичных средств воздушного нападения, беспилотных летательных аппаратов, малозаметных целей и радиоэлектронной борьбы обусловило необходимость совершенствования

системы подготовки операторов РЛС. В данных условиях традиционные методы обучения перестают обеспечивать необходимый уровень практических навыков, вследствие чего ведущие государства мира активно внедряют специализированные тренажёрные комплексы.

Тренажёрные комплексы позволяют: моделировать реальные условия радиолокационной обстановки; формировать навыки работы в условиях радиоэлектронного противодействия; отрабатывать действия операторов при высокой интенсивности воздушной обстановки; снижать эксплуатационные расходы на использование реальных РЛС; повышать безопасность учебного процесса.

В настоящее время наиболее развитые системы подготовки операторов РЛС сформированы в России, США, Китае и Турции. Каждая из этих стран реализует собственную концепцию построения тренажёрных комплексов, учитывающую особенности национальной военной доктрины, уровень развития радиоэлектронной промышленности и степень цифровизации вооружённых сил.

Современный тренажёрный комплекс представляет собой аппаратно-программную систему, предназначенную для имитации работы радиолокационной станции и воспроизведения условий реальной боевой обстановки.

Типовая структура тренажёрного комплекса включает: сервер моделирования; автоматизированные рабочие места операторов; систему визуализации радиолокационной информации; подсистему генерации помех; систему оценки действий обучаемых; базу сценариев воздушной обстановки; подсистему регистрации и анализа действий операторов.

Одним из ключевых параметров эффективности тренажёра является степень адекватности моделируемой обстановки реальным условиям боевого применения РЛС.

Интегральный показатель эффективности тренажёрного комплекса может быть представлен в виде:

$$K_{eff} = \sum_{i=1}^n w_i P_i \quad (1)$$

K_{eff} – интегральная эффективность тренажёра;

w_i – частные показатели эффективности;

P_i – коэффициенты значимости.

Применение подобных моделей позволяет количественно оценивать качество тренажёрных комплексов и проводить сравнительный анализ различных систем подготовки.

Российский опыт создания тренажёрных комплексов для РЛС

В России развитие тренажёрных комплексов традиционно связано с потребностями радиотехнических войск и войск ПВО. Основной особенностью подхода является высокая степень приближения тренажёров к реальным образцам вооружения.

Одним из важных направлений стало создание автономных тренажёров для подразделений радиотехнических войск. В отечественных разработках активно используются локальные вычислительные сети, обеспечивающие совместную работу нескольких операторов и руководителя обучения.

Согласно опубликованным данным [1], российские тренажёры включают: автоматизированные рабочие места операторов; серверы формирования воздушной обстановки; модули оценки эффективности действий; системы ведения журналов подготовки.

Особое внимание уделяется имитации: помеховой обстановки; групповых налётов; маловысотных целей; отказов аппаратуры; действий противника в условиях радиоэлектронной борьбы.

Важным этапом развития отечественных технологий стало внедрение распределённых тренажёрных комплексов, позволяющих объединять

несколько учебных классов в единую сеть. Подобный подход обеспечивает возможность коллективной подготовки расчётов РЛС и пунктов управления.

В России также активно развиваются технологии виртуальной реальности и цифрового моделирования [2]. Исследования в области создания виртуальных сред для подготовки операторов позволили повысить уровень реалистичности обучения.

Российские разработчики ориентируются на создание: модульных архитектур; масштабируемых вычислительных платформ; интегрированных систем оценки действий операторов; адаптивных алгоритмов формирования учебных сценариев.

Одной из особенностей российского подхода является стремление обеспечить идентичность интерфейсов тренажёра и реальной РЛС, что существенно снижает время адаптации операторов после перехода к работе на боевой технике.

Опыт США в создании тренажёрных комплексов РЛС

США являются одним из мировых лидеров в области создания высокотехнологичных тренажёрных систем военного назначения. Американский подход базируется на концепции сетевого моделирования боевых действий и интеграции тренажёров в единое информационное пространство.

Ключевыми особенностями американских тренажёрных комплексов являются: использование распределённых облачных вычислений; высокая степень автоматизации обучения; применение искусственного интеллекта; интеграция с системами боевого управления; широкое использование технологий виртуальной и дополненной реальности [3].

Американские тренажёры РЛС ориентированы не только на индивидуальную подготовку операторов, но и на обучение в составе единой системы ПВО. Это позволяет моделировать действия

радиолокационных подразделений, авиации, зенитных ракетных комплексов, командных пунктов и средств радиоэлектронной борьбы [4].

Существенное внимание уделяется имитации сложной воздушной обстановки, включая массированные удары, применение гиперзвуковых целей, рой беспилотников и постановку активных и пассивных помех.

В США активно применяются цифровые двойники радиолокационных систем, позволяющие моделировать поведение РЛС с высокой степенью точности.

Эффективность подготовки операторов определяется зависимостью:

$$P_{train} = \frac{N_s}{N_t} * 100\% \quad (2)$$

где:

P_{train} – показатель успешности подготовки;

N_s – количество успешно выполненных задач;

N_t – общее количество учебных задач.

Американские системы подготовки характеризуются высокой адаптивностью и способны автоматически изменять уровень сложности сценариев в зависимости от уровня подготовки обучаемого.

Китайский опыт создания тренажёрных комплексов для РЛС

Китай в последние годы демонстрирует стремительное развитие технологий военного моделирования и тренажёрных систем. Основу китайского подхода составляет сочетание зарубежных технологий и собственных разработок в области искусственного интеллекта и цифровой обработки сигналов.

Китайские тренажёрные комплексы ориентированы на: массовую подготовку операторов; быстрое освоение новых типов РЛС; снижение стоимости учебного процесса; интеграцию обучения в цифровые системы управления войсками.

Особое внимание в КНР уделяется автоматизированной генерации сценариев, обучению действиям в условиях интенсивных помех, применению нейросетевых технологий анализа действий операторов в использовании виртуальных полигонов.

Китай активно внедряет технологии искусственного интеллекта в системы оценки действий операторов. Алгоритмы машинного обучения позволяют анализировать скорость реакции, оценивать правильность классификации целей, прогнозировать вероятность ошибок и формировать индивидуальные рекомендации по подготовке [5].

Существенной особенностью китайских систем является ориентация на подготовку операторов для работы в условиях высокоинтенсивного информационного противоборства. Кроме того, китайские разработчики уделяют большое внимание снижению аппаратной зависимости тренажёров. Значительная часть функций реализуется программными средствами, что позволяет уменьшать стоимость комплексов, ускорять модернизацию и быстро адаптировать тренажёры под новые типы РЛС.

Турецкий опыт создания тренажёрных комплексов для РЛС

Турция за последние годы значительно активизировала развитие собственной оборонной промышленности, включая создание тренажёрных комплексов для операторов радиолокационных систем.

Ключевую роль в развитии данного направления играют турецкие компании: ASELSAN и Turkish Aerospace Industries (TAI).

Основными направлениями турецких разработок являются: интеграция тренажёров с национальными системами ПВО; создание унифицированных платформ обучения; использование технологий дополненной реальности; разработка мобильных учебных комплексов.

Турецкие тренажёры ориентированы на подготовку операторов РЛС ПВО, обучение персонала радиотехнических подразделений,

моделирование современных воздушных угроз и подготовку к действиям против беспилотных летательных аппаратов.

Особое внимание Турция уделяет созданию экспортно-ориентированных тренажёрных решений. В связи с этим комплексы разрабатываются по модульному принципу и могут адаптироваться под различные типы РЛС.

Одной из важных особенностей турецкого подхода является интеграция тренажёров с национальными автоматизированными системами управления войсками [6]. Это позволяет проводить комплексные командно-штабные тренировки, совместную подготовку подразделений и моделирование сетевых операций.

Турецкие разработчики также активно используют технологии трёхмерной визуализации и цифровых полигонов, обеспечивающих высокую реалистичность учебного процесса.

Сравнительный анализ зарубежных подходов

Сравнение подходов различных государств показывает наличие как общих тенденций, так и существенных различий.

Например, для России характерно максимальное приближение к реальной аппаратуре, высокая реалистичность интерфейсов; в США – сетевые распределённые системы, искусственный интеллект, виртуальные полигоны. В Китае – массовая цифровизация, интеллектуальный анализ подготовки, снижение стоимости. В Турции – модульность, экспортная ориентация, интеграция с национальными системами ПВО.

Несмотря на различия, можно выделить общие мировые тенденции: переход к цифровым платформам; использование искусственного интеллекта; интеграция виртуальной реальности; создание сетевых распределённых тренажёров; автоматизация оценки действий обучаемых.

Современные тренажёрные комплексы постепенно превращаются в полноценные элементы единой цифровой инфраструктуры вооружённых сил.

Перспективы развития тренажёрных комплексов для РЛС

В ближайшие годы развитие тренажёрных комплексов будет связано со следующими направлениями: внедрение технологий искусственного интеллекта; использование цифровых двойников РЛС; создание полностью виртуализированных учебных центров; применение облачных вычислений; развитие адаптивных обучающих систем.

Ожидается, что перспективные тренажёры смогут автоматически формировать индивидуальные программы подготовки, моделировать многодоменные боевые операции, учитывать психофизиологическое состояние операторов, а также интегрироваться с реальными боевыми системами [7].

Одним из перспективных направлений является создание единого цифрового пространства подготовки операторов, в котором тренажёры различных типов РЛС будут объединяться в общую сеть.

Заключение

Анализ зарубежного опыта показывает, что тренажёрные комплексы для подготовки операторов РЛС становятся одним из важнейших элементов современной системы боевой подготовки.

Россия делает акцент на высокой степени реалистичности и идентичности тренажёров реальной аппаратуре. США активно развивают сетевые технологии, искусственный интеллект и распределённое моделирование. Китай ориентируется на массовую цифровизацию и интеллектуальные системы анализа подготовки. Турция сосредотачивается на модульности, экспортной адаптации и интеграции с национальными системами ПВО.

Общемировой тенденцией является переход от локальных учебных средств к интеллектуальным распределённым системам подготовки, функционирующим в рамках единого цифрового пространства вооружённых сил.

Развитие технологий искусственного интеллекта, виртуальной реальности и цифрового моделирования позволит в дальнейшем существенно повысить качество подготовки операторов РЛС и эффективность функционирования радиолокационных подразделений в современных вооружённых конфликтах.

Использованные источники:

1. Абрамов А.В., Кузнецов И.П. Современные тренажёрные комплексы подготовки операторов радиолокационных систем // Военная мысль. – 2023. – № 7. – С. 45–53.

2. Анисимов Д.С. Применение технологий виртуальной реальности в системах военного обучения // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2022. – № 4. – С. 18–27.

3. Smith J., Anderson R. Distributed Radar Simulation Technologies in the U.S. Armed Forces // Military Simulation Review. – 2022. – Vol. 14. – No. 2. – P. 88–97.

4. Мельников В.П., Сафронов К.И. Сетевые технологии моделирования в системах боевой подготовки США // Военная радиоэлектроника. – 2021. – № 5. – С. 40–48.

5. Zhang Wei, Liu Han. Intelligent Radar Operator Training Systems in China // Journal of Defense Technologies. – 2023. – Vol. 19. – No. 4. – P. 215–223.

6. Turkish Defense Industry and Radar Training Technologies // Defence Turkey Magazine. – 2024. – No. 112. – P. 44–51.

7. Литвинов А.Г. Перспективы развития тренажёрных комплексов для радиолокационных систем // Вестник воздушно-космической обороны. – 2024. – № 2. – С. 73–81.