

Ю.Н. Лаврич, Б.Б. Нетак, С.В. Плаксин, Д.В. Пясковский

Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг»,
ул. Писаржевского, 5, Днепр, 49005, Украина,
+380 56 370 2182, +380 56 370 2186, lavrich@westa-inter.com

ОСОБЕННОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ШКОЛЫ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА



Введение. Украина располагает системой контроля космического пространства, реализованной на основе радиолокационной станции (РЛС) «Днепр», обеспечивающей непрерывный мониторинг космического пространства.

Проблематика. РЛС подобного типа относятся к большим сложным и наукоемким техническим системам. Невозможность применения существующих стандартов разработки и постановки на производство и обусловили необходимость создания нового стандарта.

Цель. Анализ и обобщение особенностей разработки и изготовления систем контроля космического пространства на базе отечественных радиолокационных средств.

Материалы и методы. Применен метод системного анализа особенностей отечественной школы радиолокационных систем контроля космического пространства с использованием научно-технического задела и материалов Главного конструктора по обеспечению эффективного решения возникающих специфических проблем при создании новых поколений РЛС.

Результаты. Показано, что для реализации информации, получаемой существующей РЛС, необходимо обеспечение ее конкурентоспособности на возрастающем рынке таких услуг, что возможно как за счет повышения технических характеристик существующих средств, так и благодаря разработке новых. Исходя из специфических особенностей, неизбежно возникающих на разных стадиях жизненного цикла РЛС, наличия достаточного объема научно-технического задела (НТЗ) и опыта создания как данной, так и последующих поколений РЛС, представлен ряд предложений, направленных на эффективное решение вопросов контроля космического пространства (ККП) радиолокационными средствами.

Выводы. Обеспечение интеграции и поставки наукоемкой продукции отечественных радиолокационных средств в международные структуры ККП возможно только на путях эффективного использования и стабильного наращивания потенциальных возможностей имеющихся средств на базе существующего научно-технического задела с учетом специфических особенностей построения РЛС контроля космического пространства. Изложены отдельные специфические особенности возникающих проблем и возможные пути их эффективного решения могут быть полезны широкому кругу разработчиков сложных наукоемких систем.

Ключевые слова: радиолокационная станция, контроль космического пространства, конструкторская документация Главного конструктора, открытая архитектура.

В основе большинства развивающихся направлений решения различных задач контроля космического пространства лежат новые радиолокационные технологии, стремительный

рост достижений которых привел к моральному устареванию стандартных решений. Для начала XXI века характерен значительный рост номенклатуры радиолокационных станций (РЛС) обнаружения баллистических и космических объектов: «Волга» (Российская

Федерация, 2002 г.), GRAVES (Франция, 2005), «Воронеж-М» (Российская Федерация, 2006), AN/TPY-2 (США, 2006), «Воронеж-ДМ» (Российская Федерация, 2009) [1].

Располагая радиолокационной станцией контроля космического пространства (РЛС ККП) типа 5Н86 «Днепр (Den House), Украина участвует в освоении и использовании космического пространства как через реализацию собственных проектов, предусмотренных Общегосударственной космической программой, так и через проекты, выполняемые в кооперации с другими странами [2].

Задача постоянного мониторинга ситуации в космическом пространстве весьма актуальна и, учитывая бурное развитие ракетно-космических технологий во многих странах, важность этой задачи имеет стойкую тенденцию к повышению. Постоянный же мониторинг не зависит от времени суток, погодных условий и т. д., в состоянии обеспечить только радиолокационные средства типа 5Н86.

РЛС представляет собой наукоемкую информационную систему (НИС), обеспечивающую контроль более 60 % общего числа траекторий космических объектов, из которых 40 % — низкоорбитальных и 50 % — расположенных на геостационарных орбитах.

Ценность информации, получаемой от существующей НИС, делает очевидным факт необходимости обеспечения конкурентоспособности на возрастающем рынке таких услуг, что возможно только на путях повышения технических характеристик существующих РЛС и уменьшения стоимости получения информации. Поступающая от РЛС информация о космических объектах, обстановке в ближнем космосе характеризуется достаточно быстрой изменчивостью, что заставляет разработчиков и конструкторов постоянно адаптировать радиолокаторы к этим изменениям в условиях временных ограничений при разработке новых поколений РЛС ККП.

Поэтому подход к исследованию таких радиолокационных систем уже не может бази-

роваться только лишь на практико-ориентированном фактуальном базисе и методе проб и ошибок, не может быть сведен только лишь к эклектическому набору отдельных схемотехнических и конструкторско-технологических решений, а должен представлять собой диалектическое единство передовой научно-технической теории и современной научной методологии.

Длительность полного цикла разработки документации на изделие, включая ее отработку и постановку на серийное производство, существенным образом зависит от трудоемкости работ и, прежде всего, наукоемкости изделия. РЛС, предназначенные для контроля воздушно-космического пространства, всегда были сосредоточием последних достижений научной мысли, каждая новая РЛС представляла собой новое поколение радиоэлектронной техники с новой компонентной базой, использующей новые технологические решения. Например, при разработке РЛС «Дарьял» метрового диапазона впервые в мировой практике был использован энергетический потенциал 100 МВт и применены сверхвысокочастотные (СВЧ) микрополосковые изделия практически всего функционального ряда.

Одной из особенностей проектирования таких наукоемких систем является то, что продолжительность работ по канонической модели разработки составляет около 7–10 лет. Специфичной чертой, присущей процессу проектирования РЛС ККП, является проектирование малым числом привлекаемых (до 4-х) как разработчиков конструкторских бюро (КБ), так и изготовителей, из которых на головные КБ и изготовителя приходится 70–80 % объема проектирования и изготовления. Если учесть, что передающая система, например РЛС «Дарьял», состоит из более 1200 передающих и более 4000 приемных модулей, то уже из этого факта становится очевидной высокая степень трудоемкости разработки и изготовления.

Объем конструкторской документации (КД) проектируемой РЛС ККП настолько велик

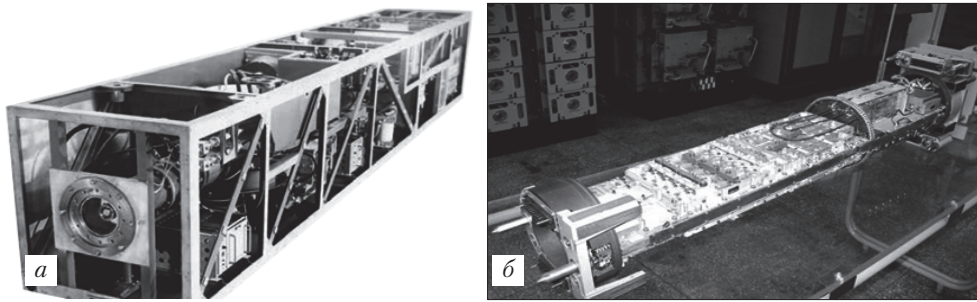


Рис. 1. Общий вид передающих модулей без защитных кожухов в аналоговом (а) и твердотельном (б) исполнениях

(более 0,5 млн. листов формата А4), что проектирование в рамках существующей системы стандартов ставит под сомнение не только конкурентоспособность, но даже и целесообразность создания такого образца. Поэтому в рамках работы было осуществлено обобщение специфических особенностей проектирования и изготовления таких РЛС, представляющих собой продукцию не серийного (без литеры КД), а единичного производства.

В настоящее время в нормативной базе Украины отсутствуют стандарты, позволяющие учесть эти особенности, поэтому проектирование таких систем может производиться только в рамках стандартов, созданных самим же разработчиком системы, и обязательных для всех участников создания таких систем, что является необходимым и достаточным условием проектирования и производства подобных РЛС. Стандарт отображает особенности проектирования, изготовления, испытаний, ввода в эксплуатацию РЛС ККП с учетом специфических особенностей.

На основании опыта создания многих поколений РЛС ККП был разработан стандарт «Разработка, изготовление, испытания... по конструкторской документации Главного конструктора» — нормативный документ, обязательный для всей кооперации разработчиков и изготовителей РЛС как дополнение к действующим стандартам по разработке и постановке на производство. Основным отличием проектирования по конструкторской документации Главного конструктора (КДГК) от традиционного является исключение боль-

шинства установленных стадий проектирования, когда изготовление осуществляется сразу по безлитерной КД, а само проектирование таких систем, минуя научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), и начинается с этапа разработки рабочей документации. Кроме того, специфика проектирования всех РЛС имела ту особенность, что эффективность проектирования с применением системы автоматического проектирования (САПР) можно обеспечить только при условии наличия у разработчика САПР собственной разработки, непрерывно подвергаемой адаптации к тактико-техническим требованиям нового поколения, к планируемому уровню внедрения новых научных результатов. Так, например, создание РЛС 4-го поколения сопровождалось разработкой и применением 3-х новых поколений САПР. Такая специфика проектирования обусловлена еще и тем, что технологиями создания РЛС данного типа владеют лишь ТОП-5 стран (США, Российская Федерация, Китай, Франция, Украина), которые свои данные или совсем не тиражируют или тиражируют фрагментарно — относительно первых поколений РЛС.

Особенностью проектирования на базе собственной САПР является то, что проектирование сразу начинается со схемотехнических и конструкторских решений функционально-законченных систем, содержащих в своем составе десятки ячеек блоков, и по разработанной КДГК сразу изготавливаются структурообразующие функциональные модули для функционально-законченных систем РЛС (пе-

редающей, приемной, антенной и др.). Реализация принципа модульного построения зависит от применяемой технологии, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на внешний вид как самих модулей, так и функциональных систем и РЛС в целом (рис. 1).

Реализация основных характеристик (дальность, высота и т.п.), при применении в качестве активных элементов амплитронов, клистронов и др., обеспечивалась за счет больших конструктивных габаритов модулей ($5,0 \times 0,7 \times 0,7$ м, вес 1500 кг – РЛС «Дон», рис. 1, а), обеспечения высоких требований по точности изготовления (≤ 2 мм на такой длине), применения сложных манипуляторов для их автоматической установки в полотно фазированных активных решеток (ФАР). Внедрение твердотельных технологий позволило существенным образом снизить габариты передающего модуля (РЛС «Волга», рис. 1, б). Принцип модульности позволяет значительно упростить построение активных ФАР (рис. 2). Для отечественных и зарубежных разработчиков таких РЛС обнаружение целей на больших дальностях (≥ 2000 км) обеспечивается высокими потенциалами (1,5 МВт – РЛС 5Н86; 2,5 МВт – РЛС AN/FPS-126; 32 МВт – РЛС AN/FPS-85; 100 МВт – РЛС «Дарьял»), которые возможны благодаря стационарному варианту исполнения, при котором радиоэлектронная аппаратура размещается в строительных помещениях циклопических габаритов,

существенно зависящих, в частности, и от реализуемых технологий построения. Например, сооружение для РЛС «Дон» имеет размеры $144 \times 100 \times 35$ м, приемная активная ФАР РЛС «Дарьял» – 100×100 м, передающая – 40×40 м, а станция AN/FPS-85 смонтирована в 13-этажном сооружении высотой 44 м, длиной 97 м.

Применение новых технологий и элементной базы, современных схемотехнических принципов построения позволяет существенно уменьшить габариты помещений, активной ФАР (36×36 м – твердотельная РЛС «Волга»). Уменьшение общего количества типов технологической аппаратуры, требуемых для создания РЛС (к примеру, РЛС «Дарьял» было использовано 4096 типов аппаратуры, тогда как для РЛС «Воронеж» – 20–23 типа), позволяет уйти от громоздких стационарных РЛС к более компактным, вплоть до передвижных.

Согласно стандарту КДГК изготовленные изделия в модульном исполнении поставляются на объект развертывания, а формирование функционально-законченных систем и РЛС в целом осуществляется в процессе монтажно-настроечных работ непосредственно на объекте. Применение стандарта КДГК позволило, несмотря на непрерывно возрастающую сложность, объем аппаратуры и повышение наукоемкости, сократить объем подготовки производства в среднем на 30–40 % и снизить длительность ввода в эксплуатацию с 10 лет (РЛС «Днепр», РЛС «Graves») до 5–6 лет

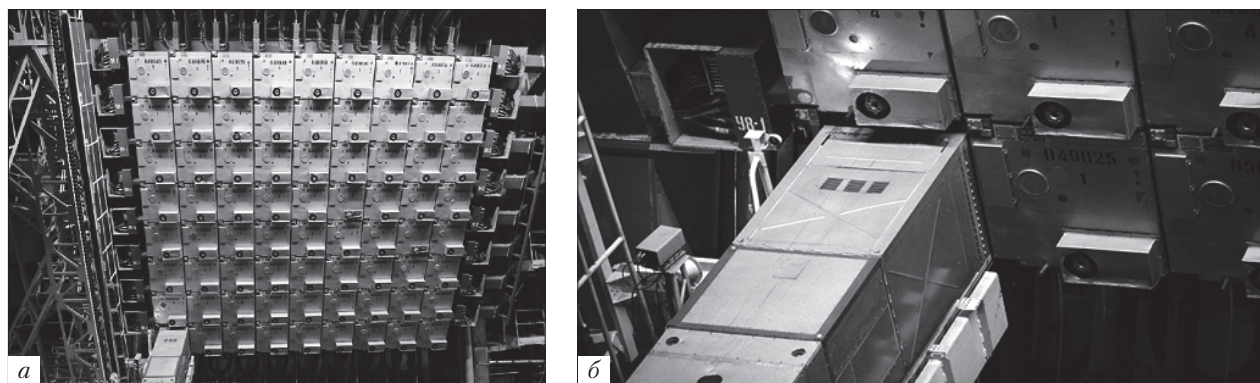


Рис. 2. Общий вид ФАР (а) и вид изнутри (б) установки передающих модулей в ФАР

(РЛС «Дон») и даже до 2–3 лет (РЛС «Воронеж»).

Украина традиционно удерживала хорошие позиции в СВЧ-электронике, которая, однако, представляет лишь узкий специализированный сектор электроники со своими специфическими технологиями (например, GaAs-технология [3, 4]), а современные технологии ориентируются уже на нитрид галлия (GaN), что создает еще большую проблему в применении отечественной базы электронных приборов. Наиболее естественным сценарием развития событий представляется встраивание в международную специализацию, и будучи членом Всемирной торговой организации, Украина имеет возможность доступа к современной элементной базе мировых производителей, что позволит обеспечить соответствие проектируемой РЛС современным мировым стандартам [5].

Разработка каждого нового поколения РЛС осуществляется на новом поколении элементной базы, при этом разработчик сам не разрабатывает, а использует номенклатуру комплектующих изделий, внесенных в Перечень изделий, выпускаемых и разрешенных для применения.

Отличительной чертой современной элементной базы, присущей всем без исключения производителям, является тенденция опережающего морального старения ее по сравнению с достаточно продолжительным (30–50 лет) жизненным циклом современных сложных технических систем, и эта тенденция также является устойчивой [6]. Классическими примерами таких долгоживущих сложных технических систем является отечественная РЛС «Днепр», срок эксплуатации которой составляет уже более 40 лет, тогда как *AN/FPS-49* — снята с эксплуатации после 40 лет работы [7], а РЛС *GRAVES*, введенная в эксплуатацию только в 2005 г., уже нуждается в проведении ремонтных работ.

Как видно, даже два таких показателя как срок разработки и продолжительность функ-

ционирования РЛС ККП, наглядно характеризуют возможности отечественной системы разработки. Однако длительный срок эксплуатации означает, что происходит устаревание примененных электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и функциональная деградация электронных систем относительно тех уровней возможностей, которые будут необходимы даже в середине ее эксплуатационного срока (15–20 лет), в том случае, если системы неспособны эволюционировать в процессе своей эксплуатации.

Одной из особенностей создания перспективных радиолокационных систем является необходимость осуществлять реализацию ряда своих новых проектных решений на основе собственных разработок новых комплектующих.

Проектирование практически всех поколений высокопотенциальных РЛС потребовало собственной разработки широкой номенклатуры комплектующих элементов, отсутствующих в Перечне, причем это касалось не только ЭРЭ. Так, в связи с отсутствием высоковольтных (40–45 кВ) конденсаторов большой емкости в промышленном исполнении для линий формирования модулирующего импульса пришлось разрабатывать и изготавливать их из первичных материалов непосредственно на заводе-изготовителе РЛС. Для обеспечения балластной нагрузки модуляторного каскада (40 кВ) — безындукционного сопротивления величиной 120 Ом — также потребовалась собственная разработка водоохлаждаемых резисторов с мощностью рассеивания до 300 кВт. Так как эффективность применения воздушного охлаждения (0,8–1,0 Вт/см²) значительно ниже жидкостного (20,0 Вт/см²), то рассеивание такой большой мощности неизбежно влияет на массогабаритные характеристики как самих резисторов, так и устройств, базирующихся на них.

Методология виртуального проектирования [8] позволяет решать проблемы, возникающие не только в процессе создания сложной системы, но и в период ее эволюционного раз-

вития — появления нового поколения элементной базы, созданного на базе собственных научно-технических и технико-экономических заделов разработчика и изготовителя. В процессе проектирования РЛС ККП приходится одновременно решать задачи, направленные, с одной стороны, на обеспечение высокого энергетического потенциала и, с другой стороны — требуемого теплового режима. В первых поколениях РЛС для соединения водоохлаждаемых элементов применялись трубы из легированной нержавеющей стали различного диаметра, что создавало, кроме стоимостных и технологических проблем, еще и проблему развязки анода электровакуумных приборов (ЭВП) (35 кВ и более), охлаждаемого водой [9]. Для решения проблемы охлаждения мощных передающих устройств потребовалась разработка новой технологии, позволившей отказаться от нержавеющей трубы и использовать полиэтиленовые шланги, армированные слоями лавсана. Нормализация структуры полиэтилена достигалась путем облучения шлангов мощным электростатическим полем.

Высокая степень интеграции цифровых устройств (более 3000 интегральных микросхем (ИМС) в шкафу) и быстродействия элементной базы приводила к повышенной плотности тепловых потоков внутри шкафа, поэтому обеспечение теплового режима представляло собой серьезную проблему. Как показывает практика создания разных поколений РЛС ККП, прослеживается тенденция размывания границы между понятиями «печатная плата» и «печатный узел», и в перспективе очевидно слияние печатных плат и изделий микроэлектроники в единое целое. Например, ячейки вычислительного устройства РЛС «Дон» реализованы на многослойных печатных платах (до 18 слоев под установку около 200 корпусов микросхем и 6-ти слоев на керамике для плат СВЧ ячеек). Для обеспечения требуемого теплового режима цифровых устройств потребовалось применение системы

жидкостного охлаждения на основе водоохлаждаемых оснований [10]. Надо отметить, что технология жидкостного охлаждения применяется современными разработчиками. Так, обеспечение теплового режима приемопередающих модулей на основе арсенида галлия РЛС *АН/ТРУ-2* комплекса *ТНААД* осуществляется аналогичным образом.

К особенностям обеспечения теплового режима таких РЛС относится то, что требуемый температурный режим не всегда удается достичь применением лишь одной из систем охлаждения — либо воздушной, либо жидкостной. В качестве примера использования комбинированной системы охлаждения можно привести пример обеспечения температурного режима генераторной лампы передающего модуля РЛС «Дон» (35 кВ), когда охлаждение анода осуществлялось с помощью жидкостной системы охлаждения, а катодной ножки (ток накала 3000 А) — за счет применения автономного воздушного охлаждения. При этом потребовалась собственная разработка вентилятора (скорость обдува 20000 об/мин, диаметр рабочего колеса 40 мм), поскольку вентиляторы с требуемыми параметрами не производились ни отечественной, ни мировой промышленностью. Для поддержания теплового режима только активных элементов передающей системы было необходимо, чтобы разность температур на входе и выходе охлаждающей системы не превышала 15 °С при давлении в системе 3–4 кг/см² и расход жидкости составлял не более 1 л/мин на 1 кВт мощности. Требования к системе обеспечения теплового режима РЛС на основе жидкостного охлаждения требуют создания замкнутой системы водоподготовки и водообмена.

Та особенность РЛС ККП, что лоцируемые ею цели характеризуются малыми эффективными отражательными поверхностями и космическими скоростями полета, обуславливает острый дефицит времени при их обслуживании и, следовательно, требует полной автоматизации процесса функционирования РЛС.

Работа перспективных РЛС должна происходить только в автоматическом режиме в соответствии с рабочим алгоритмом. Вычислительное оборудование, используемое для первично-вторичных обработок, целесообразно выполнять на компьютере с открытой архитектурой информационной обработки в масштабе реального времени. Для перспективных РЛС производительность решения должна составлять порядка 100 млрд. операций за секунду (скорость обработки данных РЛС «Волга» уже в прошлом веке составляла 18 млрд. операций в секунду).

Одним из базисных принципов построения перспективных систем РЛС является принцип многофункциональной встроенности, который реализуется функционально-законченной структурой интегрального исполнения, когда разные функции — прием отраженных сигналов (излучение), преобразование, цифровая обработка, управление, контроль, обеспечение энергопитания и др. — осуществляется в одном функционально и конструктивно законченном (приемным, передающим и т.п.) модуле. Например, приемный модуль РЛС «Волга» для обеспечения целевой функции состоит из набора усилителей, фильтров, процессора, контроллеров, аналого-цифровых преобразователей, цифро-аналоговых преобразователей, источников и стабилизаторов питания, датчиков и т.д., выполненных в едином технологическом процессе.

Функциональное и техническое управление должно быть реализовано посредством встраиваемых периферийных сопроцессоров, объединенных с центральным процессором с помощью высокоскоростного интерфейса. Реализация целевых функций РЛС ККП обеспечивается множеством различных функциональных систем, реализованных на разной схемотехнической и конструктивно-технологической основе, что делает невозможным применение традиционных подходов и технологий построения системы контроля [11]. В основу концепции построения системы контро-

ля РЛС должны быть положены принципы многократности применения, многоуровневой встроенности и полной автоматизации на основе сверхбыстродействующей вычислительной системы, имеющей соизмеримые скорости обработки информации с разрабатываемым изделием. Контроль функционирования РЛС невозможен без разработки имитирующей модели, которая вырабатывает сигналы для организации как внутреннего, так и внешнего контроля, а также сигналы — признаки состояния. В процессе контроля происходит сравнение эталонных и текущих признаков с автоматическим формированием квитанции состояния. В случае негативного результата система контроля формирует адресную команду манипулятору (в случае с модулями ФАР) для автоматической замены соответствующего модуля, формирования сообщений об адресных результатах контроля других систем. В составе программно-алгоритмического комплекта РЛС должен быть предусмотрен такт контроля.

Опыт создания РЛС на основе твердотельных технологий показал, что для реализации принятой концепции построения системы контроля перспективных РЛС необходимо учитывать тот факт, что обеспечение требуемых характеристик связано с микро- и наноразмерностью используемых элементов, а, следовательно, необходимо оснащение производства механообрабатывающими средствами повышенной точности с применением линий обрабатывающих центров, автоматизированного склада и автоматизированной системы управления технологическими процессами. Одним из основных требований к средствам механообработки является наличие собственного встроенного инструментального магазина и собственной системы контроля как самого набора инструментов, так и качества всех проводимых технологических операций в процессе изготовления изделия.

Необходимым условием обеспечения требуемых параметров изготовления является ис-

пользование безбумажной документации, когда документ для выполнения той или иной технологической операции в электронном виде по физическим линиям поступает на конкретный центр обработки.

С учетом эволюционного тренда в проектировании больших систем — «новое через модернизацию» — создание перспективных радиолокационных систем невозможно без применения технологии открытой архитектуры [12]. Нельзя не отметить, что ранее применяемый при конструировании РЛС принцип функциональной и параметрической избыточности уже имел ряд черт открытой архитектуры, обеспечивая поэтапное наращивание новых функциональных возможностей.

Традиционное содержание проектирования перспективных РЛС ККП необходимо дополнить понятием архитектурное проектирование, а в составе полного комплекта КД РЛС должен быть и новый тип КД — «структура архитектурная». Архитектурное проектирование должно стать нулевой стадией проектирования, обязательной для всех конструктивно-иерархических уровней (сверху вниз) проектируемого изделия, и предшествовать разработке Технического задания. Одним из решающих факторов, оказывающих влияние на степень реализации технологии открытой архитектуры, является наличие собственного научно-технического задела. Исходным этапом и содержанием архитектурного проектирования должен стать анализ имеющегося НТЗ и выбор структурообразующей основы для всех конструктивно-иерархических уровней — в качестве базовой концептуальной структуры, поэтому, например, в США применяется обязательная проверка и оценка уровня готовности НТЗ по ключевым системам и элементам.

Так, именно НТЗ, созданный в процессе создания радара AN/FPS-115, стал основой для разработки последующих радаров AN/FPS-120, 123, 126, 132. Сегодняшние достижения науки и техники позволяют при таком проекти-

ровании в каждую структурообразующую основу конструкции включать такой набор технических новинок, который наилучшим образом позволил бы ей обеспечить требуемую совокупность характеристик. Например, обеспечение примерно одних и тех же характеристик в РЛС «Даугава» и «Волга» достигнуто применением в ФАР в первом случае более 1000, а во втором — лишь 280 передающих устройств.

Анализ возможности использования той или иной из существующих архитектур на нулевой стадии проектирования направлен на то, чтобы выбранная к разработке архитектура обладала свойствами гибкости и адаптируемости. Традиционно архитектурные аспекты, связанные с конструктивно-схемной стороной проектирования, являлись доминирующими, тогда как аспекты, связанные с программным обеспечением, относились либо вообще к самостоятельной задаче, либо были вторичными. Как правило, разработчик программного обеспечения (ПО) подбирает хорошую архитектуру методом проб и ошибок («*code and fix*»), но по мере роста сложности современных программных систем достигается тот предел, за которым создание качественных архитектур методом проб и ошибок становится невозможным. Современный вид РЛС немыслим без применения технологий ПО, поэтому применение открытой архитектуры ПО должно быть равнозначной задачей проектировщика, решаемой параллельно.

Говоря о НТЗ, традиционно подразумевают конструктивно-схемные реализации, но на самом деле НТЗ должен включать и производственно-технологический аспект. В условиях смены РЛС ККП в инструментальном производстве изготовителя накапливается значительное количество единиц оснастки техники, произведенной ранее, и выход из этой ситуации возможен только один — применение принципа открытой архитектуры для несущих конструктивов всех уровней, универсальных приспособлений — кондукторов, измерителей, сбор-

ных штампов, контрольно-измерительного и стендового оборудования.

С учетом квазидетерминированного характера движения и известных характеристик космических объектов при проектировании перспективных РЛС ККП необходимо использовать программную регулировку потенциала в секторе ответственности для реализации управления режимами работы и создания возможности изменения энергопотребления РЛС в зависимости от режима контроля, выравнивания потребления энергоресурсов в рабочем секторе станции.

Таким образом, из представленного аналитического обзора следует, что обеспечение международной интеграции и поставки наукоемкой продукции отечественных радиолокационных средств в международные структуры контроля космического пространства возможно только путем эффективного использования и стабильного наращивания потенциальных возможностей имеющихся средств при использовании существующего научно-технического задела и с учетом специфических особенностей построения РЛС ККП в нашей стране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Ф.М., Статкус А.В. Анализ возможности использования аналитического приближения для оценки второй и третьей производной дальности. *Системы обработки информации*. 2013. Т. 7, № 114. С. 171–176.
2. Андреев Ф.М., Ковбасюк С.В. Возможности многопозиционного комплекса, созданного на базе национальных РЛС надгоризонтного обнаружения баллистических и космических объектов. *Космічна наука і технологія*. 2009. Т. 15, № 5. С. 74–81.
3. Дробахин О.О., Плаксин С.В., Рябчий В.Д., Салтыков Д.Ю. *Техника и полупроводниковая электроника СВЧ*. Севастополь: Вебер, 2013. 320 с.
4. Плаксин С.В., Соколовский И.И. *Физические основы построения быстродействующих информационно-управляющих систем на базе полупроводниковых элементов с горячими электронами*. Севастополь: Вебер, 2006. 320 с.
5. Лаврич Ю.Н. Особенности научного обеспечения создания перспективных образцов радиоэлектронной аппаратуры. *Наука innov*. 2018. № 1. С. 15–25.
6. Данилин Н., Белослудцев С. Проблемы применения современной элементной базы иностранного производства в ракетно-космической технике. *Современная электроника*. 2007. № 7. С. 8–12.
7. Nicholas J. Willis, Hugh D. Griffiths. *Advances in bistatic radar*. New York: SciTech Publishing, 2007. 494 p.
8. Лазаревич Э.Г., Семак Ш.Б., Амзеев Э.Г., Лазаревич Ю.И. Виртуальная электронная компонентная база радиоэлектронной аппаратуры. *Системный анализ и прикладная информатика*. 2013. № 1–2. С. 39–47.
9. Лаврич Ю.Н. Особенности обеспечения теплового режима мощных радиопередающих систем. *Труды 16-й Междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии»*. (25–29 мая 2015, г. Одесса). Одесса, 2015. С. 140–141.
10. Лаврич Ю.Н., Плаксин С.В., Погорелая Л.М. Особенности проектирования систем обеспечения теплового режима РЭА в микроэлектронном исполнении. *Материалы 2-й Всеукр. науч.-практ. конф. «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем»*. (22–24 ноября 2017, г. Днепр). Днепр, 2017. 156–157 с.
11. Лаврич Ю.Н. Особенности контроля надежности системы управления высокоскоростным наземным транспортом. *Труды 1-й Междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии»*. (4–8 июня 2012, г. Одесса). Одесса, 2012. 218 с.
12. International Standard ISO/IEC/IEEE 42010:2011(E)(E) Systems and software engineering – Architecture description. 2011. 37 p.

Стаття надійшла до редакції 03.07.18

REFERENCES

1. Andreev, F. M., Statkus, A. V. (2013). Analysis of the possibility of using the analytical approximation to estimate the second and third derivative of the range. *Systemy obrobky informatsiyi (Information processing systems)*, 7 (114), 171–176 [in Russian].
2. Andreev, F. M., Kovbasyuk, S. V. (2009). Possibilities of a multiposition complex created on the basis of national radar systems for the above-horizon detection of ballistic and space objects. *Kosmichna nauka i tekhnolohiya (Space science and technology)*, 15 (5), 74–81 [in Russian].

3. Drobakhin, O. O., Plaksin, S. V., Ryabchii, V. D., Saltykov, D. Yu. (2013). *Technology and Semiconductor Microwave Electronics*. Sevastopol: Weber [in Russian].
4. Plaksin, S. V., Sokolovsky, I. I. (2006). *Physical basis for the construction of high-speed information-control systems based on semiconductor elements with hot electrons*. Sevastopol: Weber [in Russian].
5. Lavrich, Yu. N. (2018). Features of scientific support for the creation of promising samples of radio electronic equipment. *Nauka innov.*, 1, 15–25 [in Russian].
6. Danilin, N., Belosludtsev, S. (2007). Problems of applying the modern element base of foreign production in rocket and space technology. *Modern electronics*, 7, 8–12 [in Russian].
7. Nicholas J. Willis, Hugh D. Griffiths (2007). *Advances in bistatic radar*. New York: SciTech Publishing.
8. Lazarevich, E. G., Semak, Sh. B., Amzeev, E. G., Lazarevich, Yu. I. (2013). Virtual electronic component base of radio electronic equipment. *System analysis and applied informatics*, 1–2, 39–47 [in Russian].
9. Lavrich, Yu. N. (2015, May). Features of the thermal regime for powerful radio transmission systems. *Proceedings of the 16th Intern. scientific-practical. conf. «Modern informational and electronic technologies»*, Odessa [in Russian].
10. Lavrich, Yu. N., Plaksin, S. V., Pogorelaya, L. M. (2017, November). Features of designing systems for ensuring the thermal regime of REA in microelectronic design. *Proceedings of the 2nd All-Ukr. scientific-practical. conf. «Perspective tendencies in the electronics, informational and computer systems»*, Dnepr [in Russian].
11. Lavrich, Yu. N. (2012, June). Features of monitoring the reliability of the control system for high-speed ground transportation. *Proceedings of the 1st Intern. scientific-practical. conf. «Modern informational and electronic technologies»*, Odessa [in Russian].
12. INTERNATIONAL STANDARD (2011) ISO/IEC/IEEE 42010:2011(E)(E) Systems and software engineering – Architecture description

Received 03.07.18

Lavrich, Yu.N., Netak, B.B., Plaksin, S.V., and Pyaskovsky D.V.
Transmag Institute of Transport Systems and Technologies, the NAS of Ukraine,
5, Pisargevskogo St., Dnipro, 49005, Ukraine,
+380 56 370 2182, +380 56 370 2186, lavrich@westa-inter.com

THE FEATURES OF THE NATIONAL SCHOOL OF RADAR SPACE CONTROL SYSTEMS

Introduction. Ukraine has a space monitoring system implemented based on the Dnieper radar that provides continuous space monitoring.

Problem Statement. Radars of this type are large complicated high-tech engineering systems. The novelty of applied R&D solutions, long terms of radar station design and manufacture unable applying the existing development and production standards and, therefore, require creating new ones.

Purpose. The purpose is to analyze and to summarize the features of development and manufacture of space control systems based on national radar facilities.

Materials and Methods. The systematic analysis of the peculiarities of the Ukrainian school of radar control systems for outer space has been applied using the R&D and the Chief Designer tools for more effectively solving specific problems related to creating new generations of radar stations.

Results. It has been shown that in order to realize the information received by the existing radar, it is necessary to ensure its competitiveness in the growing market of such services, which is possible through both upgrading the existing facilities and developing new ones. Taking into consideration the specific features that inevitably manifest themselves at different stages of the radar life cycle, the sufficient R&D groundwork and the experience of creating radars of both the current and the future generations, a number of proposals on effective solution of problems concerning the space monitoring with radar facilities have been presented.

Conclusions. To ensure the integration and to supply domestic science-intensive radars to international structures for monitoring outer space (MOS) is impossible unless the existing R&D groundwork is effectively used and the capacity of existing facilities is permanently built up, taking into account the MOS radar specific features. The outlined peculiarities of possible problems and ways of their effective solution can be useful to designers of complex high-tech systems.

Keywords: radar, space control, Chief Designer design documentation, and open architecture.

Ю.М. Лаврич, Б.Б. Нетак, С.В. Плаксін, Д.В. Пясковський
Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг»,
вул. Писаржевського, 5, Дніпро, 49005, Україна,
+380 56 370 2182, +380 56 370 2186, lavrich@westa-inter.com

ОСОБЛИВОСТІ ВІТЧИЗНЯНОЇ ШКОЛИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ

Вступ. Україна має у своєму розпорядженні систему контролю космічного простору, реалізовану на базі радіолокаційної станції (РЛС) «Дніпро», що забезпечує безперервний моніторинг космічного простору.

Проблематика. РЛС подібного типу належать до великих складних і наукомістких технічних систем. Новизна застосованих науково-технічних рішень, тривалі терміни проектування і виготовлення РЛС виявили неможливість застосування існуючих стандартів розробки та постановки на виробництво і зумовили необхідність створення нового стандарту.

Мета. Аналіз і узагальнення особливостей розробки і виготовлення систем контролю космічного простору на базі вітчизняних радіолокаційних засобів.

Матеріали і методи. Використано метод системного аналізу особливостей вітчизняної школи радіолокаційних систем контролю космічного простору з використанням науково-технічного напрацювання та матеріалів Головного конструктора із забезпечення ефективного вирішення виникаючих специфічних проблем при створенні нових поколінь РЛС.

Результати. Показано, що для реалізації інформації, що надходить від існуючої РЛС, необхідне забезпечення її конкурентоспроможності на зростаючому ринку таких послуг, що можливо як за рахунок підвищення технічних характеристик наявних засобів, так і завдяки розробці нових. Виходячи зі специфічних особливостей, що неминуче виникають на різних стадіях життєвого циклу РЛС, наявності достатнього обсягу науково-технічного напрацювання (НТН) і досвіду створення як зазначеної, так і наступних поколінь РЛС, наведено низку пропозицій, спрямованих на ефективне вирішення питань контролю космічного простору (ККП) радіолокаційними засобами.

Висновки. Забезпечення інтеграції та постачання наукомісткої продукції вітчизняних радіолокаційних засобів у міжнародні структури ККП можливо лише на шляхах ефективного використання і стабільного нарощування потенційних можливостей наявних засобів на базі наявного науково-технічного напрацювання з урахуванням специфічних особливостей побудови РЛС контролю космічного простору. Викладені окремі специфічні особливості ймовірних проблем і можливі шляхи їх ефективного вирішення можуть бути корисні широкому колу розробників складних наукомістких систем.

Ключові слова: радіолокаційна станція, контроль космічного простору, конструкторська документація головного конструктора, відкрита архітектура.