

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ НАСТРОЙКИ И КАЛИБРОВКИ ФАР

Введение

Повышение требований к техническим характеристикам (ТХ) РЛС обусловило широкое использование в качестве антенных систем (АС) фазированных антенных решеток (ФАР), в том числе активных (АФАР) и цифровых (ЦАР) [1]. Необходимость обеспечения высокой точности и достоверности информации о реальных характеристиках АС приводит к соответствующему усложнению комплекса испытаний, проводимых с одним образцом ФАР. В настоящее время хорошо разработаны аппаратура и методы измерения параметров традиционных АС, однако разработка и производство ФАР требуют существенного расширения парка оборудования для входного тестирования, измерения параметров, выявления неисправностей комплектующих узлов и элементов перед началом производства, средств контроля и отладки интегральных узлов и блоков, создания специализированных испытательных стендов [2, 3]. Соответственно, методы испытаний, методология, аппаратура и программное обеспечение автоматизированных измерительных стендов должны быть приспособлены для проведения работ с конкретными типами ФАР и учитывать специфические особенности их конструкции.

Важными проблемами является углубление уровня диагностики отказов и обеспечение полной автоматизации операций настройки, контроля и калибровки. При разработке ФАР стало обязательным включение в их состав встроенной системы контроля и калибровки (ВСКК) изделия в процессе эксплуатации [4].

Как правило, основной объем работ по проведению настройки и измерениям ТХ ФАР выполняется в безэховых камерах (БЭК) в ближней зоне излучения амплифазометрическим методом (АФМ) [5 – 7].

Постановка задачи

Так как технология проведения контроля технического состояния, настройки и измерения параметров ФАР в значительной мере зависит от ее технической реализации, то на самых ранних этапах разработки для сокращения сроков изготовления и минимизации издержек производства необходимо:

- предусмотреть создание портов для подключения измерительного оборудования к ФАР и обеспечить возможность управления ее состоянием;
- обосновать требования к техническим характеристикам автоматизированных измерительных комплексов (АИК), составу, параметрам измерительной аппаратуры и алгоритмам сбора и обработки данных, оценить необходимость и объем проведения доработок;
- принять решение по перечню существующих методов и методик проведения испытаний и стандартному стендовому оборудованию, которые могут быть применены в процессе создания ФАР;
- оценить возможность использования отработанных на других изделиях технологий настройки и контроля;
- разработать оптимальную технологию проведения настройки и приемно-сдаточных испытаний ФАР;
- в случае необходимости определить дополнительные технические и программные средства, требующие разработки и аттестации до начала изготовления ФАР;
- оценить необходимую точность и достоверность получения результатов.

Ошибки, совершенные на данной стадии, могут привести к существенному увеличению затрат и сроков разработки ФАР.

Следует отметить, что проведение испытаний ФАР должно не только обеспечить настройку и подтвердить расчетные характеристики антенны, но и выявить наиболее «узкие места» в конструкции ФАР, оценить влияние возможных комбинаций ошибок реализации заданных амплитудно-фазовых распределений (АФР) на параметры антенны. Не менее важной задачей является отработка и подтверждение качества и эффективности функционирования встроенной системы контроля и калибровки (ВСКК). Решение этих задач также следует учитывать при разработке технологии и выборе измерительных процедур [8 – 11].

Цель исследований

Целью данной работы является разработка предложений по совершенствованию технологии настройки и контроля технического состояния ФАР.

В настоящее время в литературе еще недостаточно полно представлены работы, посвященные процессу настройки реальных ФАР. Так, в большинстве случаев рассматриваются идеализированные модели АС и внешних условий, делаются определенные допущения (например, считают, что облучение апертуры антенн из дальней зоны производится плоской волной, пренебрегают взаимодействием излучателей при сканировании, при переключении состояний фазовращателя амплитуда сигнала в канале считается постоянной и пр.) .

В данной статье на основе многолетнего опыта проведения контроля технического состояния и настройки ФАР различных типов приведена методология и выделены основные этапы, характерные для проведения настройки и приемо-сдаточных испытаний большинства существующих и перспективных ФАР.

Технологический цикл изготовления и настройки ФАР

Для *опытного* образца ФАР характерна, как правило, недостаточно высокая степень отработки узлов и фрагментов, поэтому большая часть времени, отведенного на настройку изделия, тратится на отладку протоколов связей отдельных устройств, входящих в ее состав, и устранение неисправностей. Чем сложнее антенная система, тем больше времени требуется на стыковку ее отдельных узлов и устройств, а значит, тем больше будет вероятность возникновения неисправностей, на устранение которых затрачивается дополнительное время. Поэтому очень важно правильно выбрать технологию настройки и определить состав подсистем и фрагментов ФАР, испытываемых на том или ином этапе, а также последовательность их наращивания. Последовательное проведение испытаний функционально законченных модулей и блоков опытного образца ФАР и наращивание их в подсистемы предопределяет количество возможных промежуточных этапов настройки, которые могут носить характер комплексных испытаний, проводимых с целью последовательной отработки взаимодействия между элементами системы, начиная с совместной работы нескольких функционально законченных устройств и кончая всей системой.

Для *серийно выпускаемых* ФАР технологический цикл изготовления и настройки, как правило, включает в себя операции:

- проверку параметров комплектующих стандартных узлов (фазовращателей, делителей, усилителей, кольцевых мостов и т.д.), из которых будут собираться приемо-передающие модули (ППМ) ФАР. Данные измерений заносятся в базу данных и могут использоваться при разработке ВСКК;
- сборку ППМ и подрешеток, проведение измерения их параметров в различных температурных режимах, выявление скрытых дефектов комплектующих и сборки. Данные измерений заносятся в базу данных и могут использоваться для выбора месторасположения подрешетки в апертуре ФАР;
- контроль технического состояния и измерение характеристик подрешеток в сборе с учетом (имитацией) окружения излучающих элементов апертуры на специальных стендах;
- проведение первичной настройки ФАР в сборе. Это итерационный процесс с использованием ПЭВМ и технологических оперативных запоминающих устройств (ТОЗУ) для

определения и занесения в вычислительное устройство управления лучом (ВУУЛ) амплитудных и фазовых поправок. Формирование базы данных измерений АФР и соответствующих внешних характеристик ФАР;

– измерение коэффициентов связи между излучателями ФАР и контрольными облучателями, расчет нормирующих коэффициентов.

Одной из задач, решаемых при настройке ФАР, является задача оптимизации ее характеристик, которая заключается в компенсации отклонений АФР от расчетных значений и, следовательно, в установке необходимых величин коэффициентов возбуждения каналов ФАР.

Испытания комплектующих компонентов, модулей и элементов каналов ФАР целесообразно проводить по мере их поступления и изготовления узлов и блоков, так как цена отказа элемента и ошибки сборки на каждом этапе повышается.

В связи с этим технологию изготовления ФАР можно представить в следующем виде:

– входной контроль элементов, определение вносимых ими потерь, фазовых сдвигов и создание базы данных для моделирования АФР при настройке;

– сортировка по параметрам и определение мест установки;

– сборка модулей ФАР, проведение контроля и возможной регулировки амплитудных и фазовых передаточных функций системы формирования лучей;

– сборка и настройка ФАР в целом.

Элементы проходят контроль на специальных стендах, где определяются их характеристики и ведется разбраковка на группы по параметрам. Например, на рис. 1 показано рабочее место регулировщика для контроля параметров фазовращателей. Наиболее качественные элементы используются для центральной части ФАР, где влияние ошибок реализации фазовых сдвигов на параметры ФАР, как правило, сильнее, чем при расположении таких модулей на периферии, а менее качественные – устанавливаются на краях апертуры. Имеющийся в программном обеспечении режима «Настройка» комплекс программ математического моделирования позволяет прогнозировать основные характеристики ФАР для выбранного размещения элементов в апертуре и выбрать приемлемый вариант реализации АФР.

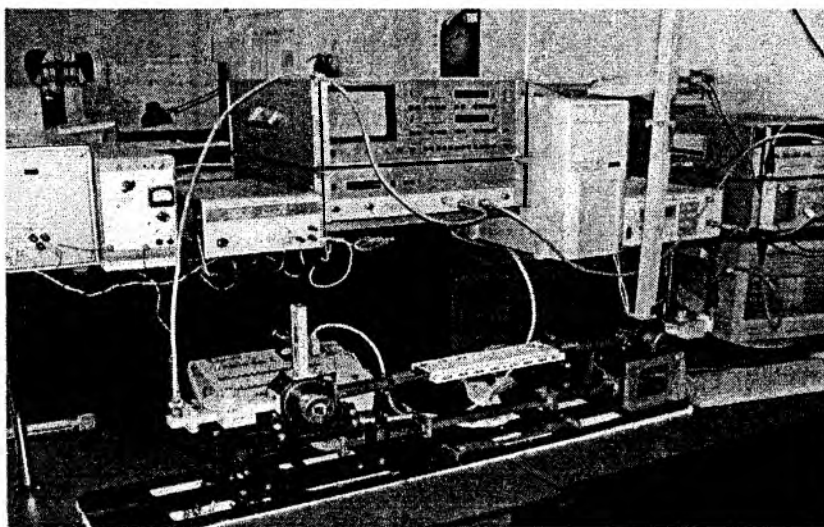


Рис. 1

Программное обеспечение режима «Настройка» позволяет найти кодовые комбинации состояний фазовращателей (ФВ), которые удовлетворяют требованиям, заданным в блоке входных данных. В основном используется автоматический режим, но можно проверить выбранные значения вносимых потерь и фазовых сдвигов в ручном режиме.

Собранные модули и элементы каналов системы формирования лучей проходят технологическую прогонку с целью обнаружения дефектов сборки и только после этого устанавливаются в ФАР.

В результате исследований была определена *технология настройки* для ряда типов ФАР, разработана аппаратура и соответствующее программное обеспечение (ПО).

Типовой план проведения настройки и приемосдаточных испытаний (ПСИ) ФАР включает в себя:

- подготовительные операции;
- подключение ФАР к АИК;
- проверку прохождения команд управления и ответной реакции ФАР;
- контроль технического состояния ФАР;
- настройку ФАР в диапазоне частот при не отклоненных положениях луча;
- проверку настройки ФАР в диапазоне частот при отклоненных положениях луча;
- подстройку ФАР в диапазоне частот для отклоненных положений луча;
- отработку технологии проведения калибровки и аттестацию ВСКК;
- проведение приемосдаточных испытаний по согласованной программе.

Установка антенного устройства (АУ) на опорно-поворотное устройство автоматизированной измерительной системы (АИС) включает в себя следующие операции: проверку компланарности апертуры АУ и плоскости сканирования измерительной системы, привязку координат излучающих элементов к координатам сканера, оценку уровня принимаемого сигнала и динамического диапазона измерений, определение зоны сканирования и ее смещения при качании луча.

Проверка технического состояния ФАР заключается в контроле прохождения сигналов управления, тестировании каналов управления СУЛ (по токам ФВ, индикаторным панелям и обратной связи, записи/чтению управляющих сигналов и т.д.), выявлении технологических дефектов, контроле комплексных коэффициентов передачи (ККП) каналов по СВЧ сигналу, определении реальных фазовых сдвигов и вносимых потерь при переключении состояний ФВ, оценке стабильности работы СУЛ. В последнем случае оценивают разброс параметров ФВ при переключениях состояний фазовращателей и аттенюаторов, сравнивают характеристики ФВ, полученные при проведении измерений на специализированном стенде (при проведении индивидуальной проверки и подборе оптимальных кодовых комбинаций) с данными, полученными при их установке в антенное полотно (в режимах прием/передача), проводят комплексную проверку системы управления ФАР и отработку всех команд в заданных режимах работы устройства управления. На рис. 2 приведен вид окна программы проверки отработки дискретных кодовых комбинаций фазовращателями [12].

После завершения процедур контроля производится измерение АФР и поправок. Программа позволяет просмотреть таблицу кодовых комбинаций подаваемых на устройство управления ФВ и коды фаз в десятичной, двоичной и шестнадцатеричной системе, хранит предыдущие фазовые поправки для того, чтобы можно было вернуться к предыдущему состоянию, если новые поправки не приведут к ожидаемому улучшению ТХ. На рис. 3 приведен вид окна программы после завершения настройки.

Программа работы с архивными файлами кодовых комбинаций ФВ и фазовых поправок предназначена для выполнения замены кодов в архивных файлах ФВ при замене фазовращателей в ФАР. В соответствии с программой проводится запись управляющих кодовых комбинаций для фазовращателя заменяющего отказавший ФВ, выполняется перерасчет поправок на месте заменяемого ФВ и изменения сохраняются в архивном файле. Информация из полученного файла с помощью программатора записывается в ПЗУ устройства управления лучом ФАР. На рис. 4 приведен пример вида окна программы работы с архивными файлами.

Комбинация диодов: Парам Не использовать 2 младших дискрета Выставить все единицы Число циклов в "Улучшить"

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

Калибровка до начала измерений: РЗН04_0000

Потери: 10.964 Фаза: 0.300

Выполнить

Читаем: Амплитуда: -12.38 Фаза: -23.25

Потери: 1.32 Фаза: 336.55

Прочитать Исправить

Калибровка после измерений: Потери: Фаза:

Выполнить

| Номер | Комбинация | Фаза | Потери | Дельта Ф | Дельта |
|-------|------------|-------|--------|----------|--------|
| 3 | 16774140 | 34.0 | 1.8 | 0.2 | 0.1 |
| 4 | 196608 | 44.9 | 1.5 | -0.1 | -0.2 |
| 5 | 3084 | 56.1 | 1.9 | -0.2 | 0.2 |
| 6 | 816 | 87.5 | 1.4 | 0.0 | -0.3 |
| 7 | 12348 | 78.6 | 1.7 | -0.2 | 0.0 |
| 8 | 208896 | 89.9 | 1.6 | -0.1 | -0.1 |
| 9 | 12595212 | 101.3 | 1.7 | 0.0 | 0.0 |
| 10 | 3342384 | 112.2 | 1.6 | -0.3 | -0.1 |
| 11 | 49980 | 123.8 | 1.5 | 0.1 | -0.2 |
| 12 | 13372416 | 134.9 | 1.6 | -0.1 | -0.1 |
| 13 | 798924 | 146.3 | 1.6 | 0.0 | -0.1 |
| 14 | 801840 | 157.3 | 1.7 | -0.2 | 0.0 |
| 15 | 12791868 | 168.8 | 1.8 | 0.0 | 0.1 |
| 16 | 3198720 | 180.0 | 1.8 | 0.0 | 0.1 |
| 17 | 16332 | 191.2 | 1.7 | 0.0 | 0.0 |
| 18 | 15778032 | 202.4 | 1.6 | -0.1 | -0.1 |

Усредненный: В квадратурах

Входные данные: Частота: РЗ Зав.№ блока: 04_0000 Задержка (сек): 0.000300

Допуск по фазе: 3.50 по потерям: 0.50 Средние потери: 1.70

Режим работы: Обнулить данные Перебор парами Одиночный перебор Проверка диодов Проверка кодов Улучшить

Индикатор: Пуск Стоп Выход

Прошло времени: 0.68 сек.

Рис. 2

Таблица РЗ

| Номер ФВ | Двоичный код | Десятичный код | Добавка (град) | Фаза на ФВ (г) | Код фаз |
|----------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------|
| 1 | 00000000 | 0 | 0.000 | 326.250 | 0011101 |
| 2 | 00000000 | 0 | 0.000 | 264.375 | 1110111 |
| 3 | 00000000 | 0 | 0.000 | 230.625 | 1110100 |
| 4 | 00000000 | 0 | 0.000 | 230.625 | 1110100 |
| 5 | 00000000 | 0 | 0.000 | 202.500 | 0010010 |
| 6 | 11000000 | 192 | 5.625 | 191.250 | 0010001 |
| 7 | 00000000 | 0 | 0.000 | 236.250 | 0010101 |
| 8 | 11111110 | 254 | -5.625 | 202.500 | 0010010 |
| 9 | 00000000 | 0 | 0.000 | 157.500 | 0001110 |

График фаз:

Направление луча: 0.0000 № луча:

Код див. сдвига: 0000000000

Таблица Доп. добавке Отключить

График добавок Включить

График фаз на ФВ

Номер частоты: Средн. добавка:

Создать файлы для программатора Просмотр кодов в файлах ПЗУ Обнулить фазы поправки Записать поправки в 64 положения луча Обнулить поправки для текущей частоты Добавить рассчитанные поправки с переменными Записать поправки в прибор

Номер рабочей точки: РЗ Тип АУ: Прибор Форма луча: Нормальный

Рис. 3

| Таблица ArchCodeFv | | | Таблица ФВ №55 (04_071) | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Номер | Поз. обозн. | Зав. ном. | Номер | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| 48 | A51 | 04_065 | 0 | 29318 | 31519 | 33348 | 35352 | 36495 | 38043 | 39437 | 40975 | 41995 |
| 49 | A53 | 05_050 | 1 | 1677716 | 4 | 4 | 4 | 4 | 16777212 | 4 | 8 | 8 |
| 50 | A54 | 04_066 | 2 | 24 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| 51 | A55 | 04_067 | 3 | 1677721 | 768 | 768 | 192 | 192 | 768 | 192 | 768 | 192 |
| 52 | A56 | 04_068 | 4 | 786432 | 3145728 | 49152 | 196608 | 3145728 | 786432 | 196608 | 3145728 | 3145728 |
| 53 | A57 | 04_043 | 5 | 1258292 | 3084 | 3084 | 3084 | 240 | 240 | 240 | 196620 | 240 |
| 54 | A58 | 04_070 | 6 | 786480 | 786480 | 786480 | 960 | 960 | 960 | 960 | 196656 | 786480 |
| 55 | A59 | 04_071 | 7 | 787200 | 1258292 | 787200 | 3132 | 786624 | 196800 | 3132 | 1277952 | 197376 |
| 56 | A60 | 04_072 | 8 | 345760 | 798720 | 3276 | 3276 | 1258596 | 1008 | 3342336 | 1258596 | 1258596 |
| 57 | A61 | 04_073 | 9 | 1259521 | 52236 | 3932172 | 52236 | 1572868 | 3145968 | 245772 | 786672 | 61452 |
| 58 | A62 | 03_002 | 10 | 199728 | 3900 | 245808 | 3324 | 197568 | 16128 | 16128 | 13248 | 50112 |
| 59 | A63 | 04_048 | 11 | 3935232 | 197436 | 13116 | 835776 | 3343104 | 52284 | 835776 | 13381632 | 835776 |
| 60 | A64 | 03_007 | 12 | 789708 | 53004 | 3354624 | 3932364 | 986124 | 197616 | 52428 | 13296 | 248540 |
| 61 | A65 | 03_004 | 13 | 838668 | 209676 | 3149760 | 847884 | 1577784 | 246576 | 246576 | 801840 | 197628 |
| 62 | A66 | 03_010 | 14 | 1337017 | 789756 | 1278034 | 1264742 | 3932988 | 1259602 | 1263289 | 1577856 | 1032384 |
| 63 | A67 | 04_046 | 15 | 1035264 | 848640 | 3198012 | 3198012 | 13566732 | 1263591 | 65292 | 3933168 | 13566732 |
| 64 | A68 | 03_009 | 16 | 3403776 | 12635952 | 3345612 | 3198156 | 3195888 | 522252 | 12599232 | 848652 | 258288 |
| 65 | Zp1 | 04_044 | 17 | 12831792 | 16518336 | 12841008 | 15744192 | 4132608 | 4132608 | 1033152 | 3198912 | 13430832 |
| 66 | Zp2 | 04_042 | 18 | 62460 | 999168 | 13579008 | 12792632 | 15938304 | 3358464 | 13566924 | 12645324 | 1033164 |
| 67 | Zp3 | 03_006 | 19 | 103156 | 3082944 | 802800 | 212876 | 16741008 | 849044 | 16741008 | 12610108 | 12202540 |
| 68 | Zp4 | 04_045 | 20 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |

Рис. 4

Остановимся на особенностях настройки многоканальных ФАР [13, 14]. Системы контроля и настройки многоканальных (многолучевых) ФАР (МФАР) позволяют наиболее точно реализовать требуемое АФР на апертуре в заданной полосе частот и обеспечивают учет влияния дестабилизирующих факторов на основе результатов, полученных системой встроенного контроля.

Характеристики МФАР во многом зависят от принятой архитектуры диаграммообразующей схемы, систематических и случайных погрешностей, вносимых элементами решеток (фазовращателями, аттенюаторами, кольцевыми мостами, вентилями и т. д.) и изготовленных из них модулей.

По результатам контроля технического состояния ФАР определяется статистика и распределение ошибок на апертуре (ошибки обработки заданных фазовых сдвигов фазовращателями, системой формирования лучей, взаимным влиянием элементов).

Учет конструктивных особенностей МФАР (структуры модулей и системы формирования лучей, возможности регулировок амплитуды и фазы как индивидуальных для каждого излучателя, так и групповых для модулей и лучей) позволяет достичь оптимальных интегральных параметров с учетом конструктивных ограничений и неидентичности каналов многолучевой системы. Следует отметить, что для однолучевых ДН практически достаточно одной итерации для получения характеристик близких к потенциально достижимым (с учетом конструктивных ограничений и взаимного влияния излучателей). Например, при задании АФР на апертуре, теоретически обеспечивающем уровень боковых лепестков (УБЛ) минус 40 дБ, уже после первой итерации был получен УБЛ не более минус 36 дБ. Однако применение такой технологии к настройке МФАР при получении аналогичного УБЛ в первом канале (порядка минус 36 дБ), привело к росту максимального УБЛ в других каналах многолучевой матрицы до величины порядка минус 18 – 20 дБ [8].

При оптимизации характеристик многолучевой ФАР с низким уровнем боковых лепестков (УБЛ) при отсутствии возможности индивидуальной настройки АФР каждого луча многолучевой матрицы, особую актуальность приобретает задача оптимизации совокупных характеристик многолучевой ФАР с помощью общих фазовых поправок.

Сочетание режимов измерения АФР, оперативного моделирования и синтеза параметров ДН, расчета и внесения поправок в АФР с помощью ТОЗУ, учет реальных характеристик фазовращателей и аттенюаторов ППМ, контроль реализации заданных поправок и определение

их влияния на ТХ способствует выработке детального понимания физики процесса настройки. Предложенная технология дает возможность оперативной проверки предлагаемых модернизаций АФР, оптимизирует процесс настройки по качеству и времени и открывает пути совершенствования ТХ АС на этапе экспериментальной отработки опытных образцов.

Выводы

Требуемая точность измерения ТХ ФАР и качество настройки на основе изложенной методики обеспечиваются комплексным подходом, включающим в себя входной контроль элементов, учет их характеристик при изготовлении и сборке модулей, соответствующими методиками выполнения измерений и программами корректировки систематических ошибок, вносимых аппаратурой измерительного стенда.

На этапе разработки архитектуры системы управления лучом ФАР следует обеспечить возможность контроля технического состояния антенны для проведения эффективной настройки и калибровки в целях поддержания технических параметров ФАР в процессе эксплуатации.

Результаты разработки технологии процессов контроля технического состояния, проведения настройки и испытаний ФАР в значительной мере зависят от технической реализации АС и в ряде случаев требуют особого подхода [15].

Использование технологических программ на этапе разработки ФАР в результате многовариантного моделирования дает возможность провести:

- оптимальный выбор формы апертуры и АФР, выдвинуть обоснованные требования к допускам изготовления, параметрам распределительной, излучающей и управляющей систем и к их элементам (фазовращателям, излучателям и т.д.);
- обосновать требования к техническим характеристикам АИК, его составу, параметрам измерительной аппаратуры и алгоритмам обработки данных, выбрать оптимальные технологии проведения настройки и ПСИ ФАР, оценить степень точности и достоверность получаемых результатов.

При проведении настройки и испытаний ФАР для получения достоверной оценки ТХ ФАР была разработана технология, включающая в себя:

- максимально полную оценку технического состояния элементов, входящих в канал приемо-передающих модулей ФАР (аттенюаторов, фазовращателей, смесителей и других элементов ФАР) для режимов ПЕРЕДАЧА и ПРИЕМ, выявление неисправностей и технологических дефектов в каналах ФАР, а также оценку взаимного влияния излучающих элементов (коммутационным методом);
- проведение математического моделирования (с использованием математической модели ФАР и данных, полученных при контроле и измерениях) с нахождением и последующим подтверждением ожидаемых статистических характеристик;
- проведение настройки АФР для требуемого пространственного сектора углов, расчет и внесение необходимых фазовых и амплитудных поправок для пространственных угловых секторов (на которые разбит полный сектор с учетом ограничений по возможности управления и юстировки для всех каналов ФАР);
- повторную оценку технического состояния каналов ФАР и их элементов (выявление зависимости от режима работы, охлаждения и т.д.) с помощью поэлементного контроля;
- статистическую обработку полученных данных и определение объема выборки АФР, достаточной для достоверной оценки параметров ФАР;
- выборочное измерение характеристик ФАР, накопление результатов в базе данных, статистическую обработку и выдача заключения о соответствии ФАР исходным требованиям [16 – 17].

Таким образом, использование предложенной технологии настройки, сочетания реальных данных, полученных при измерении АФР, и моделирования на ЭВМ дает возможность оперативной проверки предлагаемых изменений АФР и оптимизирует процесс настройки по качеству и времени.

Список литературы: 1. *Активные фазированные антенные решетки* / Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радиотехника, 2004. 488 с. 2. *Основные тенденции развития ближнезонных методов измерения характеристик антенн. Ч.1. Методы измерений линейных и апертурных антенн* / В.А. Усин, В.И. Марков, В.А. Губарь, В.А. Ковальчук, Л.В. Рожнятовская, А.В. Усина, А.Б. Филоненко // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2006. Вып. 146. С. 107-120. 3. *Применение автоматизированных измерительных комплексов для оценки параметров сложных антенных систем* / В.А. Усин, В.И. Марков, В.А., С.В. Помазанов, А.В. Усина // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2008. Вып. 154. С. 172-178. 4. *Марков В.И. Встроенная система контроля ФАР* // Вісник Київ. нац. університету імені Тараса Шевченка. Київ: Київ. ун-тет, 2006. Вип. 2, С. 94-100. 5. *Slater, Dan Near-field antenna measurements* / Boston: Artech House, 1991. 310 p. 6. *Методы измерения характеристик антенн СВЧ* / Л.Н. Захаров, А.А. Леманский, В.И., Турчин и др.: под ред. Н.М. Цейтлина. М.: Радио и связь, 1985. 368с. 7. *Методы измерения параметров излучающих систем в ближней зоне* / Л.Д. Бахрах и др. Л.: Наука, 1985. 8. *Основные тенденции развития ближнезонных методов измерения характеристик антенн. Ч.2. Методы контроля, настройки и измерения параметров ФАР* / В.А. Усин, В.И. Марков, С.В. Помазанов, А.В. Усина, А.Б. Филоненко // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2010. Вып. 160, С. 213-227. 9. *Автоматизированная система для контроля и настройки ФАР* / В.И. Гузь, В.И. Марков, А.А. Зайцев, В.А. Мартынов, А.Б. Филоненко // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. Киев. 2007. Т. 50, №1. С 46-51. 10. *Алексеев О. С. Формирование перспективного технологического маршрута настройки АС с ЭУЛ* // Антенны. 2008. №9 С. 29-39. 11. *Настройка, контроль и калибровка АФАР* / В.А. Усин, В.И. Марков, В.А., С.В. Помазанов, А.В. Усина // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2009. Вып. 157. С. 87-90. 12. *The automatized system for s-parameters measurement of controlled microwave – devices* / V.I. Guz, V.P. Lipatov, A.A. Zaitsev, V.A. Martynov, V.I. Markov, A.B. Filonenko // Proc. of the 5-th International Conference of Antenna Theory and Techniques. Kyiv (Ukraine). 24-27 May 2005. pp. 382-385. 13. *Усин В.А., Марков В.И., Филоненко А.Б. Расчетно-экспериментальный метод настройки многоканальных ФАР* // Электромагнитные волны и электронные системы. 2004. Т.9, №3-4. С. 94-100. 14. *Markov V., Kozlov A. Built-In Performance Monitoring Systems for Phased-Array Antennas with Binary Phase Shifters. Proc. of Antenna Measurement Techniques Association (AMTA'03), Irvine, California, 2003, pp. 560-567.* 15. *Markov V.I. Built-in performance monitoring system for high power transmitting phased-array antennas* // ММЕТ. 2004. pp.327-329. 16. *Усин В.А., Ковальчук В.А., Марков В.И., Филоненко А.Б. Комбинированный метод измерения характеристик антенн* // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. №5. С. 65-71. 17. *Markov V.I., Filonenko A.B. Implementation of phase retrieval techniques for improving the results of phased array antennas near-field measurements, ММЕТ, 2004, pp.177-179.*

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники,
НИИ «Квант»,
Харьковский государственный
университет питания и торговли,
Антрацитовский техникум
радиоэлектронного приборостроения*

Поступила в редколлегию 04.03.2010