

УДК 621.396.67

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕРЕДАЮЩЕЙ АФАР ПРИ НАЛИЧИИ ПОГРЕШНОСТИ НАВЕДЕНИЯ И ОТКАЗАХ КАНАЛОВ УСИЛЕНИЯ**

**Т. Р. Сабиров**

**ФГУП «Научно-производственное объединение им.С.А. Лавочкина»**

Получена 28 ноября 2012 г.

**Аннотация.** В работе рассмотрен вопрос влияния отказов каналов АФАР, размещаемой на космическом аппарате, на характеристики излучения. Приведён вид соответствующих ДН и результаты количественного анализа характеристик излучения АФАР при отказах каналов. При расчётах были случайным образом выбраны  $N$  каналов, которые последовательно «отключались». Под «отключением» понималась нулевая амплитуда возбуждения тракта излучателя, при этом считалось, что излучатель нагружен на согласованную нагрузку. Расчёты проводились для сфазированной АФАР, в заданном направлении в азимутально-угломестной системе координат с учётом взаимного влияния излучателей и наличия ошибок в установке начальной фазы на выходе блоков усиления. Некоторые материалы настоящей статьи докладывались и обсуждались 6-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиолокация и радиосвязь», прошедшей в ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН в Москве с 19 по 22 ноября 2012г.

**Ключевые слова:** АМ АФАР; КЭБ; космический аппарат; отказы активных элементов; диаграмма направленности.

**Abstract:** The effect of malfunctions of AESA channels placed on the spacecraft on the radiation characteristics is considered. The form of the relevant patterns and the results of the quantitative analysis of the radiation from failure AESA channels is shown. Randomly selected  $N$  channels, which were consistently turned off, were used in calculations. Zero excitation amplitude of emitter was considered as turning off, and it was assumed that the emitter is loaded. Calculations were made for phase-

locked AESA, in a given direction in the azimuthal-elevation coordinate system with the mutual influence of radiators and errors in the initial phase of installation at the output of the gain.

**Key words:** AESA active modules, electronic components, spacecraft, failures of active elements, the radiation pattern.

Сегодня режимы работы активных фазированных антенных решеток (АФАР), размещаемых на космических аппаратах как ближнего, так и дальнего космоса, в значительной степени зависят от режимов работы систем обеспечения теплового режима (СОТР), так как известно, что работа таких сложных систем, как АФАР, связана с необходимостью отвода значительных плотностей потоков теплоты при воздействии внешних факторов космического пространства и собственных факторов работы устройств АФАР в режимах с высокими тепловыми нагрузками. Функционирование, надежность и управление комплектом электронных блоков (КЭБ) АФАР существенно зависит от СОТР, которые позволяют решить задачу температурной стабилизации и управления режимами КЭБ. Однако сбои в работе СОТР могут привести к отказам передающих (или приемо-передающих) активных модулей (АМ) КЭБ. Знание характеристик направленности АФАР в таких сложных режимах работы с отказавшими АМ КЭБ позволит более эффективно управлять лучом при сканировании, заранее заложить компенсационные механизмы [1].

Электродинамический расчёт характеристик излучения АФАР позволяет оценить изменение характеристик излучения АФАР при отказах каналов усиления, а так же выявить влияние фазовых ошибок на характеристики излучения. Так при результатах испытаний АФАР, были получены экспериментальные данные, сравнение с которыми результатов расчётов позволяет дополнительно оценить адекватность полученных теоретических результатов.

Для оценки влияния взаимной связи излучающих элементов на характеристики излучения были проведены расчёты диаграммы

направленности одного элемента [2] в составе решётки и расчёты характеристик излучения АФАР без учёта и с учётом взаимной связи элементов. При этом комплексный коэффициент передачи из тракта излучающего элемента номер  $m$  на апертуру ИМ номер  $n$  можно определить как

$$F_{mn} = \sigma_{0m} e^{-\left(r_{mn} (\zeta + \nu \sin^2 \varphi_{mn})\right)^\gamma} (\delta + \mu \sin^2 (4\varphi_{mn})) \times e^{ikr_{mn}},$$

где  $\sigma_{0m}$  - нормировочный коэффициент модуля номер  $m$ , подбираемый таким образом, чтобы обеспечить баланс подводимой, излучаемой и отражаемой мощностей на решётке;  $r_{mn}$  - расстояние между центрами модулей  $m$  и  $n$ ;  $\zeta, \nu, \delta, \mu, \gamma$  - параметры, определяющие скорость убывания функции  $F$  и её угловую зависимость.

На Рис.1 показаны, в качестве примера, линии постоянного уровня амплитуды функции  $F$  для трёх наборов параметров  $\zeta, \nu, \delta, \mu, \gamma$  (их значения приведены на каждом рисунке). На Рис.1а показан вариант азимутально независимой функции взаимной связи, на Рис.1б - вариант функции взаимной связи с периодической ( $\pi/4$ ) зависимостью, а на Рис.1в - вариант функции взаимной связи с периодической ( $\pi/4$  и  $\pi/2$ ) зависимостью.

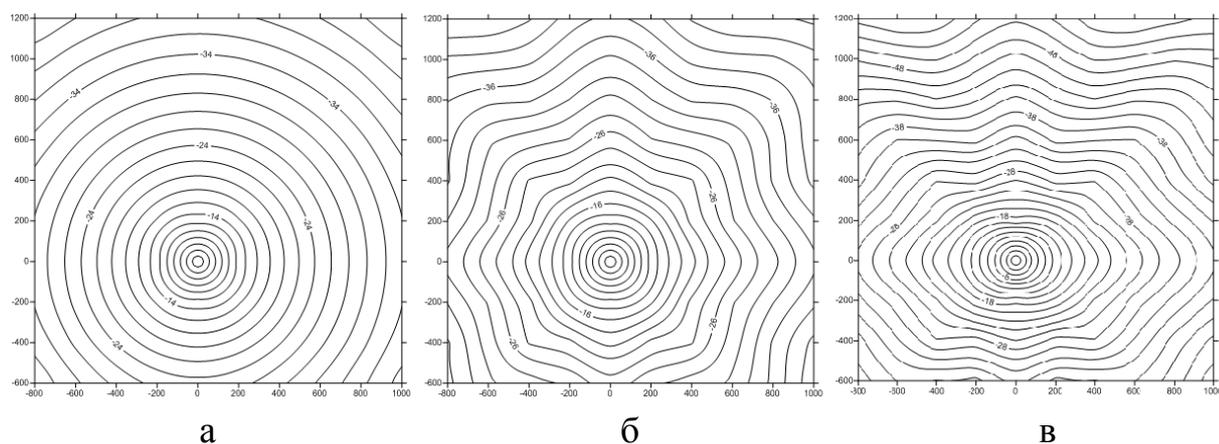


Рис.1. Амплитуды функции взаимной связи

Как видно из приведённых Рис.1а,б,в, функция  $F$  позволяет в широких пределах регулировать задаваемую связь между излучающими элементами АФАР.

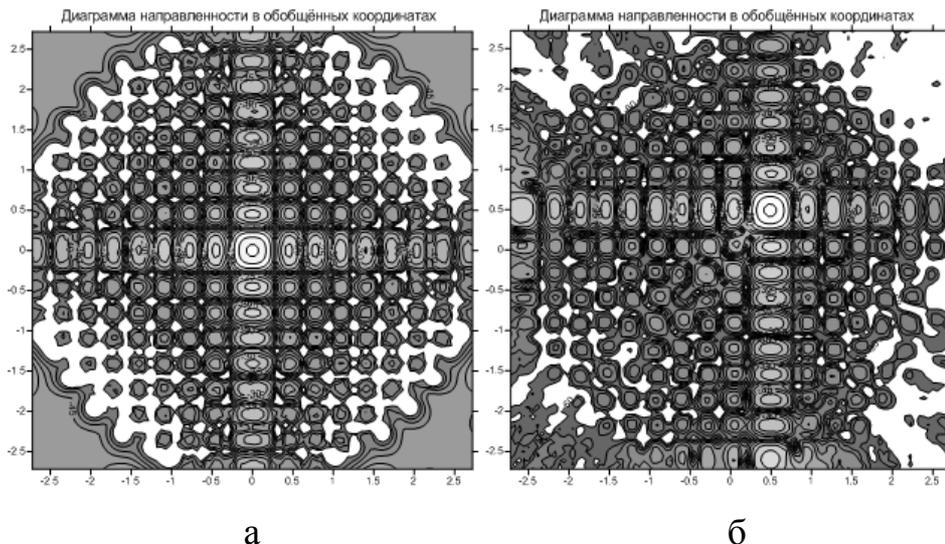


Рис.2. а - сфазированная по нормали АФАР, б - сфазированная в направлении  $13^\circ$  от нормали

Диаграммы направленности излучения по круговой поляризации сфазированной по нормали АФАР[3], с учётом взаимного влияния (линии постоянного уровня и главные сечения) показана на рис.2а и сфазированной в направлении  $13^\circ$  от нормали в диагональной плоскости на рис.2б.

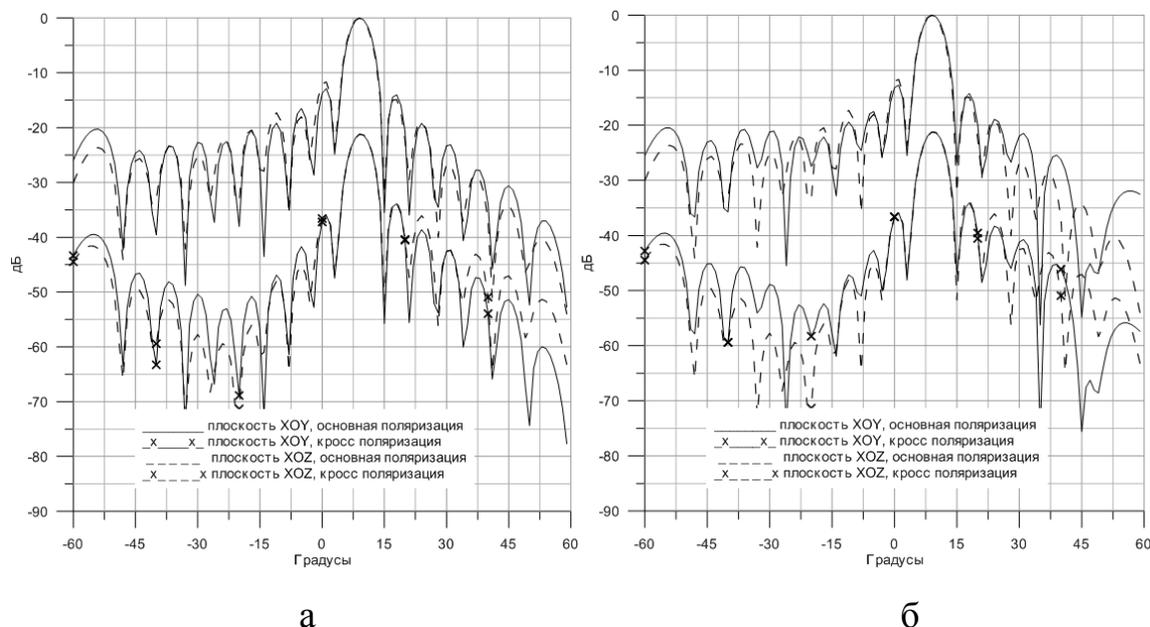


Рис.3. а - ДН АФАР при полностью исправных АМ, б - при выходе из строя 20 АМ

Качественно влияние отказов излучателей на вид ДН АФАР очень хорошо видно при сравнении ДН, рассчитанных для направления фазирования к примеру  $13^\circ$  в азимутально-угломестной системе координат при полностью исправных АМ КЭБ и при выходе из строя до 20 каналов АМ. Вид соответствующих ДН приведён на Рис.3а,б.

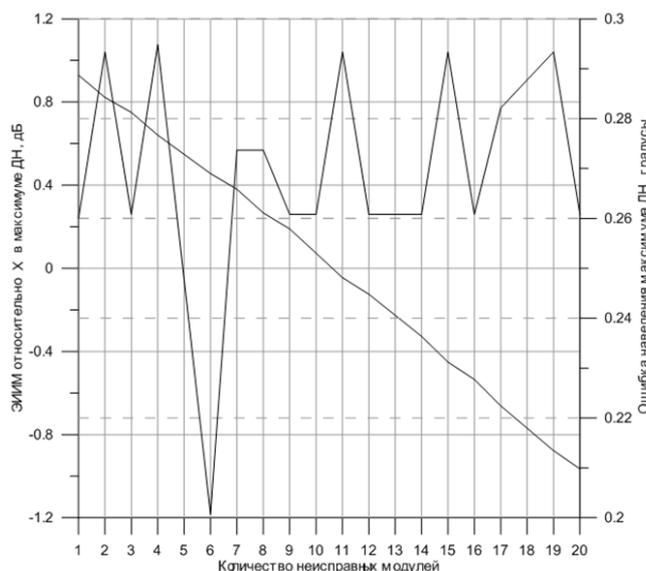


Рис.4. Графики изменения ЭИИМ относительно X в максимуме ДН и погрешности наведения АФАР при выходе ИМ из строя

При расчётах были случайным образом выбраны 20 каналов АМ, которые последовательно «отключались». Под «отключением» понималась нулевая амплитуда возбуждения тракта излучающего элемента (ИЭ) АФАР, при этом считается, что ИЭ нагружен на согласованную нагрузку. Расчёты проводились для АФАР, сфазированной в направлении  $13^\circ$  в азимутально-угломестной системе координат с учётом взаимного влияния элементов друг на друга. При этом в зависимости от количества неисправных ИМ оценивалась погрешность наведения максимума ДН АФАР и ЭИИМ относительно заданного X в максимуме ДН, дБ\*Вт. Соответствующие графики приведены на Рис.4.

Результаты расчётов, приведённые выше, были получены с учётом погрешности в установке начального фазового распределения по ИЭ, соответствующей погрешности, измеренной на АФАР. График этого фазового распределения показан на Рис.5.

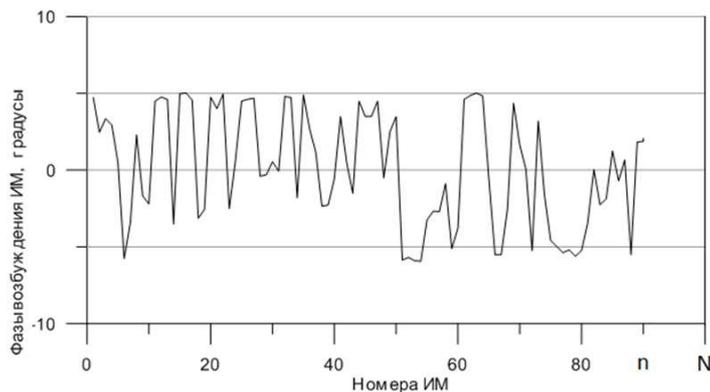


Рис.5. Распределение фазы возбуждения по ИЭ АФАР

Очевидно, что реальное фазовое распределение может отличаться от приведённого на Рис.5. Для выяснения вопроса о степени влияния погрешностей начальной установки фазы в на входе ИЭ АФАР на характеристики излучения, с помощью разработанной математической модели были проведены расчёты характеристик излучения АФАР для начальных фаз на входе ИЭ, установленных с погрешностями, которые носят случайный характер и распределены по нормальному закону с некоторым значением стандартного отклонения от нулевого среднего значения [3].

Анализ результатов влияния отказов излучателей на характеристики излучения показывает, что при отказах 20 каналов происходит незначительный рост боковых лепестков. Получена оценка погрешности наведения максимума ДН АФАР и ЭИИМ относительно заданного  $X$  в максимуме ДН, при отказах каналов усиления [4].

Анализ результатов влияния фазовых ошибок на характеристики излучения показывает, что в том случае, если погрешности установки начальной фазы не превышают  $11,25^\circ$ , отличие ДН АФАР от идеальной (с нулевыми погрешностями установки начальной фазы), наблюдается в области углов, отстоящих от максимума ДН не ближе, чем второй боковой лепесток. Более чувствительным к неоднородностям фазировки параметром является коэффициент усиления (КУ). Разработанная математическая модель АФАР

позволяет рассчитать относительное изменение КУ при различных фазовых распределениях.

### Литература

1. *Воскресенский Д.И.* Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. М.: Радиотехника, 2003, 632 с.

2. *Сабиров Т.Р.* Результаты разработки новой конструкции элемента АФАР // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиофизики «АПР-2012». Томск. 1 — 7 октября 2012 г.

3. *Сабиров Т.Р.* Функция взаимного влияния излучателей АФАР космического базирования // Материалы 22-й Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» КрыМиКо'2012. Севастополь. 10-14 сентября 2012 г.

4. *Сабиров Т.Р.* Характеристики излучения передающей АФАР при отказах каналов усиления // Доклады 6-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиолокация и радиосвязь», М.Издание JRE - ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, Том 2, С.133-135, Москва, 19-22 ноября 2012г.