

УДК 621.396.677

## Способ управления контурной диаграммой направленности бортовой зеркальной антенны

Габриэльян Д. Д., Занин К. М.

**Постановка задачи:** При разработке систем спутниковой связи необходимо обеспечить требуемое ее качество в пределах установленной зоны обслуживания, которая может иметь сложную форму границы. Для ее покрытия применяют бортовые антенные системы, формирующие контурную диаграмму направленности, требования к параметрам которой могут изменяться во время эксплуатации системы, что может быть обусловлено уточнением формы границы области обслуживания или изменением взаимного положения космического аппарата и рабочей области с течением времени. Для реализации заданной диаграммы направленности существует несколько способов построения антенных систем. Среди них перспективным направлением является использование зеркальной антенны с одиночным облучателем и профилированным металлическим рефлектором, поверхность которого в большей степени определяет параметры главного максимума. Однако актуальным вопросом является обеспечение возможности управления параметрами диаграммы направленности, что является основным ограничением. **Цель работы:** обеспечение возможности управления контурной диаграммой направленности бортовой зеркальной антенны с одиночным облучателем и профилированным рефлектором. **Новизна:** для преодоления указанного ограничения предложен способ, который является новым и заключается во взаимном геометрическом смещении элементов рефлектора, при котором формируется требуемое распределение фаз на апертуре. **Результат:** результаты расчетов диаграмм направленности, которые формируются независимыми (несвязанными) конфигурациями раскрывов зеркальных антенн, подтверждают эффективность предложенного способа. Его применение обеспечивает возможность управления контурной диаграммой направленности бортовой зеркальной антенны с одиночным облучателем и профилированным рефлектором. **Практическая значимость:** исполнительными устройствами в составе антенной системы, реализующими предложенный способ, являются механические компоненты, параметры которых более устойчивы к факторам космического пространства в сравнении с радиочастотными компонентами.

**Ключевые слова:** контурная диаграмма направленности, зеркальная антенна, профилированный рефлектор.

### Актуальность

При разработке систем спутниковой связи (ССС) необходимо для заданных параметров абонентских терминалов обеспечить требуемое качество связи в пределах установленной зоны обслуживания на поверхности Земли. Зона обслуживания может иметь сложную форму, которая не описывается простыми геометрическими фигурами, с границей в виде окружности или эллипса. Для ее покрытия применяют бортовые антенные системы (АС), формирующие кон-

---

#### Библиографическая ссылка на статью:

Габриэльян Д. Д., Занин К. М. Способ управления контурной диаграммой направленности бортовой зеркальной антенны // Системы управления, связи и безопасности. 2026. № 1. С. 35-47. DOI: 10.24412/2410-9916-2026-1-035-047

#### Reference for citation:

Gabrielyan D. D., Zanin K. M. Contoured Beam Control Method for an Onboard Reflector Antenna. *Systems of Control, Communication and Security*, 2026, no. 1, pp. 35-47 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2026-1-035-047

турную диаграмму направленности (ДН), у которой граница сечения главного максимума в портретной плоскости соответствует обслуживаемой территории.

Требования к параметрам контурной ДН во время эксплуатации ССС могут изменяться в пределах возможностей АС. Это обуславливается уточнением формы границы области обслуживания, в случае размещения космического аппарата (КА) на геостационарной орбите (ГСО), или изменением взаимного положения КА и рабочей области с течением времени, при размещении КА на орбите, отличной от ГСО.

Для удовлетворения данных требований существует несколько способов построения АС. Среди них наиболее распространены: активные фазированные антенные решетки (АФАР) и гибридно-зеркальные антенны (ГЗА).

АФАР позволяют реализовать контурную ДН за счет управления комплексными коэффициентами передачи в каждом канале. Данные АС имеют возможность оперативно изменять распределение амплитуд и фаз на апертуре и формировать различные рабочие области покрытия проектируемой ССС. Однако АФАР имеют сниженный срок службы из-за деградации параметров элементной базы, что обуславливает дополнительную стоимость и необходимость проведения трудоемкой настройки и восстановления ДН в условиях орбитального полета [1].

Более обоснованным с технической точки зрения решением является использование ГЗА, которая позволяет реализовать контурную ДН с изменяющимися параметрами при меньшей сложности и стоимости в сравнении с АФАР. Однако конструкция коммутируемой облучающей системы может оказаться достаточно громоздкой, что приведет к снижению энергетических характеристик ССС.

Перспективным направлением реализации и управления контурной ДН, свободным от приведенных недостатков, является построение АС на основе зеркальной антенны (ЗА) с одиночным облучателем и профилированным металлическим рефлектором, поверхность которого в совокупности с параметрами облучателя формирует амплитудно-фазовое распределение на апертуре, соответствующее требуемой ДН. Однако актуальным вопросом является обеспечение возможности управления ее параметрами во время эксплуатации, что является основным ограничением.

Целью работы является обеспечение возможности управления контурной ДН бортовой ЗА с одиночным облучателем и профилированным рефлектором.

Решаемые задачи:

- 1) разработка способа управления контурной ДН ЗА;
- 2) проверка эффективности разработанного способа;
- 3) определение параметров рефлектора ЗА, связанных с технической реализацией разработанного способа.

## 1. Способ управления контурной ДН ЗА

Разработка способа управления контурной ДН выполнена на основе результатов работ [2-5], где рассмотрены основные этапы синтеза ЗА. Согласно выполненным исследованиям реализация требуемого распределения фаз (ФР)

на апертуре антенны (распределение амплитуд определяется ДН облучателя) связана с синтезом рабочей поверхности рефлектора таким образом, чтобы разность длин путей сигналов, распространяющихся от фазового центра облучателя до плоскости апертуры антенны, соответствовала ФР.

Величина пути распространения сигнала, отраженного от поверхности рефлектора, при заданной длине волны  $\lambda$  имеет вид

$$\Delta L(x, y) = \frac{\lambda \Phi(x, y)}{2\pi}, \quad (1)$$

где  $(x, y)$  – координаты плоскости апертуры,  $\Phi(x, y)$  – требуемое ФР на апертуре ЗА.

Для получения уравнения поверхности профилированного рефлектора с учетом  $\Delta L$  рассмотрено сечение параболы, построенной в координатах  $y, z$ . Такое уравнение имеет вид  $z(y) = ay^2$ ,  $a > 0$ . Точка фокуса имеет координату  $z_f = (4a)^{-1}$ . Пусть плоскость  $z = z_0$  пересекает ось  $z$  в точке фокуса  $f$ . Тогда геометрическая длина пути от точки  $f$  до точки параболы с координатами  $(y, z)$  и от точки параболы до плоскости  $z = z_0$  будет равна  $L = (2a)^{-1}$ . Если первое уравнение параболы имеет коэффициент при старшей степени  $a_1$ , а второе –  $a_2$ , где  $a_1 > 0$  и  $a_2 > 0$ , то рассматриваемая разность хода лучей имеет вид  $\Delta L = (2a_1)^{-1} - (2a_2)^{-1}$ . Отсюда искомый коэффициент при старшей степени с учетом  $f = (4a)^{-1}$  может быть вычислен следующим образом

$$a_2 = (4f + 2\Delta L)^{-1}. \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) форма поверхности профилированного рефлектора, реализующего требуемое ФР на апертуре, имеет вид

$$z'(x, y) = \frac{x^2 + y^2}{2(2f + \Delta L(x, y))} - \frac{\Delta L(x, y)}{2}. \quad (3)$$

Уравнение (3) в данной работе определяет измененную форму рефлектора относительно начального состояния, в то время как исходная поверхность рефлектора описывается уравнением

$$z''(x, y) = \frac{x^2 + y^2}{4f}. \quad (4)$$

С учетом (3) и (4) величина смещения элементов имеет вид

$$\Delta z(x, y) = z'(x, y) - z''(x, y) = \frac{-\Delta L(x, y)(4f^2 + 2\Delta L(x, y)f + x^2 + y^2)}{4f(2f + \Delta L(x, y))}. \quad (5)$$

Предлагаемый способ управления контурной ДН заключается в изменении взаимного геометрического положения элементов рефлектора с координатами  $(x, y)$  на величину  $\Delta z(x, y)$ , при котором формируется требуемое распределение фаз на апертуре ЗА. В рамках предлагаемого способа элементы могут

смещаться только вдоль направления, параллельного оси параболоида вращения (оси  $z$ ). Для реализации способа необходимо:

- 1) вычислить распределение  $\Phi(x, y)$ , которому, с учетом параметров облучателя ЗА, соответствует требуемая контурная ДН;
- 2) вычислить величину смещения элементов рефлектора  $\Delta z(x, y)$  согласно (5);
- 3) отправить команды на исполнительные устройства ЗА и обеспечить:
  - 3.1) установку элементов рефлектора в исходное положение (4);
  - 3.2) смещение элементов на величину  $\Delta z(x, y)$ .

Предложенный способ имеет преимущество при реализации в ССС по сравнению, например, с АФАР, так как управление ДН осуществляется с помощью механических исполнительных устройств, таких как шаговые двигатели (ШД) [6-9], параметры которых более устойчивы к факторам космического пространства по сравнению с радиочастотными компонентами. Пример использования ШД для реализации разработанного способа управления ДН ЗА показан на рис. 1.

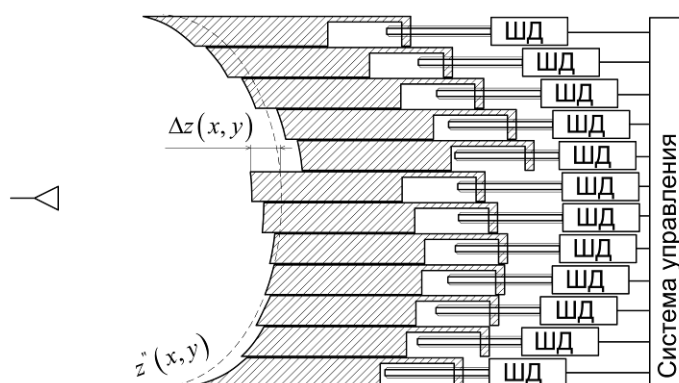


Рис. 1. Пример реализации способа управления ДН ЗА с одиночным облучателем

## 2. Проверка эффективности способа управления контурной ДН

Для проверки эффективности предложенного способа выполнено численное исследование его возможностей на примере контурных ДН, показанных на рис. 2, 3.

В задачах численного синтеза антенн шаг координатной сетки элементов рефлектора  $d$  в значительной степени определяет требования к количеству математических операций. Поэтому  $d$  необходимо выбирать как можно большим в пределах  $d \leq \frac{\lambda}{1 + \sin(\Delta\theta)}$  (условие отсутствия дифракционных максимумов в рабочем секторе углов  $\Delta\theta$ ).

С другой стороны, как будет показано далее,  $d$  определяет точность аппроксимации формы поверхности рефлектора и качество формирования ДН. В этом случае  $d$  необходимо задавать как можно меньшим. Поэтому величина  $d$  выбирается, исходя из компромисса между данными условиями. В рамках те-

кущего раздела элементы рефлектора расположены на расстоянии  $d = 0,75\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны на средней рабочей частоте.

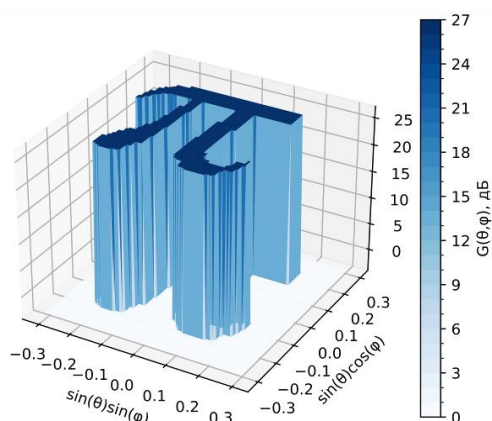


Рис. 2. Пример контурной ДН 1

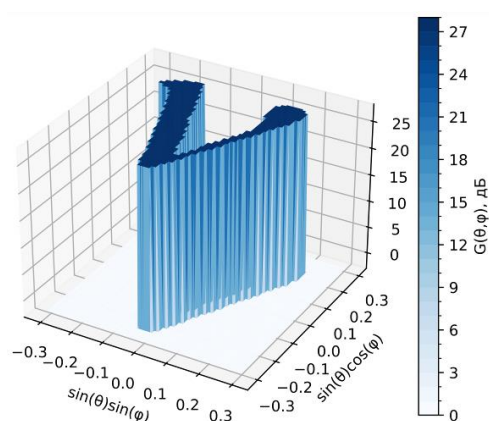


Рис. 3. Пример контурной ДН 2

Для соблюдения заданного  $d$  во всех направлениях элементы должны быть расположены в узлах гексагональной сетки. Начальное взаимное положение, согласно (4), показано на рис. 4. На данном рисунке ЗА состоит из одиночного облучателя и рефлектора, поверхность которого представляет собой поверхность параболоида вращения, у которого точка фокуса совмещена с фазовым центром облучателя, а диаметр апертуры ограничен величиной  $30\lambda$ . На рис. 5 показаны элементы рефлектора.

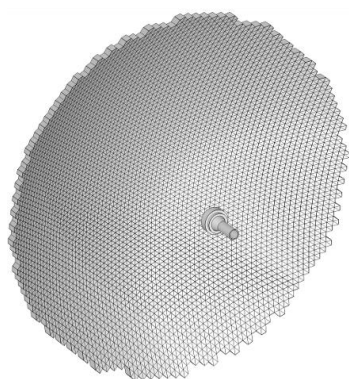


Рис. 4. ЗА с исходным положением элементов рефлектора

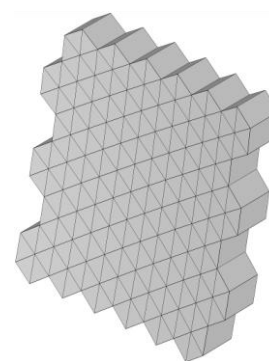


Рис. 5. Элементы рефлектора в исходном положении

На рис. 6, 7 приведены ФР, соответствующие ДН рис. 2, 3 с учетом конфигурации раскрыва, показанного на рис. 4.

Как видно из рис. 6, 7, ФР определяют независимые (несвязанные) конфигурации раскрывов антенн при идентичных координатах  $x$  и  $y$  элементов рефлектора. Для реализации требуемого ФР на апертуре рассматриваемой ЗА выполнено их смещение предложенным способом согласно (1), (5). Результаты полученных построений приведены на рис. 8, 9, где объемные модели ЗА отличаются только взаимным положением элементов, смещенных по прямой, параллельной оси исходного параболоида вращения.



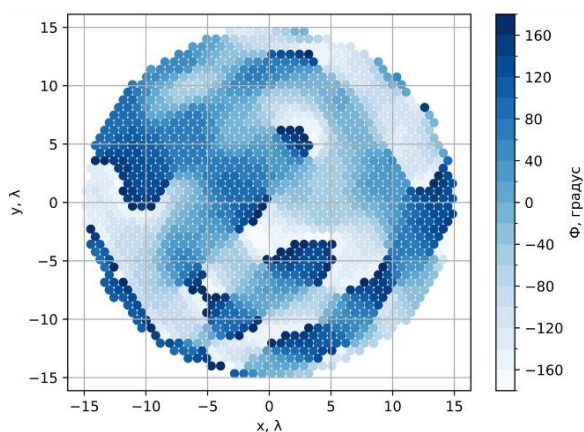


Рис. 6. ФР, соответствующее ДН 1

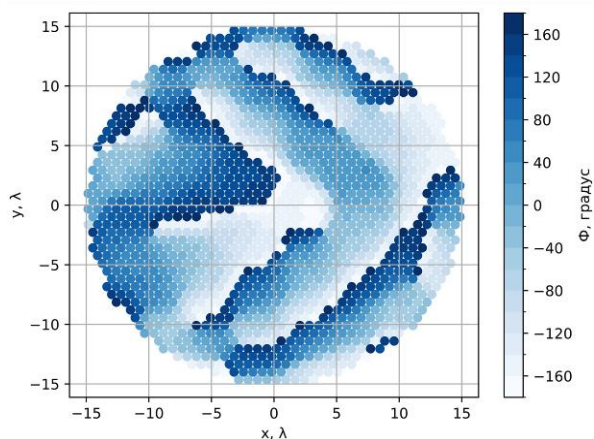


Рис. 7. ФР, соответствующее ДН 2

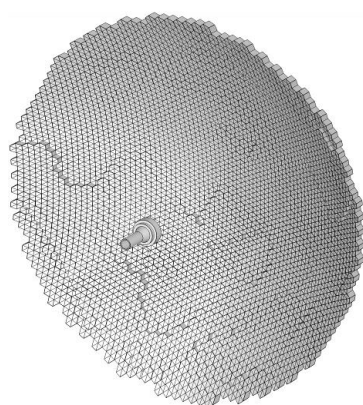


Рис. 8. ЗА, формирующая ДН 1

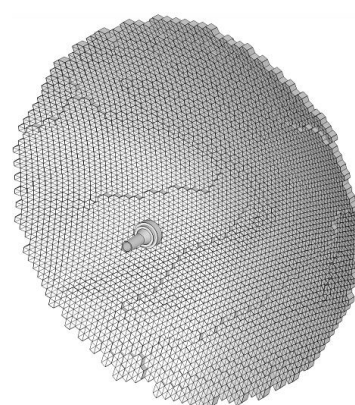


Рис. 9. ЗА, формирующая ДН 2

При помощи программы электродинамического моделирования рассчитаны ДН объемных моделей, приведенных на рис. 8, 9. Данные результаты показаны на рис. 10, 11. Полученные зависимости подтверждают возможность управления контурной ДН ЗА предложенным способом.

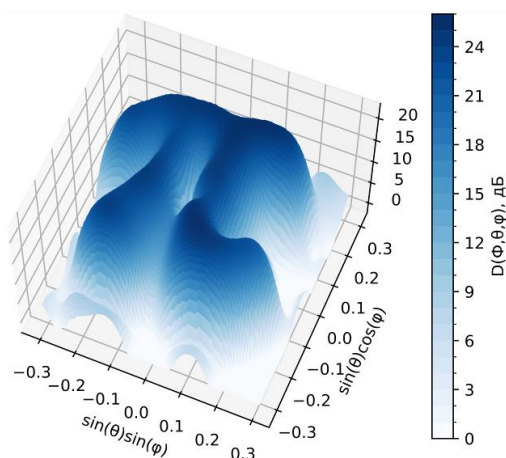


Рис. 10. ДН ЗА, показанной на рис. 8

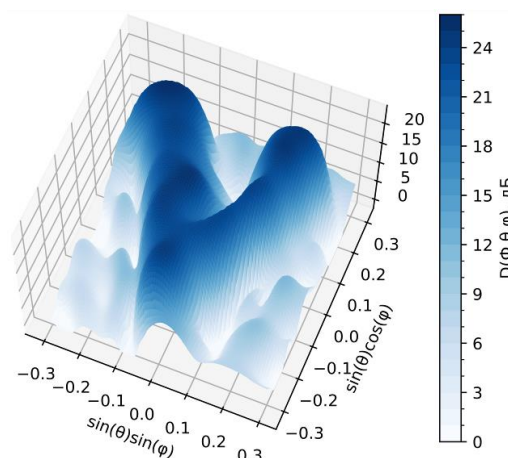


Рис. 11. ДН ЗА, показанной на рис. 9

### 3. Определение параметров рефлектора ЗА

Техническая реализация предложенного способа требует на этапе проектирования ЗА определения связанных с ним параметров:

- величины максимального смещения элементов рефлектора  $\Delta z_{\max}$ ;
- шага расположения элементов  $d$ ;
- точности установки элементов  $\sigma_z$ .

Величина максимального смещения элементов рефлектора  $\Delta z_{\max}$  необходима для выбора компонентов управления положением элементов и, согласно (5), в большей степени определяется дополнительными требованиями, такими как ограничения на максимальные габаритные размеры по  $x$  и  $y$ , а также фокусным расстоянием  $f$ . В рассмотренных конфигурациях раскрывов, поскольку ФР задано в пределах от минус 180 до плюс 180 градусов, величина смещения при  $f = 10,3\lambda$  не превышает  $\Delta z_{\max} = 0,27\lambda$ .

Как было отмечено ранее, величина  $d$ , определяющая размер элемента рефлектора, оказывает значительное влияние на качество формирования контурной ДН ЗА. Точность установки элементов рефлектора на траектории их смещения  $\sigma_z$  также оказывает существенное влияние, так как она связана с реализацией ФР на апертуре антенны. Для задания  $d$  и  $\sigma_z$  выполнена количественная оценка их влияния на параметры контурной ДН на основе показателя, сформулированного в [10].

Согласно результатам данного исследования показатель качества имеет вид

$$E = q_1 + q_2, \quad (6)$$

где слагаемое  $q_1$  пропорционально плотности потока мощности излучения за пределы установленной зоны обслуживания ССС;  $q_2$  – снижению уровня ДН относительно заданного (см. рис. 2, 3 и 10, 11) в пределах рабочей области. Критерием эффективности является  $E \rightarrow \min$  при установленных ограничениях на геометрические параметры раскрыва ЗА.

Для определения  $d$  с использованием предложенного способа синтезированы несколько объемных моделей ЗА, формирующих контурные ДН 1 и 2, которые отличаются только данным параметром, и с помощью программного обеспечения электродинамического моделирования вычислены соответствующие ДН. Пределы изменения  $d$  выбраны следующим образом: начальное значение  $d_{\min} \rightarrow 0$ ; максимальное  $d_{\max}$  ограничено значением, при котором основной лепесток контурной ДН полностью разрушается. На основе полученных результатов построены зависимости показателя (6) от  $d$  в виде функции  $E(d)$ , которые приведены на рис. 12, 13. На данных рисунках и далее результаты моделирования аппроксимированы полиномом третьей степени.

Полученные зависимости показывают, что показатель  $E$  снижается при уменьшении  $d$ . Вместе с этим увеличивается число элементов рефлектора, положения которых необходимо изменять, что приводит к усложнению АС, обуславливает ее дополнительную стоимость. К примеру, при  $d = 0,5\lambda$  количество

элементов рефлектора составляет 3232, а при  $d = 0,75\lambda - 1448$ , при этом качество формирования контурной ДН значительно не ухудшается.

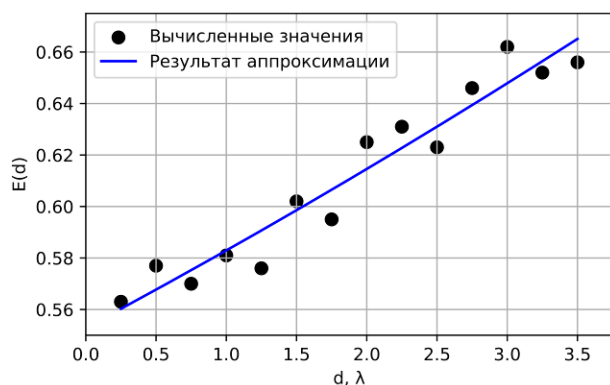


Рис. 12. Зависимость  $E(d)$  при формировании ДН 1

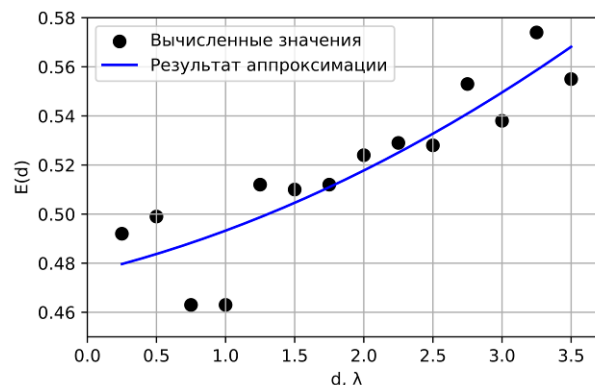


Рис. 13. Зависимость  $E(d)$  при формировании ДН 2

Визуально на примере зависимостей, подобных рис. 10, 11, отличия формируемых ДН при  $d \leq 0,75\lambda$  определить сложно. Для наглядного отображения примера искажений ДН, связанных с ростом  $d$ , на рис. 14, 15 приведены зависимости при  $d = 3\lambda$ .

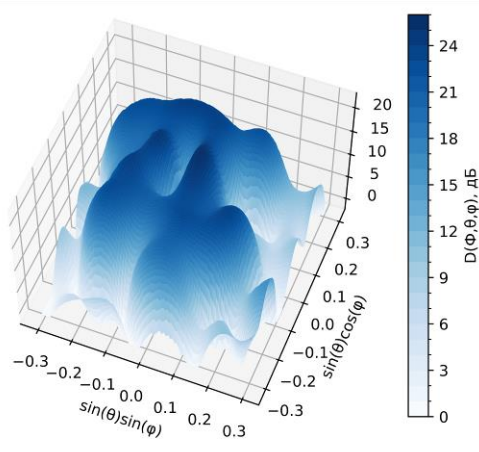


Рис. 14. ДН ЗА, показанной на рис. 8, при  $d = 3\lambda$

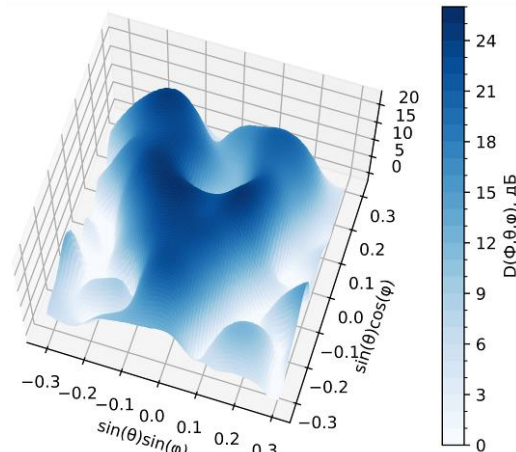


Рис. 15. ДН ЗА, показанной на рис. 9, при  $d = 3\lambda$

На основании полученных зависимостей параметр  $d$  может быть задан как компромисс между качеством формирования контурной ДН и сложностью и стоимостью АС.

Для определения точности установки элементов рефлектора применен аналогичный подход. С использованием предложенного способа синтезированы несколько объемных моделей ЗА, формирующих контурные ДН 1 и 2, которые отличаются ФР на апертуре. Для каждой из объемных моделей, у которых  $d = 0,75\lambda$ , при синтезе к  $\Delta z(x, y)$  добавлено распределение случайной величины, у которой математическое ожидание равно нулю, среднеквадратическое отклонение (СКО) —  $\sigma_z$ , закон распределения — нормальный. Пределы изменения



$\sigma_z$  выбраны следующим образом: начальное значение  $\sigma_z = 0$ ; максимальное  $\sigma_z^{\max}$  ограничено значением, при котором основной лепесток контурной ДН полностью разрушается. С помощью программного обеспечения электродинамического моделирования вычислены соответствующие ДН, и на основе полученных результатов построены зависимости показателя (6) от  $\sigma_z$  в виде функции  $E(\sigma_z)$ . Результаты данных вычислений приведены на рис. 16, 17.

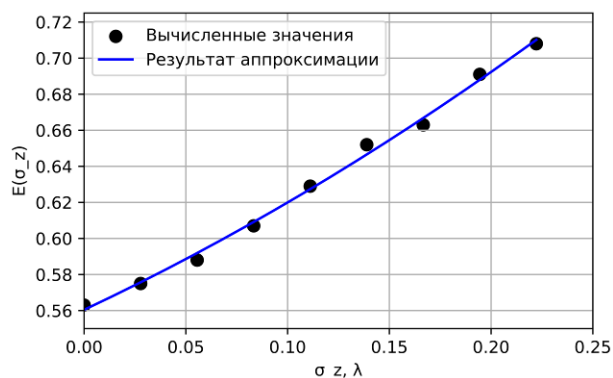


Рис. 16. Зависимость  $E(\sigma_z)$  при формировании ДН 1

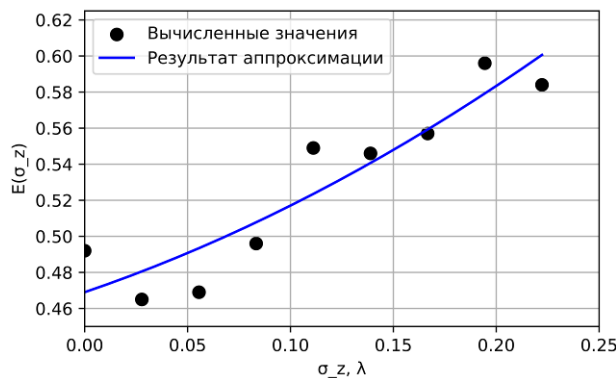


Рис. 17. Зависимость  $E(\sigma_z)$  при формировании ДН 2

Визуально по форме ДН сложно определить ее искажения при  $\sigma_z \leq 0,08$ . Для наглядного отображения влияния  $\sigma_z$  на форму ДН на рис. 18, 19 приведены зависимости при  $\sigma_z = 0,163$ .

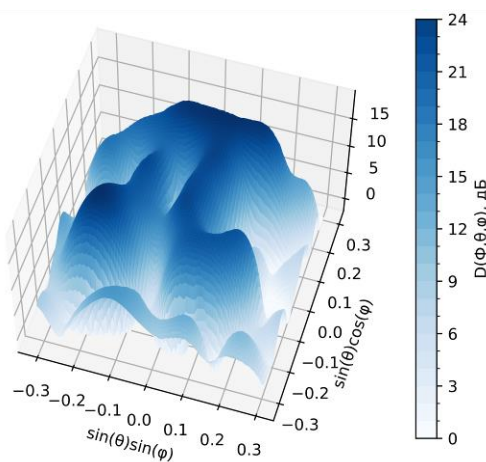


Рис. 18. ДН 3А, показанной на рис. 8, при  $\sigma_z = 0,163$

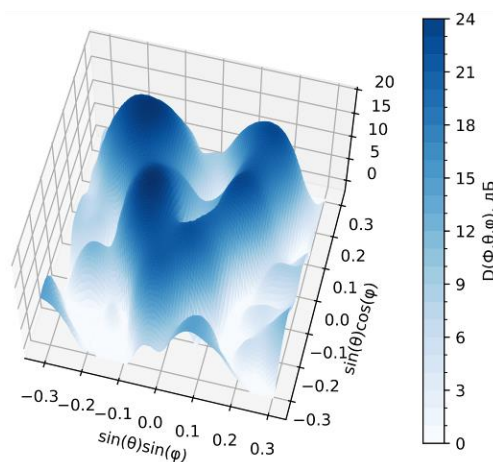


Рис. 19. ДН 3А, показанной на рис. 9, при  $\sigma_z = 0,163$

Полученные зависимости показывают, что показатель  $E$  снижается при уменьшении  $\sigma_z$ . Величина  $\sigma_z$  определяет требования к точности позиционирования элементов рефлектора ЗА. Завышенные требования к данному параметру также обуславливают дополнительную стоимость АС. На основе результатов

рис. 14, 15 параметр  $\sigma_z$  может быть выбран как компромисс между качеством формирования контурной ДН и сложностью и стоимостью АС.

### Выводы

1. Разработанный способ управления контурной ДН бортовой ЗА с одиночным облучателем является новым и заключается во взаимном геометрическом смещении элементов рефлектора, при котором формируется требуемое ФР на апертуре. Исполнительным устройством в составе АС ССС могут служить ШД, параметры которых более устойчивы к факторам космического пространства в сравнении с радиочастотными компонентами.

2. Результаты расчетов ДН, которые формируются независимыми (несвязанными) конфигурациями раскрывов ЗА, подтверждают эффективность предложенного способа. Его применение обеспечивает возможность управления контурной ДН бортовой ЗА с одиночным облучателем и профилированным рефлектором.

3. Для технической реализации разработанного способа, с учетом дополнительных ограничений на ЗА, необходимо, чтобы величина смещения элементов рефлектора составляла не менее  $\pm 0,27\lambda$ . Шаг расположения элементов рефлектора (размер) и СКО их положения относительно заданного могут быть определены как компромисс между качеством формирования контурной ДН и сложностью и стоимостью АС на основании полученных результатов объемного моделирования.

### Литература

1. Занин К. М. Алгоритм восстановления диаграммы направленности бортовой развертываемой антенной системы в условиях орбитального полета // Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли: тезисы докладов Двенадцатой международной научно-технической конференции. – М., 2024.

2. Узолин Е. Ю., Крюков И. Г. Синтез профиля поверхности рефлекторов однозеркальных контурных антенн с использованием полиномов Цернике // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 3. С. 92-95.

3. Безуглов Д. А., Забродин Р. А. Методика аппроксимации гибкого адаптивного зеркала ограниченным числом полиномов Цернике // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 9. С. 810-814.

4. Занин К. М., Габриэльян Д. Д., Кузнецов Ю. В., Мищенко С. Е. Профилирование рефлектора зеркальной антенны для формирования заданного контура главного лепестка диаграммы направленности // Известия ЮФУ. Технические науки. 2024. № 4 (240). С. 169-181. DOI 10.18522/2311-3103-2024-4-169-181.

5. Занин К. М. Алгоритм представления профилированного рефлектора зеркальной антенны в задачах электродинамического моделирования //

Известия ЮФУ. Технические науки. 2024. № 6 (242). С. 76-85. DOI 10.18522/2311-3103-2024-6-76-85.

6. Пушкарев О. «Первый шаг» шагового двигателя // Современная электроника. 2004. № 1. С. 46-47.

7. Вычужанин В. В. Устройство для управления шаговым двигателем на ПЛИС // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2006. № 3(63). С. 17-20.

8. Прасов М. Т., Субботин А. С. Управление шаговым двигателем привода дифракционной решетки // Датчики и системы. 2008. № 11 (114). С. 31-33.

9. Азябин С. В., Бумагин А. В., Гондарь А. В., Иванов Н. А., Мартынов Д. С., Стешенко В. Б., Шишкин О. Н. Разработка отечественного модуля управления исполнительным механизмом, стойкого к воздействию специальных факторов // Цифровая обработка сигналов. 2016. № 1. С. 57-60.

10. Занин К. М. Критерий эффективности применения антенн с контурными диаграммами направленности в составе бортовых комплексов систем спутниковой связи // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 2. С. 1-13. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-001-013.

## References

1. Zanin K. M. Algoritm vosstanovleniya diagrammy napravlenosti bortovoy razvertivayemoy antennoy sistemy v usloviyakh orbitalnogo poleta [The algorithm for restoring the radiation pattern of the deployable antenna system during orbital flight]. In *Aktual'nye problemy sozdaniya kosmicheskikh sistem dstantsionnogo zondirovaniya Zemli: tezisy dokladov 12 mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Current Issues in the Development of Space Systems for Earth Remote Sensing: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference] [Paper presentation]. Moscow. 2024 (in Russian).

2. Uzun E. Yu., Kryukov I. G. Sintez profilya poverkhnosti reflektorov odnozerkal'nykh konturnykh antenn s ispol'zovaniem polinomov Zernike [Synthesis of the surface profile of reflectors of single-mirror contour antennas using Zernike polynomials]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics], 2012, no. 3, pp. 92-95 (in Russian).

3. Bezuglov D. A., Zabrodin R. A. Metodika approssimatsii gibkogo adaptivnogo zerkala ograniченным chislom polinomov Zernike [Methodology for approximating a flexible adaptive mirror with a limited number of Zernike polynomials]. *Optics of the atmosphere and ocean*, 2006, vol. 19, no. 9, pp. 810-814 (in Russian).

4. Zanin K. M., Gabrielyan D. D., Kuznetsov Yu. V., Mishenko S. E. Shaping of contoured-beam antenna main lobe by profiling of reflector antenna. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2024, no. 4 (240), pp. 169-181 (in Russian). doi: 10.18522/2311-3103-2024-4-169-181.

5. Zanin K. M. An algorithm for forming a profiled reflector of a reflector antenna in problems of electrodynamic modeling. *Izvestiya SFedU. Engineering*

*Sciences*, 2024, no. 6 (242), pp. 76-85 (in Russian). doi: 10.18522/2311-3103-2024-6-76-85.

6. Pushkarev O. «Pervyy shag» shagovogo dvigatel'ya [The First Step of the Stepper Motor]. *Sovremennaya elektronika* [Modern Electronics], 2004, no. 1, pp. 46–47 (in Russian).

7. Vichuzhanin V. V. The device to management of the step-by-step engine on the programmed logic integrated circuit. *Technology and design in electronic equipment*, 2006, no. 3 (36), pp. 17-20 (in Russian).

8. Pravov M. T., Subbotin A. S. Step motor control for a diffraction grating drive. *Sensors and Systems*, 2008, no. 11, pp. 31-33 (in Russian).

9. Azyabin S. V., Bumagin A. V., Gondar A. V., Ivanov N. A., Martynov D. S., Steshenko V. B., Shishkin O. N. Development of domestic actuators control module resistant to the impact of special factors. *Digital Signal Processing*, 2016, issue 1, pp. 57-60 (in Russian).

10. Zanin K. M. The Criterion of the Efficiency of Use of Antennas with Contour Beams in Satellite Communication Systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2024, no. 2, pp. 1-13 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-001-013.

Статья поступила 25 ноября 2025 г.

### Информация об авторах

Габриэлян Дмитрий Давидович – доктор технических наук, профессор, заместитель начальника научно-технического комплекса. Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи. Область научных интересов: СВЧ-устройства и антенные системы, радиосвязь, радиолокация. E-mail: d.gabrielyan2011@yandex.ru

Занин Константин Михайлович – аспирант, руководитель группы. Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи. Область научных интересов: СВЧ-устройства и антенные системы, радиосвязь, радиолокация. E-mail: konstantinzanin@rambler.ru

Адрес: 344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Нансена, 130.

---

## Contoured Beam Control Method for an Onboard Reflector Antenna

D. D. Gabrielyan, K. M. Zanin

**Purpose.** In the development of satellite communication systems, it is necessary to ensure the required quality of service within a specified service area, which may have a complex boundary shape. To cover this area, onboard antenna systems forming a contoured radiation pattern are used. The requirements for the parameters of this radiation pattern may change during the system's operation, which can be due to refinements in the service area boundary shape or changes in the relative position of the spacecraft and the service area over time. Several methods exist for implementing a specified radiation pattern in antenna system design. Among them, a promising approach is the use of a reflector antenna with a single feed and a profiled metallic reflector, whose surface primarily determines the parameters of the main beam. However, a relevant challenge is enabling control over the radiation pattern parameters, which is a primary limitation.



**Novelty.** To overcome the mentioned limitation, a new method is proposed, which involves the relative geometric displacement of the reflector elements, thereby generating the required near field. **Results.** The results of radiation pattern calculations for independent (uncoupled) aperture configurations of the reflector antennas confirm the feasibility of the proposed method. Its application enables control of the contoured radiation pattern of the onboard reflector antenna with a single feed and a profiled reflector. **Practical relevance.** The actuating devices within the antenna system that implement the proposed method are mechanical components, whose parameters are more resilient to the factors of the space environment compared to radio components.

**Key words:** contour beam, reflector antenna, profiled reflector.

### Information about Authors

*Dmitry Davidovich Gabrielyan* – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor. Deputy Head of the Scientific and Technical complex. Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communication. Field of research: microwave devices and antenna systems, radio communications, radar systems. E-mail: d.gabrielijan2011@yandex.ru

*Konstantin Mikhailovich Zanin* – Postgraduate student. Head of the Group. Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communication. Field of research: microwave devices and antenna systems, radio communications, radar systems. E-mail: konstantinzanin@rambler.ru

Address: Russia, 344038, Rostov-on-Don, Nansena str, 130.