

УДК 621.396.677.833.2

К.И. Кисиленко, В.А. Малахов, В.А. Узлов, В.В. Щербаков

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АНТЕННЫ КАССЕГРЕНА НА 290 ГГц**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты моделирования и расчета параметров антенны Кассегрена предназначенной для системы беспроводной связи в терагерцовом диапазоне. Расчет геометрических размеров антенны выполнен методом геометрической оптики. Моделирование и расчет электрических параметров антенны проводился с помощью пакета программ численного моделирования. Приведены результаты расчета основных параметров антенны, моделирования технических неточностей при изготовлении и настройке антенны и их влияния на коэффициент усиления антенны.

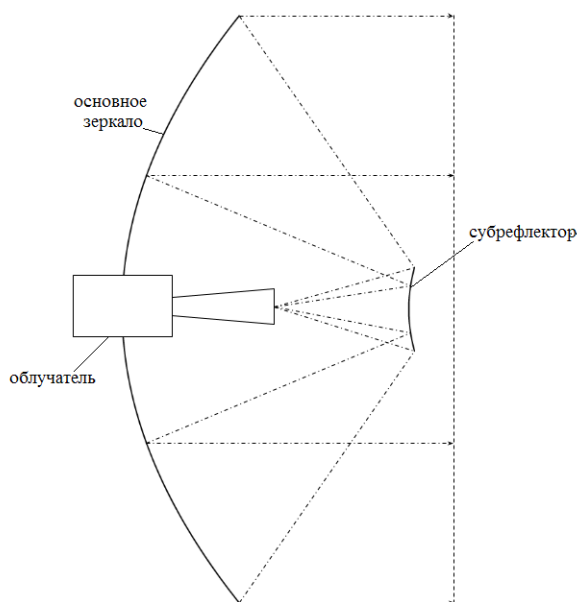
*Ключевые слова:* зеркальные антенны, рупорная антенна, антенна Кассегрена, терагерцовый диапазон, моделирование, САПР, CST Studio, HFSS.

**Введение**

Активное освоение терагерцового диапазона частот открывает возможность создания систем беспроводной связи с высокой скоростью передачи данных.

Особенностью терагерцовых волн, расположенных между инфракрасным и сверхвысокочастотным диапазонами, является относительно сильное затухание в атмосфере, основной вклад в поглощение излучения вносит вода и ее пары. Насчитывается около 900 линий поглощения воды, которые и обуславливают высокий уровень поглощения излучения в этом диапазоне. Но есть несколько частотных окон ниже 1 ТГц, на которых возможно построение систем беспроводной связи, хотя будет достаточно трудно использовать терагерцовые волны в качестве носителя данных на открытом воздухе из-за различных погодных условий.

Диапазон частот вблизи 300 ГГц относится к такому частотному окну прозрачности, для которого дальность связи составляет величину до нескольких километров. Как показывают расчеты, для беспроводной системы связи требуются антенны с узкой диаграммой направленности (ДН) и коэффициентом усиления (КУ) не менее 40 дБ [1].

**Рис. 1. Схема антенны Кассегрена**

С такими параметрами наиболее подходит антенна Кассегрена (рис. 1), которая состоит из рупорного облучателя, вспомогательного зеркала - субрефлектора в виде гиперboloида вращения, и основного зеркала в виде параболоида вращения. Преимуществом антенны является небольшой размер, простота изготовления [1].

### Пакеты программ численного моделирования

Антенна Кассегрена моделировалась в пакете программ CST Microwave Studio [3], которая предназначена для численного моделирования высокочастотных устройств (антенн, фильтров, ответвителей мощности, планарных и многослойных структур).

Расчет электрических параметров антенны Кассегрена в программе электромагнитного моделирования – очень ресурсоемкая задача, поэтому для экономии вычислительных ресурсов и времени используют методы геометрической и физической оптики, реализуемые в данном пакете программ.

Расчеты проводились в несколько этапов. На первом этапе моделировался рупорный облучатель, являющийся источником первичного электромагнитного излучения. Расчет облучателя проводился в пакете программ ANSYS HFSS [2].

На втором этапе, используя результаты вычислений облучателя, определялись токи на поверхности субрефлектора, через которые находится излучение, отраженное от субрефлектора.

На третьем этапе вычислялись токи на поверхности основного рефлектора, через которые определялось поле антенны Кассегрена в дальней зоне.

Данная поэтапность позволяет существенно сократить время расчета.

### Расчет рупорного облучателя Пикетта-Поттера

В виду того, что рабочая полоса частот системы связи невелика и составляет менее 3,5 %, в качестве облучателя для антенной системы был выбран круглый рупор Пикетта-Поттера (рис. 2), который является конструктивно более упрощенным и узкополосным вариантом рупора Поттера [4]. Рупор состоит из входного круглого волновода, работающего в одноволновом режиме, волноводного перехода на больший диаметр и собственно рупора.

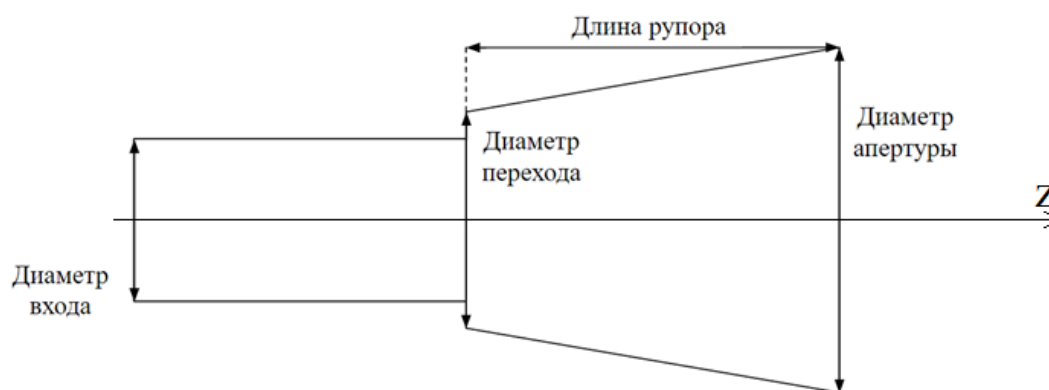


Рис. 2. Рупор Пикетта-Поттера

Благодаря волноводному переходу кроме волны основного типа  $TE_{11}$  в рупоре возбуждается волна высшего типа  $TM_{11}$ . Суммарное действие этих волн обеспечивает высокий коэффициент использования апертуры рупора и низкий уровень кросс-поляризации, одинаковую ширину главного лепестка во всех плоскостях, совпадение фазового центра в  $E$ - и  $H$ -плоскостях, уровень боковых лепестков -25 дБ.

Рупор Пикетта-Поттера имеет гладкие стенки и достаточно прост в изготовлении. Его широко используют в многолучевых антеннах телекоммуникационных систем [4].

Расчет рупора Пикетта-Поттера проводился в частотной области с использованием программы HFSS. Моделирование дало следующие размеры рупора: диаметр входа  $1.016 \lambda$ ,

диаметр перехода  $1.3 \lambda$ , диаметр апертуры  $6.4 \lambda$ , длина рупора  $10.62 \lambda$  (рис. 2), где  $\lambda = 1,0345$  длина волны соответствует частоте 290 ГГц.

Расчет электрических параметров приведен на рис. 3, рис. 4, где представлена ДН коэффициента усиления для  $E$ - и  $H$ -плоскостей для основной и кросс-поляризации соответственно. Как видно из рисунков ширина ДН в обеих плоскостях примерно одинаковая и составляет по уровню половинной мощности  $14,5^\circ$ , коэффициент усиления составляет 21,2 дБ, уровень боковых лепестков -27 дБ, уровень кросс-поляризации не превышает -12,5 дБ.

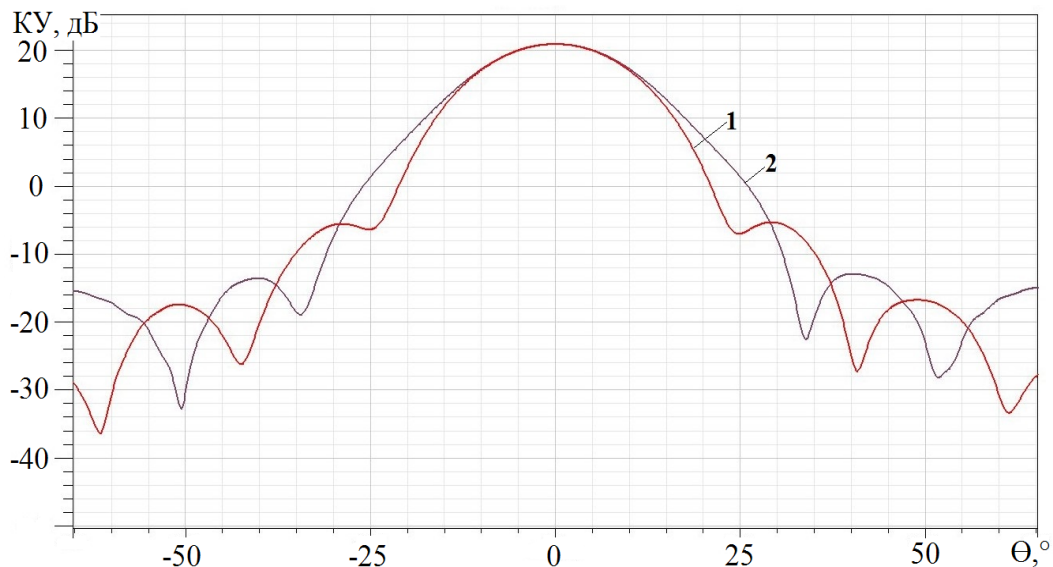


Рис. 3. Коэффициент усиления основной поляризации:  
1 –  $E$ -; 2 –  $H$ -плоскости

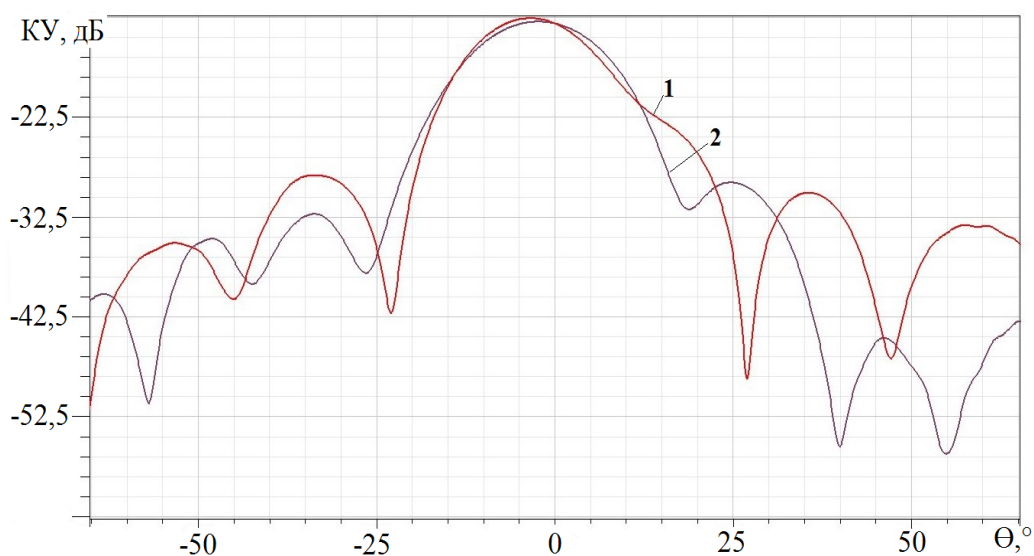


Рис. 4. Коэффициент усиления кросс-поляризации:  
1 –  $E$ -; 2 –  $H$ -плоскости

На рис. 5 приведена зависимость параметра  $S_{11}$  от частоты в диапазоне 285 – 295 ГГц. Как видно из рисунка, рупор очень хорошо согласован с волноводным трактом при излучении в свободное пространство

Полученные результаты расчетов основных параметров и характеристик рупора Пиккетта-Поттера дает возможность использования его в составе антенны Кассегрена.

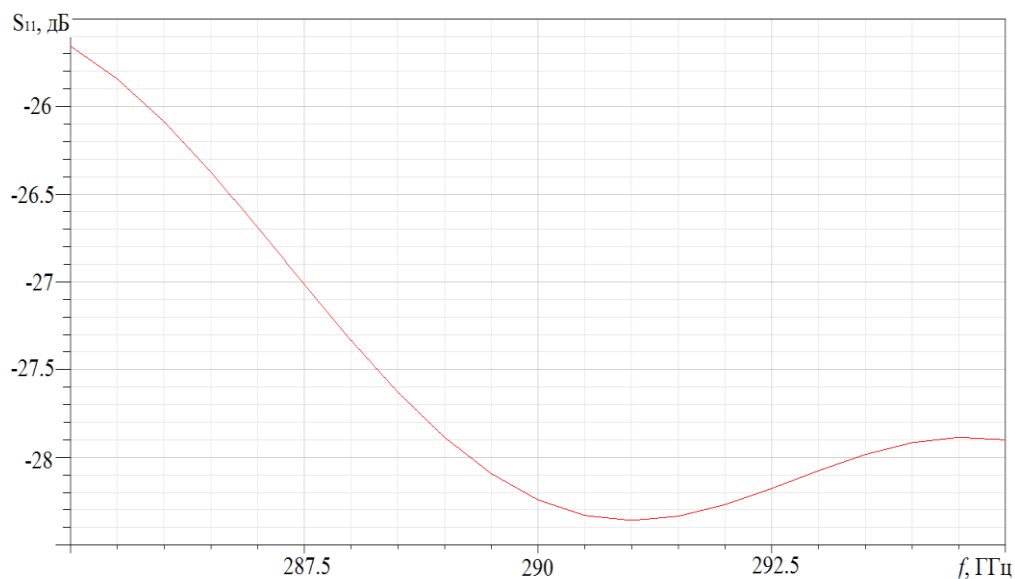


Рис. 5. Частотная зависимость параметра  $S_{11}$  рупора

### Расчет антенны Кассегрена

Для расчета геометрических параметров антенны используем метод геометрической оптики [5]. Основные геометрические размеры антенны приведены на рис. 6.

Для обеспечения высокого КУ антенны диаметр основного зеркала выбираем равным  $D_m = 140\lambda$ . Исходя из рассчитанной на предыдущем этапе ДН рупорного облучателя диаметр вспомогательного выбираем  $D_s = 20\lambda$ , а расстояние от основного зеркала до точки фокуса  $f_m = 58\lambda$ .

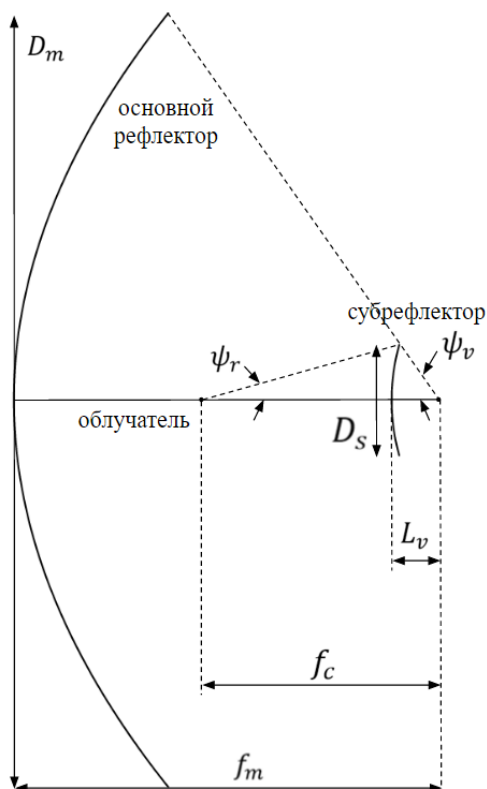


Рис. 6. Основные геометрические параметры антенны Кассегрена

Остальные геометрические параметры антенны находим из соотношений [6, 7]

$$\begin{cases} \tan(\psi_v/2) = D_m/(4f_m); \\ \tan(\psi_v/2)/\tan(\psi_r/2) = 2f_c/D_s; \\ 1 - \frac{\sin((\psi_v - \psi_r)/2)}{\sin((\psi_v + \psi_r)/2)} = 2L_v/f_c. \end{cases} \quad (1)$$

Расчет электрических параметров и характеристик антенны Кассегрена проводим с использованием программы CST Microwave Studio с применением метода интегральных уравнений (Integral Equation Solver), который позволяет выполнять расчет крупных (в длинах волн) структур.

Для получения требуемого КУ проводим параметрическую оптимизацию антенны. На рис. 7 и рис. 8 приведены результаты расчета ДН коэффициента усиления оптимизированной антенны Кассегрена.

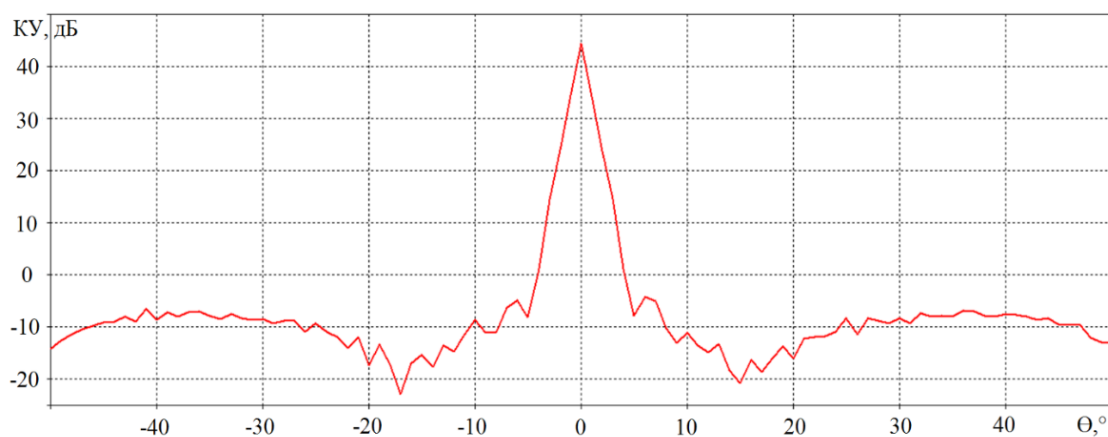


Рис. 7. Коэффициент усиления (Е-плоскость)

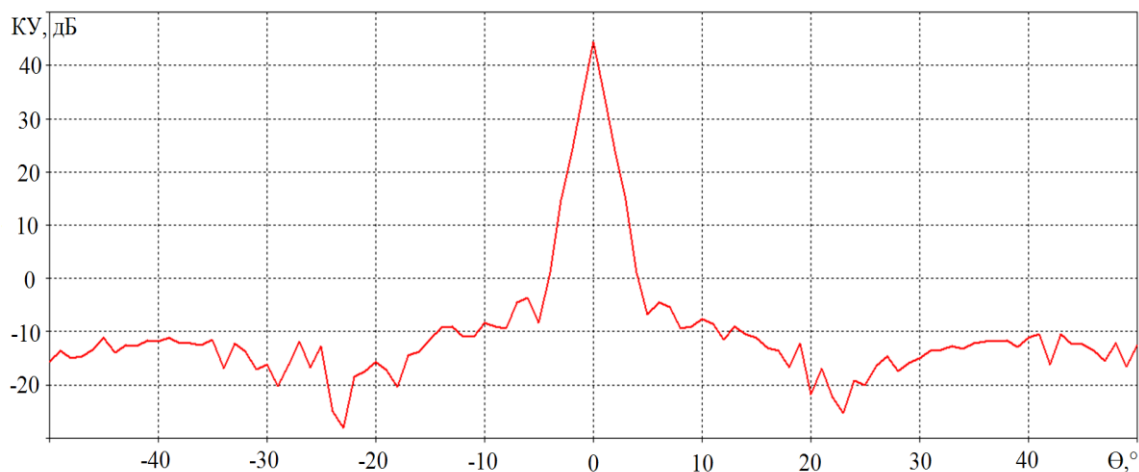


Рис. 8. Коэффициент усиления (Н-плоскость)

Как видно из рисунков, коэффициент усиления антенны составляет 44,5 дБ при ширине главного лепестка ДН 0,6 градуса, уровень боковых лепестков -50 дБ. Параметр  $S_{11}$  составляет примерно -9 дБ. Такое значение можно объяснить конструкцией двух зеркальных осесимметричных антенн.

На рис. 9 приведены результаты расчета коэффициента усиления антенны в полосе частот 285-295 ГГц.

Из рисунка видно, что в данной полосе частота КУ антенны слабо меняется и остается практически постоянным.

Разработанный алгоритм расчета параметров антенны позволяет моделировать технические неточности при изготовлении и настройки антенны. На рис. 10 показана зависимость коэффициента усиления от смещения рупора фазового центра в фокальной плоскости.

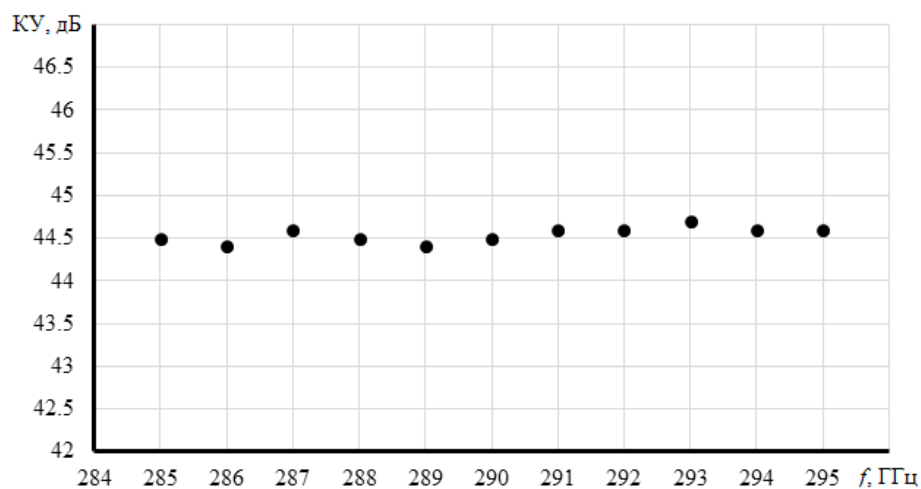


Рис. 9. Зависимость КУ от частоты

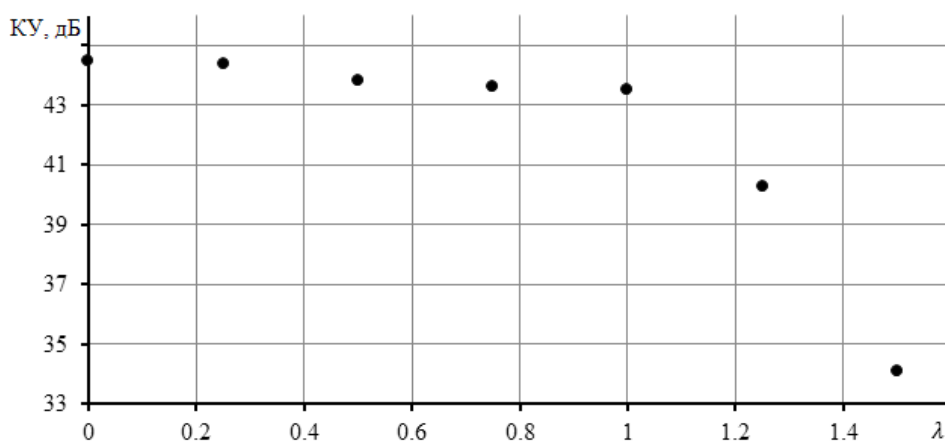


Рис. 10. Зависимость КУ от смещения рупора фазового центра в фокальной плоскости

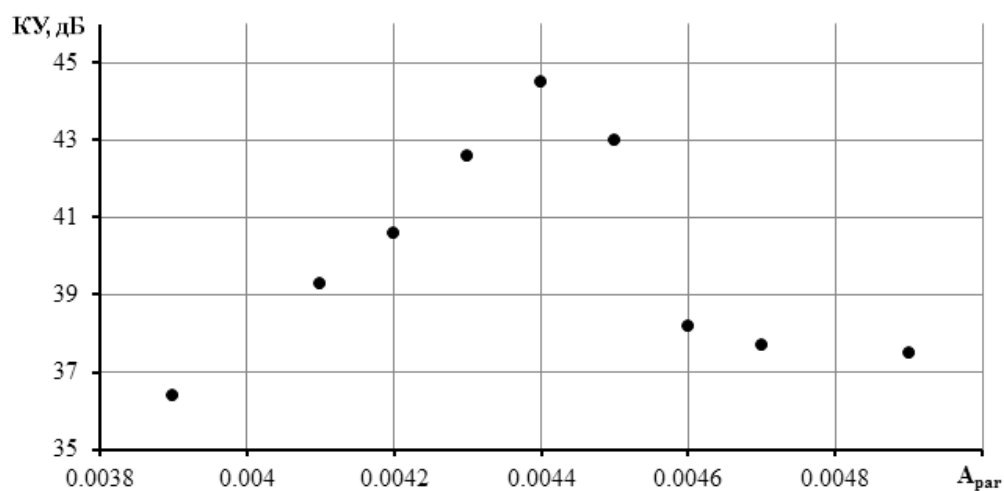


Рис. 11. Зависимость КУ от фокального параметра

При смещении фазового центра рупора на расстояние больше, чем  $1,2 \lambda$  КУ антенны становится меньше 40 дБ, и в этом случае антенна не пригодна для использования ее в системе связи в терагерцовом диапазоне частот.

На рис. 11 приведена зависимость коэффициента усиления от фокального параметра основного зеркала

$$A_{par} = \frac{1}{4f_m}. \quad (2)$$

Из рисунка видно, что коэффициент усиления антенной системы чувствителен к фокальному параметру основного зеркала, поэтому должна быть высокая точность при изготовлении зеркал. При изменении фокального параметра на 0,0002, КУ становится меньше 40 дБ.

### Выводы

В данной работе приведены результаты расчета модели антенны Кассегрена при использовании ее в беспроводной системе связи терагерцового диапазона частот. Для расчета антенны использованы программные пакеты HFSS и CST Microwave Studio, позволяющие быстро и эффективно проводить расчеты основных параметров и характеристик антенны Кассегрена и моделировать технические неточности при изготовлении и настройке антенны.

### Библиографический список

5. X. Xu, X. Zhang, Z. Zhou. Terahertz Cassegrain Reflector Antenna // in Antennas & Propagation (IS-AP), 2013 Proceedings of the International Symposium. – 2013. P. 969–971.
6. ANSOFT HFSS. <http://cae-expert.ru>
7. CST – Computer Simulation Technology. <https://www.cst.com>
8. **Bram, Lap.** Design of a Pickett-Potter Horn to measure the CMB at 11 GHz / Bram Lap. – Kapteyn Astronomical Institute & SRON, Netherlands Institute for Space Research, 2015. – 71 p.
9. **Peter W. Hannan.** Microwave Antennas Derived from the Cassegrain Telescope // IRE Transactions on Antennas and Propagation. – 1961. – P. 140–153,
10. **Сазонов, Д.М.** Антенны и устройства СВЧ: учеб. пособие для вузов / Д.М. Сазонов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
11. **Кочержевский, Г.Н.** Антенно-фидерные устройства: учебник для вузов / Г.Н. Кочержевский. – М.: Радио и связь, 1981. – 280 с.

*Дата поступления  
в редакцию 15.10.2016*

**K.I. Kisilenko, V.A. Malakhov, V.A. Uzlov, V.V. Sherbakov**

### MODELING AND MEASUREMENT CASSEGRAIN ANTENNA AT 290 GHZ

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev

**Purpose:** Create and measurement Cassegrain antenna in terahertz range.

**Design/methodology/approach:** Configuration Cassegrain antenna: two reflectors, one hyperbolic subreflector and parabolic main reflector combined with feeding horn (Pickett-Potter horn). The geometrical and electrical performance of the Cassegrain reflector system are calculated and analyzed through folded optics approach and numerical package simulations.

**Originality/value:** The results of modeling show high directivity 44,5 dB, side love -50 dB and beam width  $0,6^\circ$  from far field radiation pattern.

*Key words:* reflector antenna, horn antenna, Cassegrain antenna, terahertz range, modeling and simulation, CAD, CST Studio, HFSS.