

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА РАДИОНАБЛЮДЕНИЯ

© 2024

- М. А. Иванушкин** ассистент кафедры космического машиностроения;
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва;
ivanushkin.ma@ssau.ru
- О. Д. Жалдыбина** инженер кафедры космического машиностроения;
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва;
zhaldybina.od@ssau.ru
- С. Л. Сафронов** кандидат технических наук, доцент кафедры космического
машиностроения;
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва;
safronov@ssau.ru
- М. Д. Коровин** ассистент кафедры космического машиностроения;
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва;
korovin.md@ssau.ru

В настоящее время всё большее распространение получают малые космические аппараты как с оптико-электронной, так и с радиолокационной съёмочной аппаратурой. Целью работы является повышение эффективности предварительной оценки достижимых характеристик целевой аппаратуры на начальных этапах проектирования малых космических аппаратов с радиолокационной аппаратурой. В работе описываются достоинства использования радиолокационной съёмочной аппаратуры, а также основные тенденции её развития. Приводятся основные области применения космических аппаратов с радиолокатором различных частотных диапазонов и описываются достоинства каждого частотного диапазона. Рассматривается методика определения параметров траекторного сигнала при движении космического аппарата по круговой орбите с учётом допущений, связанных с оценкой размера зоны облучения по азимуту. На основании рассмотренной методики разработана программа, которая позволяет на основании массогабаритных характеристик антенны и параметров орбиты космического аппарата оценить требуемые размеры синтезированной апертуры, время синтеза и азимутальное разрешение целевой аппаратуры. Для программы разработан графический пользовательский интерфейс, позволяющий в интерактивном режиме варьировать исходные данные для расчёта и оценивать графическое представление результата. Разработанная программа может применяться для расчёта основных проектных параметров малых космических аппаратов с радиолокационной съёмочной аппаратурой на этапе предварительного проектирования.

Малый космический аппарат; дистанционное зондирование Земли; радар с синтезированной апертурой; маршрутный режим съёмки; детальный режим съёмки; разрешающая способность

Цитирование: Иванушкин М.А., Жалдыбина О.Д., Сафронов С.Л., Коровин М.Д. Расчёт параметров целевой аппаратуры космического аппарата радионаблюдения // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2024. Т. 23, № 3. С. 18-30. DOI: 10.18287/2541-7533-2024-23-3-18-30

Введение

Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представляют собой эффективное средство для оперативного и достоверного получения информации о состоянии окружающей среды на глобальном и региональном уровнях, независимо от погодных условий и времени суток [1].

Развитие технологий дистанционного зондирования Земли и освоение околоземного пространства привело к созданию систем космического мониторинга земной поверхности, которые обеспечивают слежение за состоянием окружающей среды, например, за земной или водной поверхностями [2]. Основные задачи, решаемые космическими аппаратами (КА) ДЗЗ, – это картографирование, слежение за глобальными экологическими процессами, мониторинг чрезвычайных ситуаций, поиск полезных ископаемых и т.д.

Мониторинг земной поверхности с помощью радиолокационных КА различных частотных диапазонов позволяет обеспечивать высокое пространственное разрешение независимо от времени суток и погодных условий, оценку растительных покровов и биоресурсов, проникновение в подповерхностные слои (например, вода, снег, лёд, растительность), отслеживание движущихся объектов на поверхности Земли и совместную обработку группы изображений, полученных в одно время с разных КА [3].

На сегодняшний день главным направлением развития радиолокационных средств ДЗЗ [3] является проектирование радиолокационной аппаратуры с использованием активных фазированных антенных решёток (АФАР), так как они позволяют обеспечить достаточно высокую надёжность передающего и принимаемого сигналов, обладают большим энергетическим потенциалом, а также имеют разнообразные режимы работы. Переход на более эффективные технологии создания интегральных полупроводниковых элементов позволяет использовать радары с синтезированной апертурой (РСА) на малых космических аппаратах (МКА) массой менее полутора тонн. Системы радиолокационного наблюдения трансформируются в бистатические комплексы благодаря созданию группировок МКА. Каждое новое поколение РСА отличается улучшенным показателем радиометрической чувствительности, следовательно возрастают требования к тактико-техническим характеристикам МКА с РСА и к качеству радиолокационных данных.

В настоящей работе предложена программа, реализующая методику определения параметров траекторного сигнала при движении КА по круговой орбите [2], который позволяет определять проектные характеристики МКА ДЗЗ с РСА на начальных этапах проектирования.

Основные принципы зондирования радаром с синтезированной апертурой

Радар с синтезированной апертурой – это радиолокационная система, в которой движение КА используется для электронного моделирования большой апертуры [4]. Подход в создании синтезированной апертуры заключается в следующем: данные, получаемые с радиолокатора, сохраняются параллельно с данными о местоположении КА в течение определённого временного интервала, затем фиксируется расстояние, на которое смещается КА в течение заданного интервала времени, после этого полученные данные обрабатываются параллельно. При обработке учитываются доплеровские сдвиги частоты, они будут различными для разных положений радиолокатора и точки съёма во время зондирования. Благодаря синтезированной апертуре достигается более высокое пространственное разрешение.

Радиолокационная аппаратура ДЗЗ делится на два вида: с планарной антенной решёткой [5] (рис. 1, а) и параболической антенной решёткой [6], которая, в свою очередь, может быть эллиптической параболической, круглой параболической и в виде параболического цилиндра, как показано на рис. 1, б.

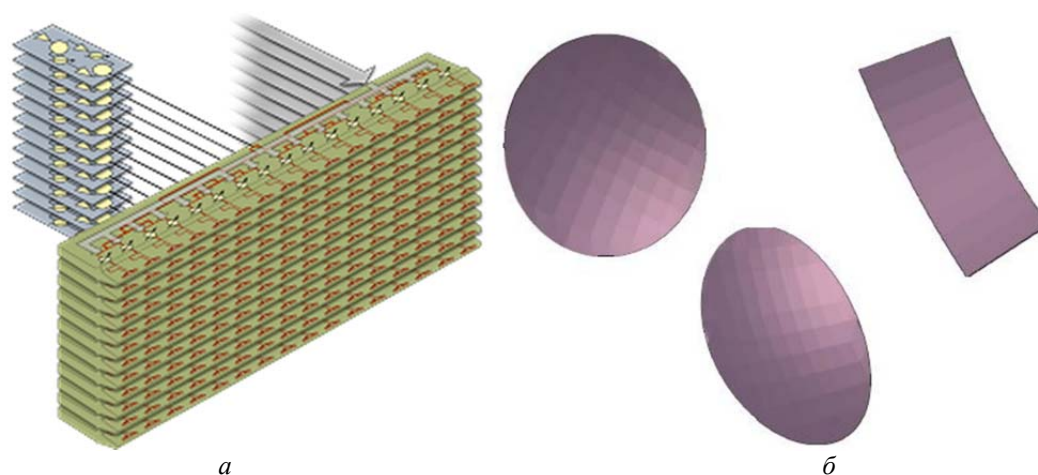


Рис. 1. Форма поверхности радиолокационной антенны:
планарная антенная решётка (а) и параболическая антенная решётка (б)

В состав радиолокационной съёмочной аппаратуры входят следующие базовые элементы [7]:

- передающее устройство;
- приёмное устройство;
- антенное устройство;
- оконечное устройство;
- синхронизатор.

Структурная схема радиолокационной съёмочной аппаратуры показана на рис. 2.

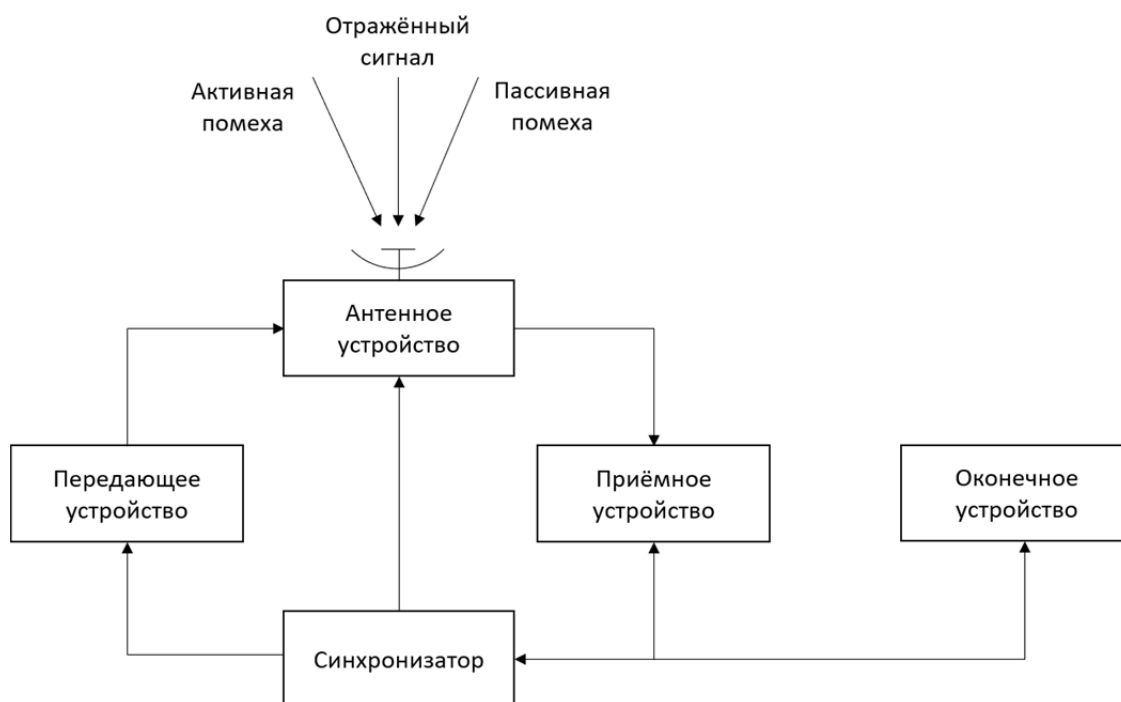


Рис. 2. Структурная схема радиолокационной съёмочной аппаратуры

Длина волны датчика РСА тесно связана с проникающей способностью передаваемого микроволнового сигнала, так что сигналы с большей длиной волны (например, сигналы L- и P-диапазонов) проникают глубже в растительные покровы и почву. Таким образом, области применения, поддерживаемые датчиком РСА, зависят от используемого диапазона частот РСА.

В табл. 1 приведены основные области применения РСА в зависимости от частотного диапазона. Из таблицы видно, что датчики в X-диапазоне преимущественно используются для мониторинга городов и инфраструктуры. Благодаря более высокой разрешающей способности радаров X-диапазона датчики на этой частоте находят широкое применение для наблюдения и слежения, а также часто используются для мониторинга льдов. Данные, получаемые с помощью С-диапазона, можно рассматривать как хороший компромисс между X-диапазоном и более длинноволновым L-диапазоном. Датчики С-диапазона чаще применяются в глобальных масштабах, например, для картографирования. S-диапазон чаще всего применяется в радиолокации для мониторинга чрезвычайных ситуаций, мониторинга сельскохозяйственных культур и мониторинга состояния лесов в умеренных и тропических широтах. РСА L-диапазона полезны для картографирования и хорошо подходят для определения структуры растительного покрова, особенно в густых лесах. В настоящее время также разрабатываются датчики Р-диапазона, но применение КА на этой частоте пока что затруднено из-за ионосферных искажений [8]. Частотные диапазоны работ КА с РСА подробно рассмотрены в табл. 1 [8].

Таблица 1. Частотные диапазоны работ космических аппаратов с радаром с синтезированной апертурой

Диапазон	Частота, ГГц	Длина волны, см	Применение
Ка	27...40	1,1...0,8	Используется для наблюдения за аэропортами (редко используется на КА с РСА)
К	18...27	1,7...1,1	Наблюдение за абсорбцией H ₂ O (редко используется на КА с РСА)
Ку	12...18	2,4...1,7	Спутниковая альтиметрия (редко используется на КА с РСА)
X	8...12	3,8...2,4	Мониторинг льда и снега, мониторинг городов, незначительное проникновение в подповерхностные растительные покровы (часто используется на КА с РСА)
С	4...8	7,5...3,8	Мониторинг районов с низкой и умеренной растительностью, мониторинг океанических льдов, морская навигация, глобальное картографирование, обнаружение изменений в состоянии окружающей среды, умеренное проникновение в подповерхностные слои (часто используется на КА с РСА)
S	2...4	15...7,5	Мониторинг районов с умеренной и густой растительностью, мониторинг сельского хозяйства, мониторинг чрезвычайных ситуаций
L	1...2	30...15	Картографирование биомассы, геофизический мониторинг, поиск полезных ископаемых, высокая степень проникновения в подповерхностные слои (РСА среднего разрешения, часто используется на КА)
P	0,3...1	100...30	Мониторинг растительных покровов, картографирование, изучение биомассы (экспериментальный РСА)

Расчёт параметров траекторного сигнала при движении космического аппарата по круговой орбите

Для определения основных проектных характеристик космического РСА можно воспользоваться стандартными формулами для случая прямолинейного равномерного движения. Реализовать это для круговой орбиты можно, если учитывать, что сектор зоны, снимаемой радиолокационной аппаратурой, не будет превышать четверти окружности.

На рис. 3 представлена схема для определения основных параметров КА с РСА при движении по круговой орбите [2], где $OXYZ$ – система координат, адаптированная к геометрии радиолокационного обзора, O – центр системы координат, OO_2S_1 и OO_2S_2 – крайние положения плоскости вращения вокруг оси OY , α_s – максимальный угол поворота плоскости, при котором цель T_1 ещё облучается антенной РСА, θ_{scan} – сектор сканирования антенны в градусах, D_{xant} и D_{yant} и – горизонтальный и вертикальный размер антенны в метрах, соответственно.

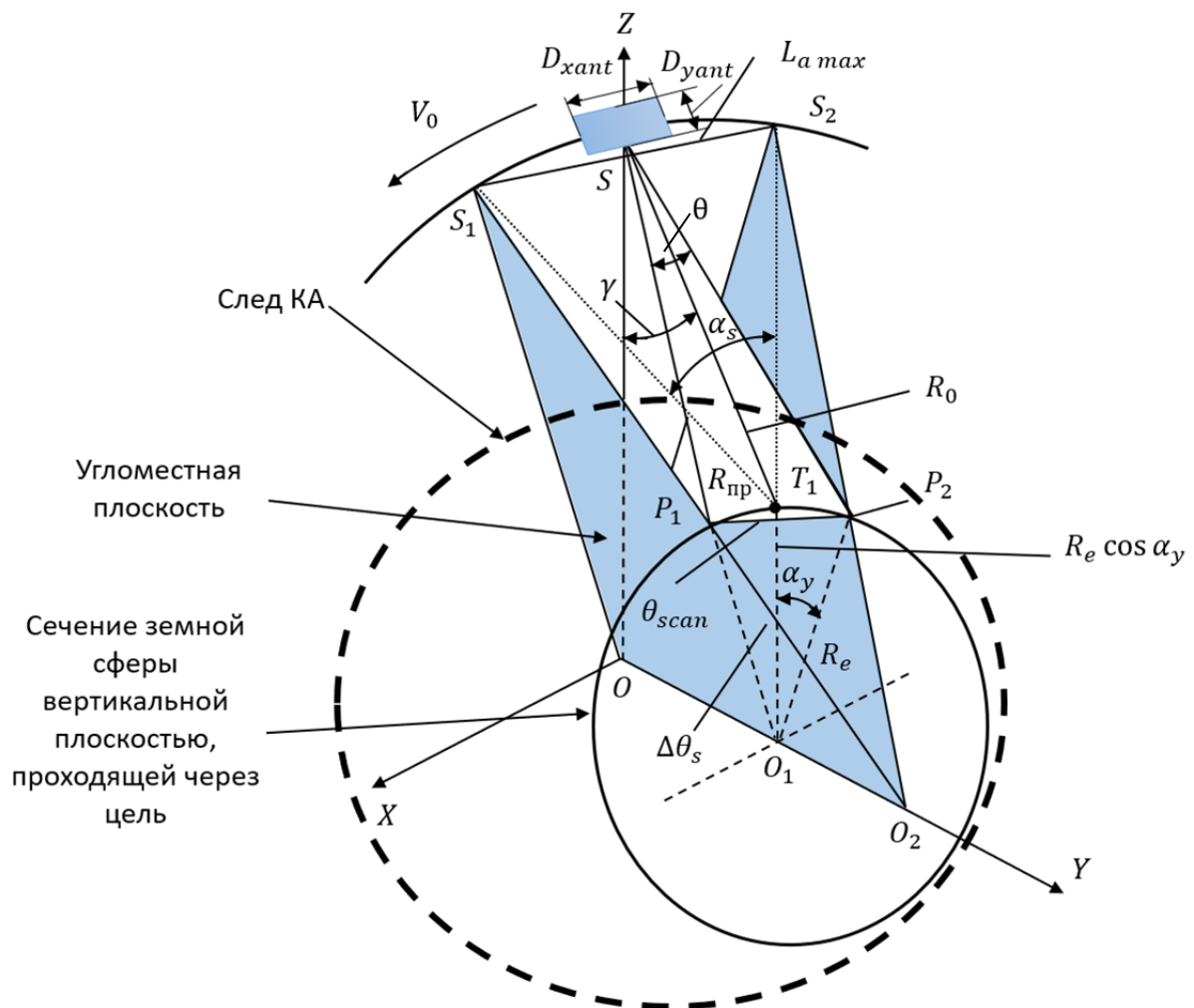


Рис. 3. Схема для определения основных параметров космического аппарата с радаром с синтезированной апертурой при движении по круговой орбите

При расчёте разрешающей способности РСА и длины апертуры синтеза допустима погрешность до 5%, что позволяет пренебречь высотой дуги P_1P_2 и принять высоты треугольников равными

$$\begin{aligned} h_{P_1P_2S} &\approx R_0, \\ h_{P_1P_2O_1} &\approx R_e \cos \alpha_y, \end{aligned}$$

где R_0 – наклонная дальность наблюдения, м; R_e – радиус рабочей орбиты, м; α_y – центральный угол цели на поверхности Земли, град.

Из рис. 3 определим угловое положение КА на краю области облучения цели T_1 :

$$\Delta\theta_s \approx \arctg \frac{R_0 \lambda}{R_e \cos \alpha_y D_{xant}},$$

где λ – длина волны РСА, м.

Чтобы значения, рассчитанные для модели прямолинейного равномерного движения, не были больше, чем значения криволинейного орбитального движения, необходимо ввести масштабный коэффициент учёта кривизны орбиты M_{le} [2], который будет определяться по формуле:

$$M_{le} = \frac{R_e}{R_3 \cos \alpha_y} = \frac{R_3 + H_{КА}}{R_3 \cos \alpha_y},$$

где $R_3 = 6,371 \cdot 10^6$ – радиус Земли, м; $H_{КА}$ – высота орбиты МКА, м.

Орбитальная скорость КА для круговой орбиты определяется по формуле:

$$V_0 = \sqrt{\frac{\mu}{R_3 + H_{КА}}},$$

где $\mu = 3,968 \cdot 10^{14}$ – гравитационная постоянная Земли, $\text{м}^3 \text{с}^{-1}$.

Наклонная дальность наблюдения рассчитывается по формуле:

$$R_0 = \sqrt{H_{КА}^2 + R_{пр}^2},$$

где $R_{пр}$ – проекционная дальность полосы захвата, м.

Определим ширину диаграммы направленности антенны по азимуту:

$$\alpha_{xant} = \frac{\lambda}{D_{xant}}.$$

Формула для определения зоны облучения по азимуту имеет вид:

$$X_{ant} = \frac{R_0 \lambda M_{le}}{D_{xant}}.$$

Ширина спектра принимаемого сигнала рассчитывается по формуле:

$$\Delta F_{Dop} = \frac{2V_0}{D_{xant}}.$$

Длина синтезированной апертуры определяется как:

$$L_a = \frac{M_{le} R_0 \lambda}{D_{xant}}.$$

Формула для определения времени синтеза имеет вид:

$$T_{synt} = \frac{M_{le} R_0 \lambda}{D_{xant} V_0}.$$

Разрешение по азимуту определяется как:

$$\rho_x = \frac{D_{xant}}{2M_{le}}.$$

Угол падения луча антенны на поверхности Земли находится из соотношения

$$\gamma = \arccos \left[\left(1 + \frac{H_{КА}}{R_3} \right) \sin \theta \right],$$

где θ – угол визирования, град.

Рассчитаем коэффициент усиления антенны:

$$G = \frac{k_x \pi D_{xant} D_{yant}}{\lambda^2},$$

где k_x – коэффициент использования поверхности антенны.

Ширина полосы захвата будет определяться как:

$$L_z = H_{КА} \left(\operatorname{tg} \left(\theta + \frac{\theta_a}{2} \right) - \operatorname{tg} \left(\theta - \frac{\theta_a}{2} \right) \right),$$

где θ_a – ширина луча в угломестной плоскости, град.

Размер кадра по дальности рассчитывается по формуле:

$$L_{кадра} = 2 \frac{H_{КА}}{\cos \theta} \operatorname{tg} \left(\frac{\lambda}{2D_{xant}} \right).$$

Рассчитаем площадь активной фазированной антенной решётки по формуле [9]:

$$A_{\min} = \frac{4\lambda R_0 V_0 \operatorname{tg}(\theta)}{c},$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света.

При выводе приведённых выше формул было сделано допущение, что размер зоны облучения по азимуту рассчитывался относительно касательной к траектории полёта. Однако при значениях угловой зоны синтеза менее $4,1^\circ$ этими погрешностями можно пренебречь [3], так как КА, находящийся на низкой околоземной орбите с выбранной шириной полосы захвата, обозревает небольшой участок земной поверхности. Несмотря на то, что формулы носят приближенный характер, они подходят для практических расчётов РСА, расположенных на КА.

Программная реализация определения параметров РСА для маршрутного и детального режимов съёмки

Реализация модели движения КА по низкой околоземной орбите была выполнена в среде программирования Python. В табл. 2 приведены исходные данные, которые использовались для определения основных проектных параметров РСА для маршрутного и детального режимов съёмки, взятые из источников [3; 10].

Таблица 2. Исходные данные для примера расчёта КА с РСА

Название параметра	Обозначение	Значение
Средний эквивалентный радиус Земли, м	R_3	$6,371 \cdot 10^6$
Гравитационный параметр Земли, $\text{м}^3/\text{с}^2$	μ	$3,968 \cdot 10^{14}$
Скорость света, м/с	c	$3 \cdot 10^8$
Длина волны РСА, м	λ	0,032
Средняя высота орбиты, м	$H_{\text{КА}}$	$5 \cdot 10^5$
Проекционная дальность полосы захвата, м	$R_{\text{пр}}$	$5 \cdot 10^5$
Угол визирования, град	θ	45
Центральный угол точки съёмки, град	α_y	10
Сектор сканирования антенны, град	θ_{scan}	15
Горизонтальный размер антенны, м	D_{xant}	1,0
Вертикальный размер антенны, м	D_{yant}	0,4

Разработанный графический интерфейс изображён на рис. 4. В левой части панели интерфейса располагается блок для ввода исходных данных. В центральной части – блок выходных данных для маршрутного и детального режимов съёмки. В правой части представлена графическая часть. Предусмотрена возможность вывода результатов расчёта в виде .csv файла.

Графический интерфейс разработанной программы позволяет варьировать исходные данные для определения параметров целевой аппаратуры и в реальном времени получать и анализировать результаты вычислений для маршрутного и детального режимов съёмки.

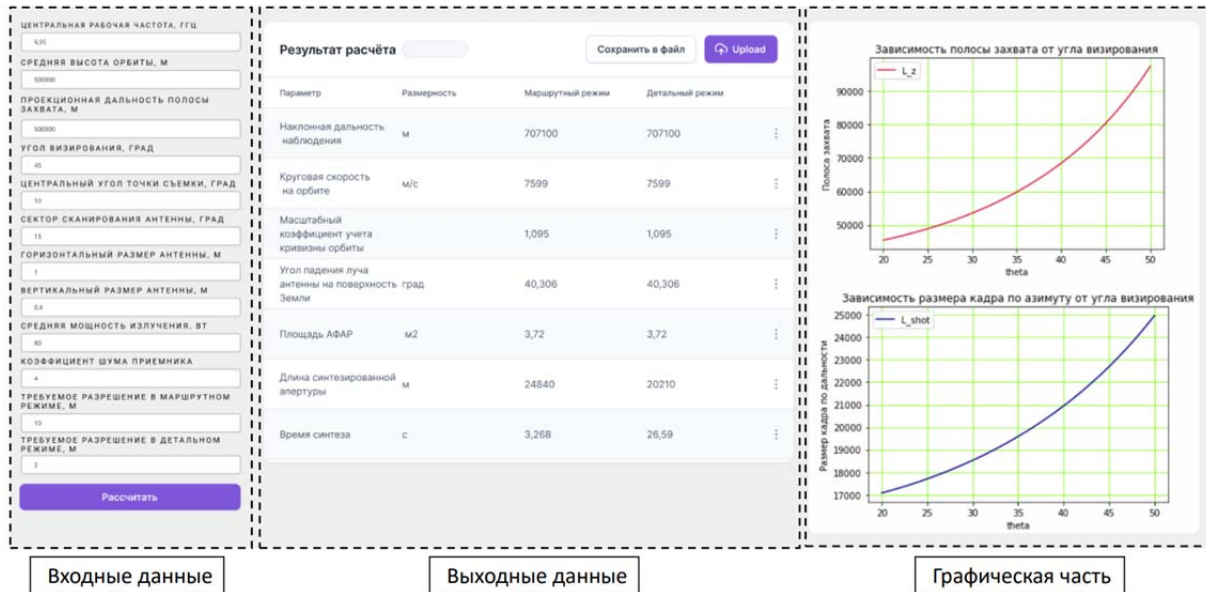


Рис. 4. Основное окно ввода исходных данных, выходных данных и графических результатов

Полоса захвата в маршрутном режиме рассчитывается как размер «пятна» на Земле (рис. 5, а), где θ – угол визирования; θ_a – ширина луча в угломестной плоскости; L_z – полоса захвата при маршрутном режиме съёмки. График зависимости полосы захвата от угла визирования показан на рис. 5, б.

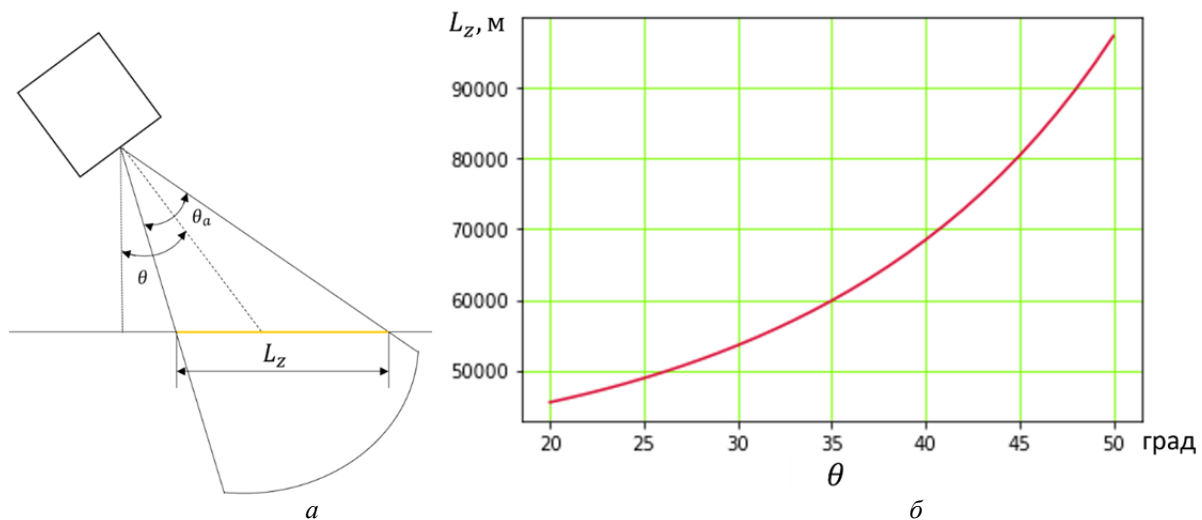


Рис. 5. Полоса захвата в маршрутном режиме съёмки (а) и график зависимости полосы захвата от угла визирования (б)

Для дальности 86,4 км угол визирования равен 47° , а для дальности 46,1 км составляет 21° . Таким образом, ширина полосы захвата будет зависеть от дальности и будет изменяться в диапазоне от 46 км до 87 км.

Для детального режима съёмки размер кадра по дальности определяется с помощью наклонной дальности R_0 и ширины диаграммы направленности антенны по даль-

ности $\alpha_{y_{ant}}$. На рис. 6, а изображена схема для определения размера кадра по дальности в детальном режиме съёмки, где $L_{кадра}$ – размер кадра по дальности. График зависимости размера кадра по азимуту от угла визирования изображён на рис. 6, б.

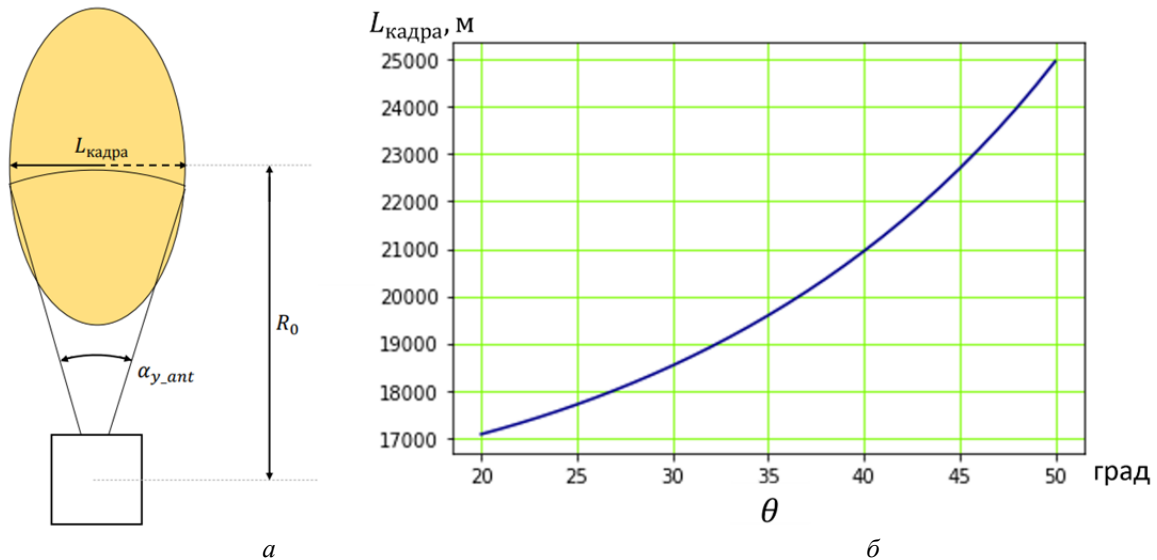


Рис. 6. Размер кадра по дальности в детальном режиме (а) и зависимость размера кадра по азимуту от угла визирования (б)

Для минимальной дальности 17,2 км при угле визирования 21° и максимальной дальности 23,5 км при угле визирования 47° размер кадра по пути для детального режима съёмки будет изменяться в диапазоне от 17 км до 24 км.

В табл. 3 приведены рассчитанные параметры для радиолокационной съёмочной аппаратуры для маршрутного и детального режимов съёмки.

Таблица 3. Рассчитанные значения для маршрутного и детального режимов съёмки

Название параметра	Обозначения	Маршрутный режим	Детальный режим
Наклонная дальность наблюдения, м	R_0	$7,071 \cdot 10^5$	
Круговая скорость на орбите, м/с	V_0	$7,599 \cdot 10^3$	
Масштабный коэффициент учёта кривизны орбиты	M_{le}	1,095	
Угол падения луча антенны на поверхность Земли, град	γ	40,306	
Площадь АФАР, м ²	A	3,72	
Длина синтезированной апертуры, м	L_a	$2,484 \cdot 10^4$	$2,021 \cdot 10^4$
Время синтеза, с	T_{synt}	3,268	26,59
Зона облучения на Земле, м	X_{ant}	$2,484 \cdot 10^4$	
Ширина спектра принимаемого сигнала, Гц	ΔF_{Dop}	$1,52 \cdot 10^4$	
Азимутальное разрешение, м	ρ_x	0,457	0,056
Коэффициент усиления антенны	G	$4,883 \cdot 10^3$	

В табл. 4 приведены реальные характеристики для маршрутного режима съёмки космического комплекса с РСА «Обзор-Р» [11] и значения, рассчитанные с помощью разработанной программы.

Таблица 4. Действительные и рассчитанные по предлагаемой программе значения параметров для маршрутного режима съёмки КА «Обзор-Р»

Название параметра	Обозначения	Реальные значения	Значения, полученные для маршрутного режима
Наклонная дальность наблюдения, м	R_0	–	$9,579 \cdot 10^5$
Круговая скорость на орбите, м/с	V_0	$7,525 \cdot 10^3$	$7,515 \cdot 10^3$
Масштабный коэффициент учёта кривизны орбиты	M_{le}	–	1,142
Угол падения луча антенны на поверхность Земли, град	γ	от 15 до 55	38,767
Площадь АФАР, м ²	A	6,4	6,31
Длина синтезированной апертуры, км	L_a	до 4000	21,36
Время синтеза, с	T_{synt}	–	2,842
Зона облучения на Земле, км	X_{ant}	до 4000	21,36
Ширина спектра принимаемого сигнала, МГц	ΔF_{Dop}	от 2 до 600	9,394
Азимутальное разрешение, м	ρ_x	2	1,752
Коэффициент усиления антенны	G	$8,369 \cdot 10^4$	$8,235 \cdot 10^4$

Исходя из рассчитанных значений для космического комплекса «Обзор-Р», можно сделать вывод, что расхождение полученных значений с реальными составляет в среднем 1...2%. Таким образом, площадь АФАР оказалась на 1,4% меньше реальной, а коэффициент усиления антенны меньше на 1,6%. Полученный результат носит приближенный характер, однако обладает достаточной точностью для предварительной оценки характеристик целевой аппаратуры КА ДЗЗ с РСА.

Заключение

На языке программирования Python разработана программа, использующая методику приближённого определения параметров траекторного сигнала при движении космического аппарата по круговой орбите с учётом допущений, связанных с оценкой размера зоны облучения по азимуту, для расчёта основных проектных параметров радиолокационной съёмочной аппаратуры. Программа позволяет оценить на основе массогабаритных характеристик антенны и параметров орбиты космического аппарата такие параметры целевой аппаратуры, как длина синтезированной апертуры, время синтеза и азимутальное разрешение для маршрутного и детального режимов съёмки. Программа позволяет экспортировать вычисленные значения в формате .csv. Результаты, полученные с использованием разработанной программы, могут быть использованы при определении проектных параметров космического аппарата с радиолокационной съёмочной аппаратурой на начальных этапах проектирования.

Описанные в настоящей статье научно-исследовательские результаты получены в рамках выполнения Госзадания FSSS-2023-007.

Библиографический список

1. Misbah A.M., Farrukh R., Furqan A., Usman T.M. Analysis and design of a synthetic aperture radar system. <https://orbilu.uni.lu/bitstream/10993/19544/1/sar.pdf>
2. Вербя В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. М.: Радиотехника, 2010. 675 с.
3. Груздов В.В., Колковский Ю.В., Криштопов А.В., Кудря А.И. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: Техносфера, 2019. 482 с.
4. Moreira A., Prats-Iraola P., Younis M., Krieger G., Hajnsek I., Papathanassiou K.P. A tutorial on synthetic aperture radar // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. 2013. V. 1, Iss. 1. P. 6-43. DOI: 10.1109/MGRS.2013.2248301
5. Krieger G., Gebert N., Younis M., Bordoni F., Patyuchenko A., Moreira A. Advanced concepts for ultra-wide-swath SAR imaging // Proceedings of the 7th European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR (June, 02-05, 2008, Friedrichshafen, Germany). 2008.
6. Younis M., Huber S., Patyuchenko A., Bordoni F., Krieger G. Performance comparison of reflector- and planar-antenna based digital beam-forming SAR // International Journal of Antennas and Propagation. 2009. DOI: 10.1155/2009/614931
7. Состав и структурная схема РЛС. https://studopedia.ru/14_128829_sostav-i-strukturnaya-shema-rls.html
8. Meyer A. Spaceborne synthetic aperture radar: Principles, data access, and basic processing techniques // The SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation. 2109. P. 21-43. DOI: 10.25966/ez4f-mg98
9. Douidar I., Safy M., Saleh A. Frequency analysis of SAR system design for small satellite // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. V. 1172. DOI: 10.1088/1757-899X/1172/1/012013
10. Радиотехнические системы / под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Академия, 2008. 590 с.
11. Руководство пользователя данными дистанционного зондирования Земли, получаемыми от космического комплекса «Обзор-Р» // <https://www.roskosmos.ru/media/files/2023/July/rukovodstvo.pol.zovatela.dzz.ot.kk.obzor-r.dla.saita.pdf>

ESTIMATING THE DESIGN PARAMETERS OF A SPACE-BASED RADIO SURVEILLANCE SYSTEM

© 2024

- M. A. Ivanushkin** Assistant Lecturer, Department of Space Engineering;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
ivanushkin.ma@ssau.ru
- O. D. Zhaldybina** Engineer, Department of Space Engineering;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
olya-zhaldybina@mail.ru
- S. L. Safronov** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor,
Department of Space Engineering;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
safonov@ssau.ru
- M. D. Korovin** Assistant Lecturer, Department of Space Engineering;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
korovin.md@ssau.ru

Currently, small spacecraft with both optoelectronic and radar imaging equipment are becoming increasingly common. The purpose of the work is to improve the efficiency of preliminary assessment of achievable characteristics of radio surveillance payloads at the initial stages of design of small

spacecraft. The paper describes the advantages of using radar imaging equipment, as well as the main trends in its development. The main areas of application of spacecraft with radar of different frequency ranges are given; the advantages of each frequency range are described. The methodology of determining the parameters of the trajectory signal when the platform moves in a circular orbit, taking into account the assumptions associated with estimating the size of the irradiation zone in azimuth is considered. Based on the considered methodology, a program is developed in Python programming language that makes it possible to estimate the length of synthesized aperture, synthesis time and azimuthal resolution of the target equipment on the basis of mass and dimensional characteristics of the antenna and spacecraft orbit parameters. A graphical user interface has been developed for the program which allows the user to interactively vary the initial data for calculation and evaluate the graphical representation of the result. The developed software system can be used for calculation of the main design parameters of small spacecraft with radar imaging equipment at the preliminary design stage.

Small spacecraft; remote sensing of the Earth; synthetic aperture radar; route shooting mode; detailed shooting mode; resolving power

Citation: Ivanushkin M.A., Zhaldybina O.D., Safronov S.L., Korovin M.D. Estimating the design parameters of a space-based radio surveillance system. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2024. V. 23, no. 3. P. 18-30. DOI: 10.18287/2541-7533-2024-23-3-18-30

References

1. Misbah A.M., Farrukh R., Furqan A., Usman T.M. Analysis and design of a synthetic aperture radar system. Available at: <https://orbilu.uni.lu/bitstream/10993/19544/1/sar.pdf>
2. Verba V.S., Neronskiy L.B., Osipov I.G., Turuk V.E. *Radiolokatsionnye sistemy zemleobzora kosmicheskogo bazirovaniya* [Space-based ground surveillance radar systems]. Moscow: Radiotekhnika Publ., 2010. 675 p.
3. Gruzdov V.V., Kolkovskiy Yu.V., Krishtopov A.V., Kudrya A.I. *Novye tekhnologii distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [New technologies for remote sensing of the Earth from space]. Moscow: Tekhnosfera Publ., 2019. 482 p.
4. Moreira A., Prats-Iraola P., Younis M., Krieger G., Hajnsek I., Papathanassiou K.P. A tutorial on synthetic aperture radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 2013. V. 1, Iss. 1. P. 6-43. DOI: 10.1109/MGRS.2013.2248301
5. Krieger G., Gebert N., Younis M., Bordoni F., Patyuchenko A., Moreira A. Advanced concepts for ultra-wide-swath SAR imaging. *Proceedings of the 7th European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR (June, 02-05, 2008, Friedrichshafen, Germany)*. 2008.
6. Younis M., Huber S., Patyuchenko A., Bordoni F., Krieger G. Performance comparison of reflector- and planar-antenna based digital beam-forming SAR. *International Journal of Antennas and Propagation*. 2009. DOI: 10.1155/2009/614931
7. *Sostav i strukturnaya skhema RLS* [Composition and structural diagram of the radar system]. Available at: https://studopedia.ru/14_128829_sostav-i-strukturnaya-shema-rls.html
8. Meyer A. Spaceborne synthetic aperture radar: Principles, data access, and basic processing techniques. *The SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*. 2109. P. 21-43. DOI: 10.25966/ez4f-mg98
9. Doudar I., Safy M., Saleh A. Frequency analysis of SAR system design for small satellite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. V. 1172. DOI: 10.1088/1757-899X/1172/1/012013
10. *Radiotekhnicheskie sistemy* [Radio systems / ed. by Yu.M. Kazarinov]. Moscow: Akademiya Publ., 2008. 590 p.
11. *Rukovodstvo pol'zovatelya dannymi distantsionnogo zondirovaniya Zemli, poluchaemyi ot kosmicheskogo kompleksa «Obzor-R»* [User Manual for Earth remote sensing data received from the «Obzor-R» space complex]. Available at: <https://www.roscosmos.ru/media/files/2023/July/rukovodstvo.pol.zovatela.dzz.ot.kk.obzor-r.dla.saita.pdf>