

# **Оценка эффективности алгоритмов синтезирования апертуры сканирующего радиометра**

**В.И Горный<sup>1</sup>, М.И. Кислицкий<sup>2</sup>, И.Ш. Латыпов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН  
197110, Санкт-Петербург, ул. Корпусная, 18*

*E-mail: v.i.gornyy@ecosafety-spb.ru*

<sup>2</sup>*ФГУА «Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе»  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО  
195 009, Санкт-Петербург, ул. Комсомола, д. 1-3*

К дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ) из Космоса сканирующими радиометрами (сканерами) предъявляются все более жесткие требования по детальности и повторяемости съемок. Высокая детальность достигается применением дорогостоящих длиннофокусных объективов с большой апертурой, но при этом уменьшается угол обзора. Поэтому необходимая повторяемость наблюдений обеспечивается увеличением числа спутников или прицельными съемками, что приводит к удорожанию спутниковых систем ДЗЗ. Таким образом, имеет место противоречивое требование повышения детальности при сохранении широкой полосы обзора. Проблема повышения разрешения для спутниковых систем ДЗЗ особенно остра для инфракрасного-теплового и СВЧ диапазонов электромагнитных волн (ЭМВ).

Подобная же проблема имела место при создании авиационных радиолокационных станций бокового обзора, когда получение высокого геометрического разрешения потребовало применения антенн, линейные размеры которых превосходили размеры самолетов. Выход был найден в создании радиолокационных станций с синтезированной апертурой.

Проблема повышения разрешающей способности оптико-электронных систем ДЗЗ упирается в некорректность задачи деконволюции зарегистрированного с повышенной частотой считывания регистрируемого сигнала при известной аппаратной функции прибора.

С целью оценки устойчивости решения при нарушении геометрии сканирования из-за эволюций носителя исследована эффективность алгоритмов синтезирования апертуры: – деконволюции на основе решения систем неравенств; – Ван Циттерта; – Голда. Путем численного моделирования показано, что алгоритмы Ван Циттерта и Голда практически не зависят от нарушения геометрии сканирования, но в отличии от алгоритма деконволюции на основе решения системы неравенств, не позволяют достичь максимально-возможного повышения разрешающей способности.

## **Введение**

Проблема повышения углового разрешения для спутниковых систем ДЗЗ особенно остра для инфракрасного-теплового и СВЧ диапазонов электромагнитных волн (ЭМВ). Это следует из известного критерия Релея [1]:

$$\sin \Delta\varphi = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

где:  $\Delta\varphi$  – угловое разрешение оптической системы;  $\lambda$  – длина волны;  $D$  – диаметр (апертура) объектива;

Подобная же проблема при создании радиолокационных станций бокового обзора с высоким геометрическим разрешением была решена путем синтезирования апертуры [2].

Синтезирование апертуры сканирующих радиометров могло бы позволить преодолеть указанные выше трудности, но препятствием является некогерентный характер регистрируемого излучения. Это не позволяет для сканеров использовать алгоритмы, разрабо-

танные для радиолокационных станций с синтезированной апертурой (РЛ СА) [2]. Поэтому для синтезирования апертуры сканера необходим иной подход.

Одним из таких подходов является улучшение геометрического разрешения сканирующего радиометра за счет повышения частоты считывания информации и синтезирования апертуры оптической системы [3, 4]. Первые исследования в этом направлении показали его перспективность. Вместе с тем, остается неясной возможность практической реализации этого подхода для создания спутникового сканирующего радиометра с синтезированной апертурой. Прежде всего, не очевидно, что современные системы стабилизации космических аппаратов (КА) могут обеспечить необходимое соблюдение геометрии сканирования. Кроме того, большое количество информации, регистрируемое сканирующим радиометром с синтезированной апертурой (СР СА) требует оценки возможности ее регистрации на борту КА и /или сброса ее на Землю.

Соответственно, цель настоящего исследования: – разработка требований к КА, предназначенному для установки СР СА инфракрасного – теплового диапазона ЭМВ, обеспечивающего геометрическое разрешение на местности  $\sim 90$  м и периодичность съемки 2 раза в сутки.

## 1. Синтезирование апертуры сканирующего радиометра

Обычно сканирование земной поверхности выполняется без перекрытия мгновенных полей зрения. При этом геометрическое разрешение на местности  $\delta X$  и  $\delta Y$  равно диаметру мгновенного поля зрения –  $d$  (рис.1 А.). Если же, как и в РЛ СА, сканирование выполнять с переналожением мгновенных полей зрения (рис.1 Б), т.е. при  $\delta X$  и  $\delta Y < d$ , то результат, напоминает изображение, полученное не сфокусированным объективом (см. ниже рис. 5 В).

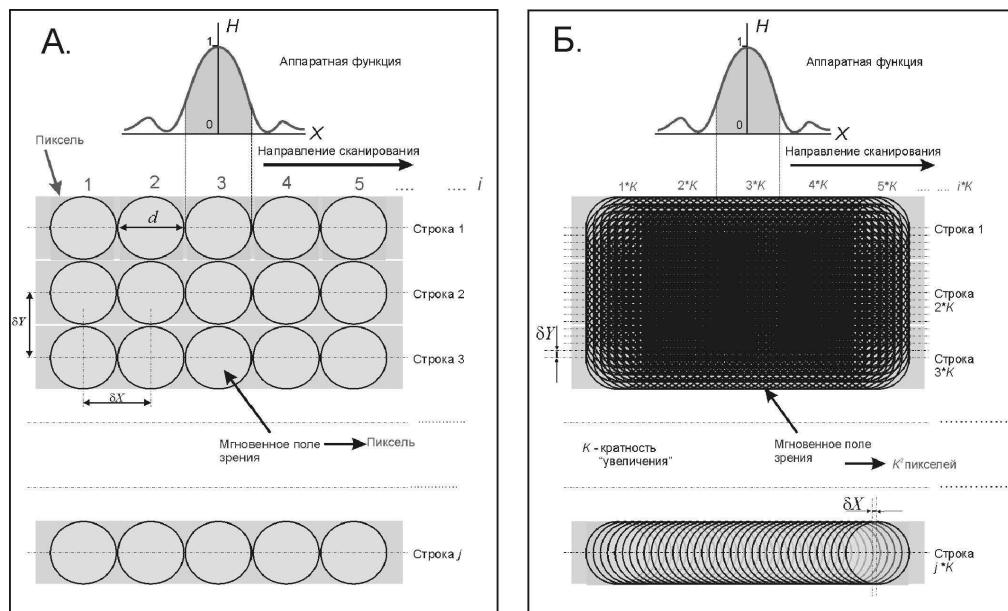


Рис. 1 А. Стандартная схема построения изображения местности при оптико-механическом сканировании. Б. Схема построения изображения местности при оптико-механическом сканировании с  $k$ -кратным переналожением ( $k=7$ ) мгновенных полей зрения

В этом случае, регистрируемый сигнал  $g_{i,j}$  (где  $i$  – номер пикселя по строке,  $j$  – номер строки полученного сканером изображения) выражается как сумма свертки яркости исследуемой поверхности  $f_{i,j}$  с аппаратной функцией  $H_{i,j}$  и погрешности  $\Delta_{i,j}$  [4]:

$$g_{i,j} = \left( \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-n}^n f_{i+k,j+l} H_{k,l} \right) + \Delta_{i,j} \quad (2)$$

где:  $m, n$  – полуширина аппаратной функции в пикселях вдоль и поперек направления полета носителя;

$\Delta_{i,j}$  – суммарная погрешность измерения, дискретизации и ошибки определения аппаратной функции для  $i, j$  пикселя.

Из-за погрешностей регистрации сигнала и плохой обусловленности матрицы системы (2) задача определения значений  $f_{i,j}$  по измеренным значениям  $g_{i,j}$  является некорректной по Тихонову [5]. Существуют методы решения этой задачи (см. далее).

$$\left| g_{i,j} - \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-n}^n f_{i+k,j+l} H_{k,l} \right| < \varepsilon; \quad \varepsilon > \Delta; \quad (3)$$

При решении системы неравенств (3) размер пикселей на местности в результирующем изображении будет составлять  $\delta X/K$  и  $\delta Y/K$ , где  $K$  – кратность повышения разрешающей способности («увеличения») съемочной системы.

Теоретические положения были проверены лабораторным экспериментом [4]. В результате была доказана возможность повышения геометрического разрешения оптической системы за счет применения принципа синтезирования апертуры. При этом, разрешающая способность съемочной системы была повышена без уменьшения угла зрения объектива, что позволяет преодолеть противоречие между детальностью и повторяемостью космических съемок.

## 2. Требования к КА-носителю СР СА

Космическая инфракрасная-тепловая съемка выполняется сканирующими радиометрами, использующими оптико-механический принцип сканирования. К таким съемочным системам относятся: – AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), спутники NOAA; – MODIS, спутники Terra/Aqua; TM и ETM+, спутники Landsat 5 и 7; – ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) (табл. 1).

Таблица 1. Технические характеристики основных спутниковых съемочных систем ИК-теплового диапазона спектра ЭМВ

Сканер/спутник	Высота орбиты, км	Ширина полосы съемки/ угол обзора, км/град	Геометрическое разрешение на местности/ мгновенный угол зрения, м/мкрад	Скорость сканирования
AVHRR/ NOAA	833	2,700/110,8	1090/1300	
MODIS/Terra-Aqua	705	2330/110	1000/1300	20.3 рад/мин
TM /Landsat 5	705	185/	120/170	
ETM+ /Landsat 7	705	183/	60/85	7 об/с
ASTER/Terra	705	60/8,55	90/127.8	

Хорошо видно (см. табл.1), что у существующих сканеров инфракрасного-теплового диапазона ЭМВ с повышением геометрического разрешения снижается ширина полосы съемки, а, следовательно, и повторяемость съемки.

Для выбора космической платформы по характеристикам ее стабилизации были даны основные характеристики сканирующего радиометра с синтезированной апертурой (СР СА) (табл.2):

Таблица 2. Технические характеристики СР СА ИК-теплового диапазона спектра ЭМВ, предназначенного для малого или микро КА

<i>Характеристика</i>	<i>Единица измерения</i>	<i>Значение</i>
Высота орбиты	<i>км</i>	700
<b>Результатирующее геометрическое разрешение на местности</b>	<i>м</i>	<b>90</b>
Диаметр мгновенного поля зрения/мгновенный угол зрения	<i>м/мкрад</i>	630/900
<b>Ширина полосы обзора</b>	<i>км</i>	<b>2700</b>
Повторяемость съемки каждой точки Земли	<i>раз/сутки</i>	2

Необходимо заметить (см. табл.2), что разрешающая способность СР СА соответствует таковой у ASTER, а ширина полосы съемки эквивалентна AVHRR, т.е. СР СА должен обладать экстремально противоречивыми характеристиками.

### 3. Оценка требований к стабилизации СР СА при установке на КА

#### 3.1 Методика численного эксперимента

Оценка требований к стабилизации СР СА при его установке на борту КА выполнена с помощью численного эксперимента. Схема численного эксперимента приведена на рис.5.

При этом, использовалась черно-белая мири (256 градаций серого), записанная в формате TIFF, размером 448 x 452 пикселя (рис. 3). В качестве второй миры использовалось цифровое ночное тепловое изображение Санкт-Петербурга, полученное спутником Terra(ASTER) того же размера 448 x 452 пикселя. Геометрическое разрешение на местности этого теплового изображения 90 м (рис. 5А).

На первом этапе численного эксперимента получали свертку изображения мир с аппаратной функцией прибора, которая была принята в виде функции Гаусса:

$$H(x_{iK}, y_{jK}) = \exp(-n^2/K); \quad (4)$$

где:  $K=7$  – кратность;  $n$  – номер пикселя по отношению к центральному в МПЗ (от -3 до +3).

После чего выполнялась деконволюция полученного изображения с той же аппаратной функцией.

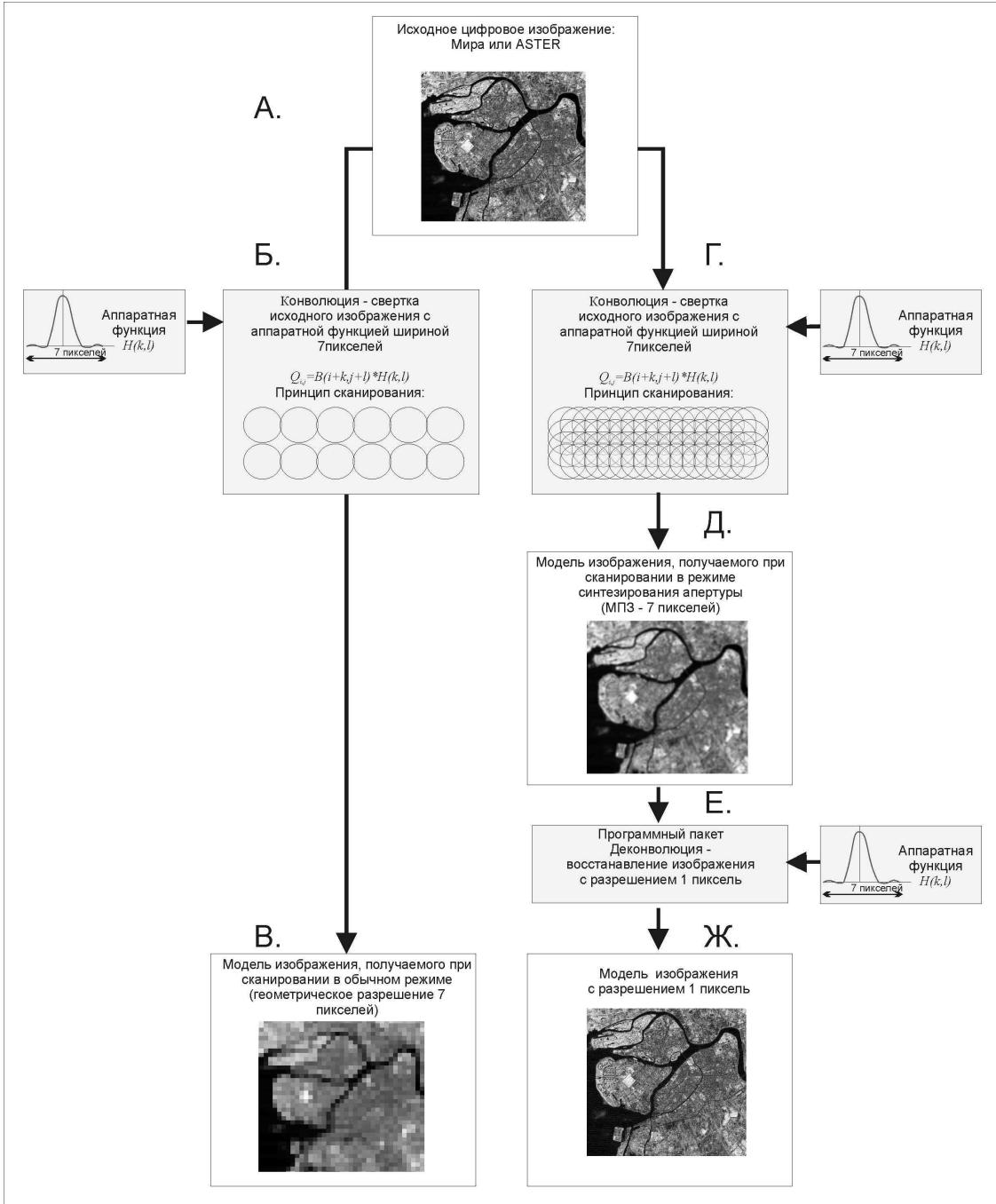


Рис. 2. Схема численного эксперимента

### 3.2. Алгоритмы деконволюции

Метод последовательного проектирования с составным шагом (МПП)

МПП [6, 7] предназначен для приближенного решения системы уравнений  $X * H = F$  путем замены его системой неравенств  $|X * H - F| < \varepsilon$  (см. (3)) Тогда для каждой точки матрицы  $F$  можно выписать двойное неравенство:

$$f(i,j) - \varepsilon < \sum x(k,l)h(i+k, j+l) < f(i,j) + \varepsilon ; \quad (5)$$

Вычислительная схема МПП выглядит следующим образом:

$$x_{n+1}(k, l) = x_n(k, l) + \delta d \tilde{h}(i+k, j+l); \quad (6)$$

где  $\tilde{h}$  – коэффициенты матрицы  $H$ , нормированной таким образом, что  $\sum h(i, j) = 1$ ,  $\tilde{f}(i, j)$  – элементы нормированной матрицы  $F$ ,  $d = \sum x(k, l) \tilde{h}(i+k, j+l) - \tilde{f}(i, j)$ , а

$$\delta = \begin{cases} 1, & \text{if } -d \geq \varepsilon \\ 0, & \text{if } -d < \varepsilon \end{cases}. \quad (7)$$

МПП замечателен тем, что не требует дополнительных затрат на память, прост в реализации и имеет четкий критерий останова – достижение заданной точности. Еще более существенно то, что сходимость метода не предъявляет никаких требований к матрице  $H$ . Если правильно выбрать значение  $\varepsilon$  – оценку погрешности, то сходимость будет достигнута за конечное число шагов. Результат деконволюции с применением МПП приведен на рис.3 Б.

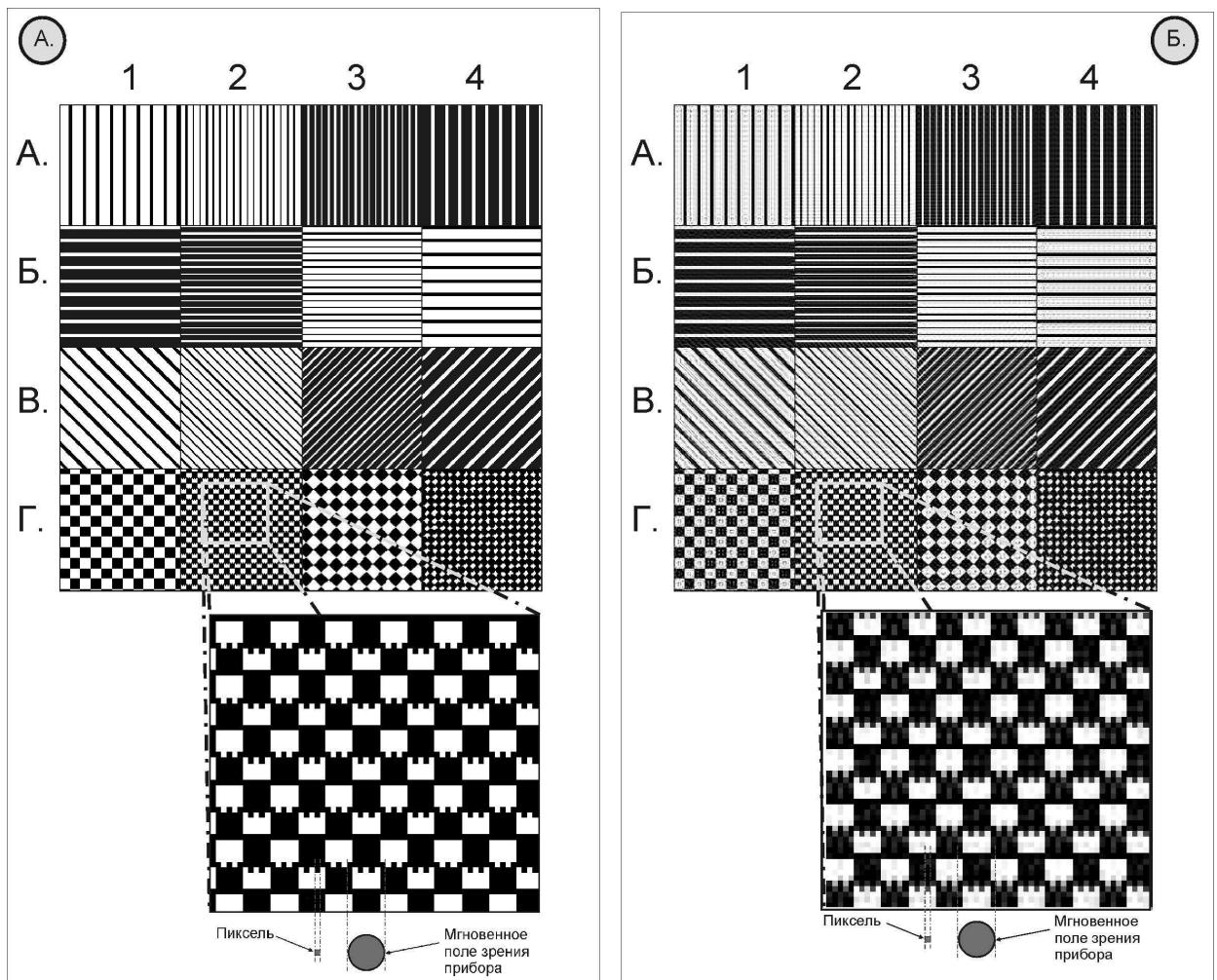


Рис. 3 А. Чёрно-белая миры, использованная в численном эксперименте.

Б. Результат деконволюции с применением МПП чёрно-белой миры

после ее растяжения на 1 пиксель.

Восстанавливаются детали размером в 1 пиксель. Появились шумы (спекл шум?)

Изображение	Нестабильность сканирования по направлению полета
А.	Мира
Б.	Стабильное сканирование
В.	+0,022 пикселя/строку (+4 пикселей/448 строк)
Г.	+0,17 пикселя/строку (+8 пикселей/448 строк)
Д.	+0,035 пикселя/строку (+16 пикселей/448 строк)

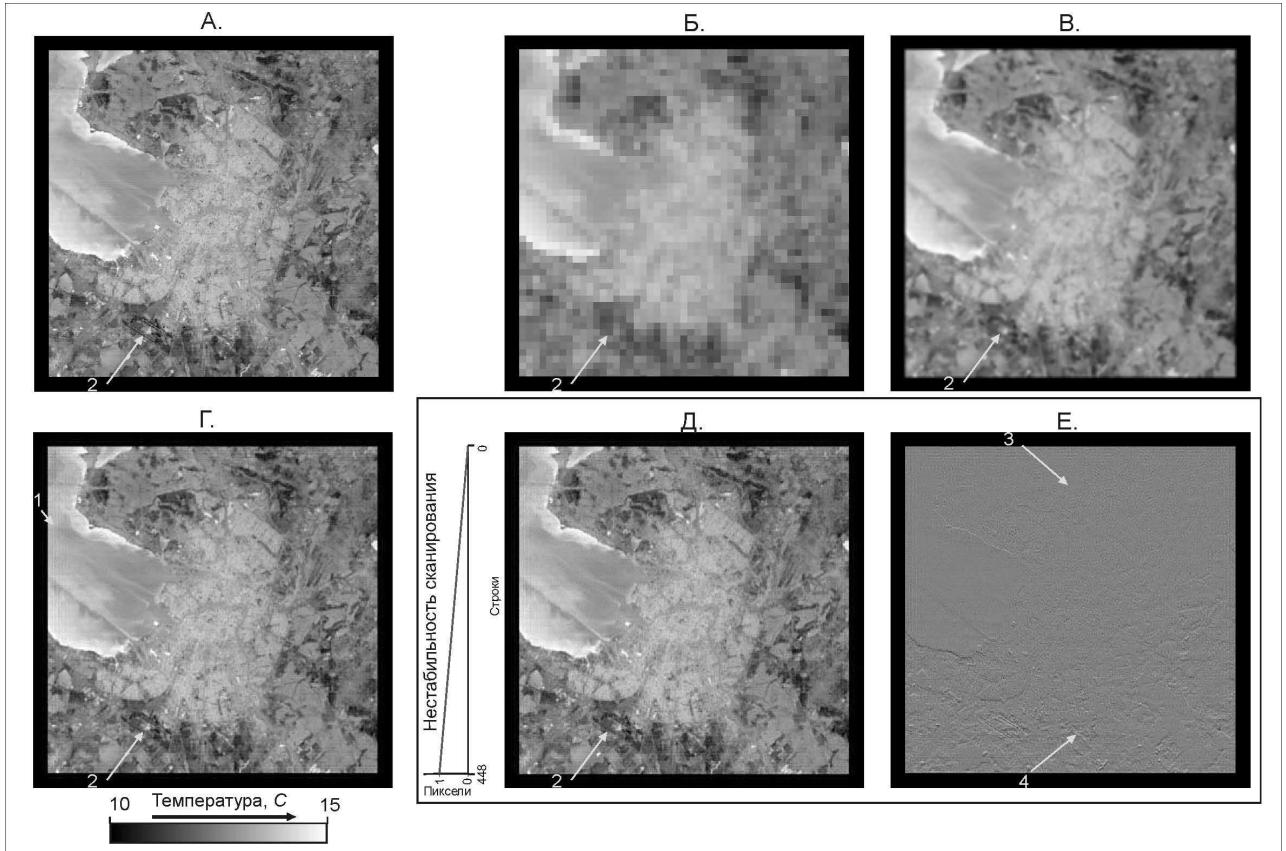
Рис. 4. Результат деконволюции методом МПП областей Д-1-4 черно-белой миры после ее растяжения от 1 пикселя до 16 пикселей вдоль линии полета КА. Детали размером в 1 пиксель восстанавливаются. Шум носит случайный характер

Аналогично численный эксперимент выполнялся и со второй мирой (рис. 5).

#### Метод ван Циттерта (van Cittert)

Метод ван Циттерта [8] предназначен для решения задачи деконволюции и фактически представляет собой реализацию метода простой итерации для решения систем линейных уравнений  $X * H = F$ . При обработке изображений  $X, H$  и  $F$  – матрицы, совпадающие по размеру с обрабатываемым изображением,  $X$  – матрица действительного изображения (неизвестная),  $F$  – матрица обрабатываемого изображения, полученная в результате космической съемки,  $H$  – матрица, описывающая аппаратную функцию объекта. Если решение, полученное на  $n$ -ой итерации обозначить  $X_n$ , тогда итерационная схема ван Циттерта записывается  $X_{n+1} = X_n + F - X_n * H$ . Наиболее существенным нерешиенным моментом в схеме ван Циттерта является критерий останова: если матрица  $H$  – хорошо обусловлена, то метод ван Циттерта быстро приводит к восстановлению неизвестной матрицы  $X$ , которая перестает изменяться, то есть, начиная с некоторого номера итерации  $n$ , матрица  $F - X_n * H$  становится тождественно равной нулевой матрице. В противном случае, начиная с некоторой итерации, вычислительный процесс начинает расходиться. В нашей реализации критерием останова было достижение заданного числа итераций, установленного экспериментально в зависимости от реальных размеров окна аппаратной функции: количество итераций:  $3 + m/2$ . При этом, использованная нами

реализация была искусственно «замедлена» – применялась модифицированная вычислительная схема  $X_{n+1} = X_n + \alpha(F - X_n * H)$  со значением  $\alpha$  равным 0.5. Введением параметра  $\alpha$  регулируется скорость сходимости процесса и одновременно достигается его вычислительная устойчивость. Результат применения этого алгоритма к черно-белой мири приведен на рис. 6.



*Рис. 5. Результаты, полученные на различных этапах численного эксперимента с ночным тепловым снимком Санкт-Петербурга. Метод МПП*

*А. Исходное изображение миры.*

*Б. Изображение миры, полученное при сканировании в стандартном режиме при диаметре МПЗ в 7 раз, превышающем размер пикселя.*

*В. Изображение миры, полученное при сканировании в режиме 7-кратного увеличения частоты считывания при диаметре МПЗ в 7 раз, превышающем размер пикселя.*

*Г. Изображение, полученное после деконволюции изображения (рис. 14 В).*

*Д. Изображение, полученное после деконволюции изображения (рис. 19 В), полученного после его растяжения на 1 пиксель вдоль направления полета.*

*Е. Разность яркостей между исходным изображением миры (рис. 5 А) и восстановленным после деконволюции (рис. 5 Г)*

### Метод Голда (Gold)

Метод деконволюции, носящий имя Голда, решает ту же задачу, что и метод Ван Циттерта. В обозначениях предыдущего пункта, схема метода Голда [9] записывается в виде  $X_{n+1} = X_n \cdot F / (X_n * H)$ . Критерий останова в методе Голда использовался тот же, что и в реализации метода ван Циттерта – по заданному числу итераций. Метод Голда характеризуется тем, что если исходные данные (матрицы  $F$  и  $H$ ) положительны, то решение, полученное этим методом, также будет положительным. Это сильно ограничивает класс

возможных решений, соответственно сужая возможности возникновения. С точки зрения скорости сходимости, метод Голда если и превосходит метод Ван Циттерта, то не существенно.

Численный эксперимент с применением метода Голда к трансформированным изображениям миры показал результаты, аналогичные методу Ван Циттерта. Сравнение эффективности синтезирования апертуры для всех исследованных алгоритмов дает рис.7.

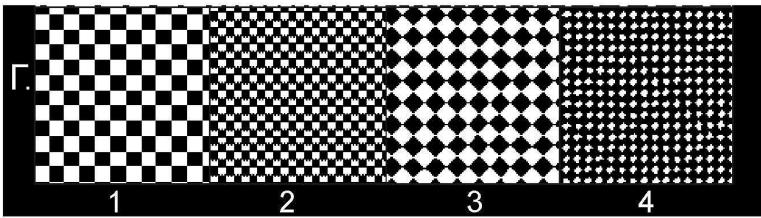
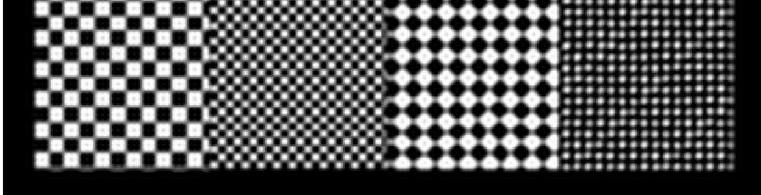
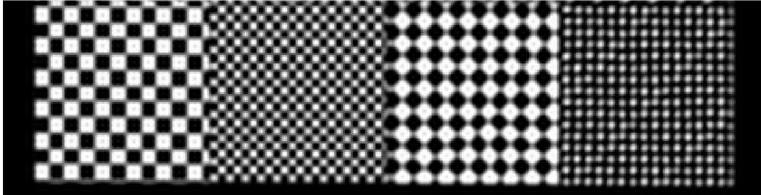
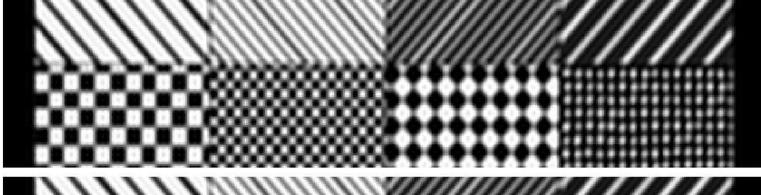
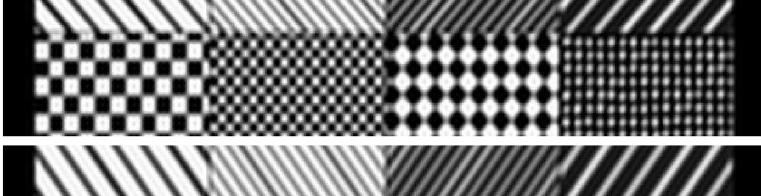
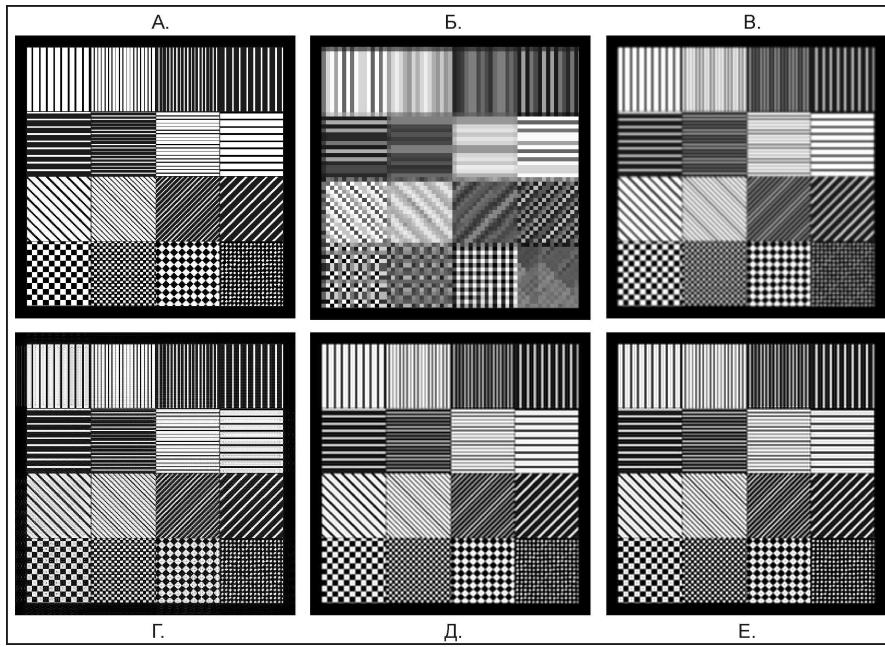
Изображение				Нестабильность сканирования по направлению полета
				Мира
				Стабильное сканирование
				+0,036 пикселя/строку (+16 строк/448 строк)
				+0,071 пикселя/строку (+32 строк/448 строк)
				+0,16 пикселя/строку (+72 строк/448 строк)
				+0,32 пикселя/строку (+144 строк/448 строк)

Рис. 6. Результат деконволюции методом ван Циттерта областей Д-1-4 черно-белой миры после ее растяжения от 16 пикселей до 144 пикселей вдоль линии полета КА. Растяжение практически не влияет на результат восстановления изображения



*Рис. 7. Результаты, полученные на различных этапах численного эксперимента с черно-белой мишрой.*

*А. Исходное изображение миры.*

*Б. Изображение миры, полученное при сканировании в стандартном режиме при диаметре мгновенного поля зрения (МПЗ) в 7 раз, превышающем размер результирующего пикселя (630 м).*

*В. Изображение миры, полученное при сканировании в режиме 7-кратного увеличения частоты считывания при диаметре МПЗ в 7 раз, превышающем размер результирующего пикселя (630 м).*

*Г. Изображение, полученное после деконволюции изображения (рис. 7 В) методом МПП.*

*Д. Изображение, полученное после деконволюции изображения (рис. 7 В) методом Van Циттеря.*

*Е. Изображение, полученное после деконволюции изображения (рис. 7 В) методом Голда*

Анализ результатов численного эксперимента позволил сделать следующие выводы:

1. Метод МПП позволяет восстановить изображение миры с точностью до пикселя при нестабильности сканирования вдоль направления полета КА не превышающего 0,17 пикселей на строку.

2. Методы Van Циттерта и Голда не позволяют восстановить изображение с точностью до пикселя, но, практически, не зависят от нестабильности геометрии сканирования и могут быть использованы для ускорения расчетов по методу МПП как первое приближение.

3. На основании этих данных становится возможным оценить требования по стабилизации КА.

#### 4. Требования к КА-носителю СР СА

Требования к КА (табл. 3) рассчитывались, исходя из схемы, приведенной на рис. 1Б. Допустимая нестабильность сканирования по направлению полета КА, исходя из численного моделирования, выполненного выше, определена как 0,17 пикселя на строку<sup>1</sup>. При скорости полета КА  $V=7,51 \text{ км/с}$  (соответствующая скорость подспутниковой точки на поверхности Земли –  $6,77 \text{ км/с}$ ) это составляет  $\delta t = 2,3 \text{ мс}$ . При высоте орбиты 700 км это соответствует отклонению на  $\delta y = 15,6 \text{ м}$  линии визирования от плоскости сканирования, проходящей через надир, при угле тангажа  $\gamma = 0,00128 \text{ град}$ . Отсюда допустимая скорость углового движения

<sup>1</sup> Имеется в виду размер результирующего (после синтезирования апертуры) пикселя на местности. Для данного СР СА 90 м.

КА в плоскости орбиты не должна превышать 0,56 град/с. Допустимая скорость углового движения поперек орбиты может быть несравненно выше, т.к. частота считывания информации вдоль строки сканирования на три порядка выше, чем частота построения строк.

Оценки показывают, что полученные допустимые скорости эволюций КА и поток регистрируемой информации не являются запредельными для современного уровня техники, что открывает возможность практической реализации спутникового варианта СР СИ.

Дополнительным преимуществом СР СА при выполнении прицельных съемок<sup>2</sup> является возможность получения материала однородного по геометрическому разрешению на местности в пределах всей полосы съемки путем изменения частоты считывания данных. Кроме того, благодаря «плохому» реальному угловому разрешению на датчик собирается большой поток инфракрасного-теплового излучения, что позволяет использовать более дешевую и менее энергоемкую, по сравнению с компрессорной, абсорбционную систему охлаждения.

Таблица 3. – Требования к характеристикам КА-носителя СР СА

Требуемая стабилизация платформы вдоль орбиты, не более	<i>Пикселей на строку</i>	0,17
Частота сканирования, $f_s$	<i>строк/с</i>	75
Время сканирования одной строки, $\Delta t$	<i>мс</i>	13,3
Максимально допустимое время нестабильности сканирования строк по данным численного моделирования (0,17 часть пикселя), $\delta t$	<i>мс</i>	2,3
Расстояние на местности, на которое линия визирования отклоняется за 2,3 мс от плоскости сканирования, проходящей через nadir	<i>м</i>	15,6
Угол тангажа, при котором линия визирования отклоняется на 15,6 м от плоскости сканирования проходящей через nadir	<i>град</i>	0,00128
Допустимая скорость углового движения в канале тангажа, не более	<i>град/с</i>	0,56
<b>Ширина полосы обзора, <math>L</math></b>	<b><i>км</i></b>	<b>2 700</b>
<b>Количество отсчетов (пикселей) по строке, <math>i^*K</math></b>		<b>15 817</b>
Время между двумя соседними отсчетами на строке, $\delta t$	<i>мкс</i>	1,04
<b>Геометрическое разрешение на местности (в надире)</b>	<b><i>м</i></b>	<b>90</b>
Допустимое время нестабильности сканирования строк по данным численного моделирования (0,17 часть пикселя), $\delta t$	<i>мс</i>	1,94
Отношение диаметра МПЗ к геометрическому разрешению на местности (кратность), $K$	<i>разы</i>	7
Количество информации в одном отсчете (квантование отсчетов)	<i>бит/пиксель</i>	10
Поток информации на выходе СРСА	<i>Мбит/с</i>	12

## Заключение

Результаты исследований открывают возможность практической реализации авиационного прототипа спутникового СР СА. Представляется, что создание и испытание этого прототипа позволит окончательно доказать возможность синтезирования апертуры сканирующих систем ДЗЗ, использующих видимый, инфракрасный и СВЧ диапазоны ЭМВ.

<sup>2</sup> Съемки, при которых требуется получить данные с небольшого участка полосы обзора.

## Литература

1. *Фриш С.Э. и Тиморева А.В.* Курс общей физики. т. III. Оптика, атомная физика // М. Изд. второе. Государственное издательство технико-теоретической литературы. 1952.-800с.
2. *Harger R.O.* Synthetic aperture radar systems: theory and design // New York, Academic Press. 1970. 240 p.
3. *В.И.Горный, И.Ш.Латыпов.* Концепция системы малых КА для измерения и картографирования физических характеристик земной поверхности на основе многоразовой тепловой съемки сканерами с синтезированным разрешением // Проблемы и технологии создания и использования космических систем и комплексов на базе малых КА и орбитальных станций. Второй межведомственный научно-практический семинар. 26-30 октября 1998. Сборник тезисов докладов. ГКНПЦ им. М.В.Хруничева. 1998. -215 с.
4. *В.И.Горный, И.Ш.Латыпов.* Экспериментальное подтверждение возможности создания сканирующего радиометра с синтезированной апертурой // ДАН, 2002, т.387, №1, Геофизика, с. 102-104.
5. *Тихонов А.Н. и Арсенин В.Я.* Методы решения некорректных задач // М.Наука. -224с.
6. *Куликов А.Н., Фазылов В.Р.* Конечный метод решения систем выпуклых неравенств // Изв. вузов. Математика. – 1984 – № 11. – С.59-63.
7. *Фазылов В.Р.* Один общий метод отыскания точки выпуклого множества. // Известия вузов. Математика. – 1983. – № 6. – С.43-51.
8. *Van Cittert P.* Zum Einfluß der Spaltbreite auf die Intensitätsverteilung in Spektrallinien II // Z. Phys. 1931. V. 69. P. 298–308.
9. *Gold R.* An Iterative Unfolding Method for Matrices // Tech. Rep. ANL-6984, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, 1964.

## Estimation of Efficiency of Algorithms for Synthesizing the Aperture of Scanning Radiometer

V.I. Gornyy<sup>1</sup>, M.I. Kislytskij<sup>2</sup>, I.Sh. Latypov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scientific Research Center for Ecological Safety, Russian Academy of Sciences  
18, Korpusnaya Str., Saint-Petersburg, 197110, Russia

E-mail: v.i.gornyy@ecosafety-spb.ru

<sup>2</sup> FSUE “Arsenal Design Bureau” named after M. V. Frunze  
FEDERAL SPACE AGENCY  
1-3, Komsomola Str., Saint-Petersburg, 195009, Russia

More and more rigorous requirements concerning the spatial resolution and repeatedness of survey are imposed on remote sensing (RS) of the Earth from space by passive scanning radiometers (scanners). The high spatial resolution is achieved by using expensive long-focus objectives with a wide aperture, although the angle of view decreases in this case. Therefore, the necessary repeatedness of observations is provided by an increase in the number of satellites or by targeting surveys with the help of rotatable mirrors and platforms, resulting in a high cost of space RS systems. Thus, the simultaneous requirement of high spatial resolution and a wide view strip is contradictory.

A similar problem existed during the development of side-looking airborne radars. Antennas with linear sizes exceeding those of planes were needed to obtain high spatial resolution with a wide view strip. The problem was solved by the creation of synthetic aperture radars (SAR) [2].

The improving resolution for the optical-electronic RS systems is based on the ill-posed problem of image deconvolution with help of point spread function of device.

With the aim to estimate the solution stability for the geometry of scanning distortion due to the satellite evolution we have investigated the effectiveness of different algorithms of aperture sintesizing: – deconvolution by solving the system of inequalities; – van Cittert algorithm; – algorithm.

In the framework of digital experiment we have shown that algorithm of van Cittert and Gold do not depend practically on distortion of scanning geometry. But, opposite to algorithm of deconvolution by solving the system of inequalities, algorithms of van Cittert and Gold do not restore the necessary resolution.