

# КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 629.783

## УНИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ БОРТОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ

О.И. Фролов

*Описываются основные этапы и операции обработки радиолокационной информации в современных радиолокационных комплексах на основе активной фазированной антенной решётки (АФАР) для космических аппаратов (КА) нового поколения. Рассмотрена упрощённая структурная схема бортового радиолокационного комплекса с блоком обработки сигнала. Приводится разработанный унифицированный алгоритм синтезирования радиолокационной информации бортовых радиолокационных комплексов на основе АФАР для КА нового поколения. Учтены и проанализированы негативные факторы, влияющие на процедуру формирования радиолокационной информации на бортовых радиолокационных комплексах на основе АФАР для КА нового поколения. Изложена общая структура унифицированного алгоритма синтезирования радиолокационной информации, отвечающая требованиям простоты и высокой эксплуатационной применимости, являясь основой для построения более сложных алгоритмов синтезирования радиолокационной информации.*

**Ключевые слова:** радиолокационная информация, радиоголограмма, унифицированный алгоритм синтезирования, бортовые радиолокационные комплексы, активная фазированная антенная решётка, быстрое дискретное преобразование Фурье.

Во многих случаях оперативность получения потребителями радиолокационной информации (РЛИ) определяет её ценность. Полный объём радиоголограммы бортового радиолокационного комплекса (БРЛК) для космического аппарата (КА) нового поколения достигает сотни Гбайт (в зависимости от времени работы и режима съёмки на витке). Данное обстоятельство с учётом современного уровня и темпов развития средств передачи целевой информации и инфраструктуры наземных пунктов приёма и обработки информации (НКПОР), создаёт объективные затруднения в передаче на Землю радиоголограммы в полном объёме и в реальном времени. Один из способов получения информации с КА с радиолокатором – это получение синтезированного РЛИ с заданным качеством на борту КА [1].

Данный способ обеспечивает необходимый уровень оперативности, тем более, что конечному потребителю требуется не радиоголограмма, а радиолокационная информация, которая получается только после её синтеза.

Известные алгоритмы [2, 3] разработаны исходя из теоретического идеала построения аппаратной и программной части, либо ограничиваясь рассмотрением их специализированного исполнения. Для того чтобы оптимизировать синтез РЛИ бортовых радиолокационных комплексов необходимо в первую очередь проанализировать имеющиеся алгоритмы, основные этапы и операции, т. е. выделить общую

структуру унифицированного алгоритма синтезирования РЛИ.

Данная статья ставит своей целью изложить общую структуру унифицированного алгоритма синтезирования РЛИ, отвечающую требованиям простоты и высокой эксплуатационной применимости, которая будет основой для построения более сложных алгоритмов синтезирования РЛИ.

В каждый период времени аналоговые радиолокационные сигналы, полученные от приёмопередающих модулей (ППМ в составе активной фазированной антенной решётки (АФАР)) в цифровой системе обработки с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) подвергаются дискретизации и преобразованию в цифровые сигналы [4]. Выходным сигналом АЦП является последовательность чисел, поступающая в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) (рис. 1).

Радиоголограмма записывается в постоянное запоминающее устройство (на «жесткий» носитель) блока обработки сигнала (БОС). Из ПЗУ радиоголограмма поступает в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), поступившие на временное хранение данные в ОЗУ затем передаются в оперативную память вычислителя (процессора сигналов), осуществляющего обработку голограмм (первичная обработка) для реализации соответствующих заданному режиму алгоритмов. Ёмкость ОЗУ должна быть достаточной для хранения целой радиоголограммы

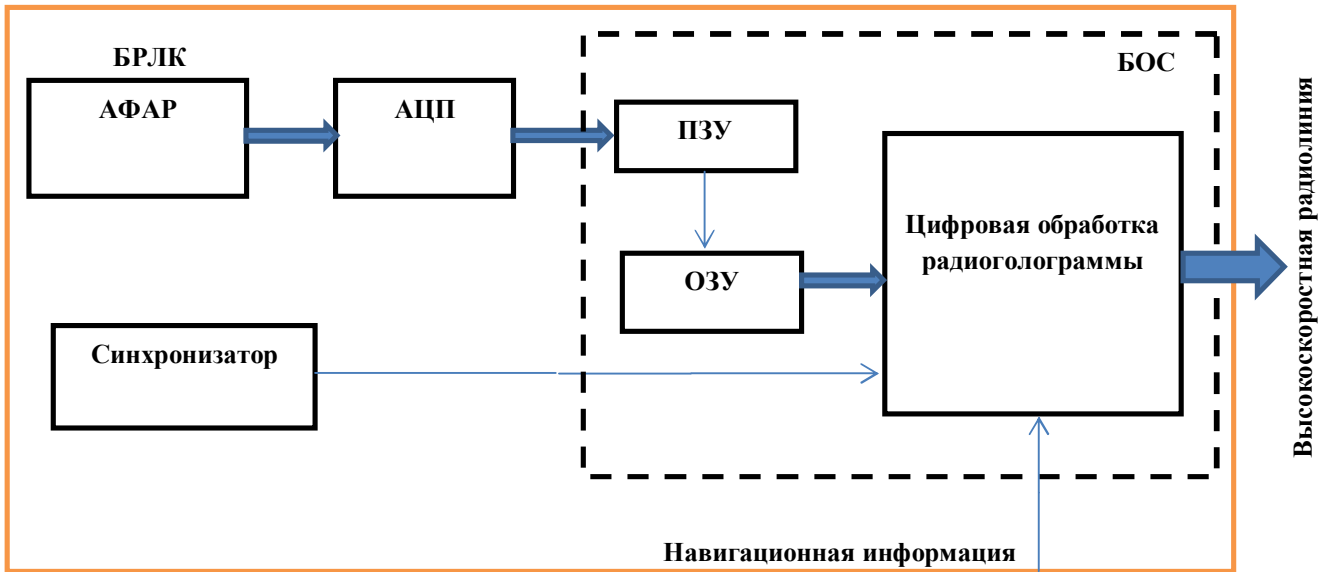


Рис. 1. Упрощённая структурная схема БРЛК с блоком обработки сигнала

(под термином «целой радиоголограммы» понимается тот объём голограммы, обработка которого по заданному алгоритму обеспечивает получение целого парциального кадра РЛИ). Это связано с необходимостью свести к минимуму обменные операции между различными устройствами вычислителей, при которых происходят значительные потери во времени. Размеры радиоголограммы меняются в зависимости от режима и времени сеанса.

Для выполнения вычислений в блоке цифровой обработки радиоголограммы (ЦОР) последовательность данных должна быть преобразована в определённый формат (как пример формат с плавающей точкой).

Для сокращения объёма вычислений размер исходного кадра ограничен размерами матриц. Формат одного обрабатываемого кадра данных – матрица комплексных отсчётов  $x_{ij}$ , где  $i$  – номер строки матрицы (номер отсчёта сигнала по дальности в столбце матрицы);  $j$  – номер столбца матрицы (номер цикла зондирования от начала формирования кадра) [5].

Процедура формирования РЛИ в соответствии с рис. 2 состоит из компенсации смещения элементов дальности {3}; сжатия сигнала по дальности {4, 5, 6}; сжатия по азимуту (путевой дальности) {7, 8, 9} и вычисления модуля по синфазной и квадратурной составляющим выходного сигнала {10}. На заключительном этапе производится некогерентное суммирование частных изображений, полученных в нескольких парциальных лучах, в целях снижения уровня спекл-шума {11}. При большом интервале синтезирования сигнал от цели

может сместиться настолько, что попадёт в соседние, более удалённые элементы разрешения. Этот эффект называется эффектом смещения элементов дальности {3}. Смещение элементов дальности имеет две составляющие [5]:

- линейную (миграция дальности);
- квадратичную (искривление дальности).

Линейная составляющая является следствием смещения ДНА от нормали к вектору относительной скорости, возникающего за счёт вращения Земли и эллиптичности орбиты. Квадратичная составляющая обусловлена сферичностью фазового фронта отражённой волны и проявляется при большом времени синтезирования.

Процедура сжатия (синтезирование апертуры) – основная функциональная операция при цифровом формировании изображения реализуется в частотной области, что требует вычисления дискретных преобразований Фурье {4, 7}, перемножения опорных спектров {5, 8} и обратный перевод изображения во временную область представления с помощью обратного преобразования Фурье {6, 9}. Вычисление дискретного спектра выполняется процедурой быстрого дискретного преобразования Фурье (БПФ по дальности и азимуту).

Последние операции обработки голограммы в БОС – это передача радиолокационного изображения по высокоскоростной радиолинии в аппаратуру для дальнейшего сброса на наземные пункты приёма информации. Также при реализации унифицированного алгоритма синтезирования РЛИ необходимо обеспечить возможность гибкого ввода параметров синтеза – ввода констант.

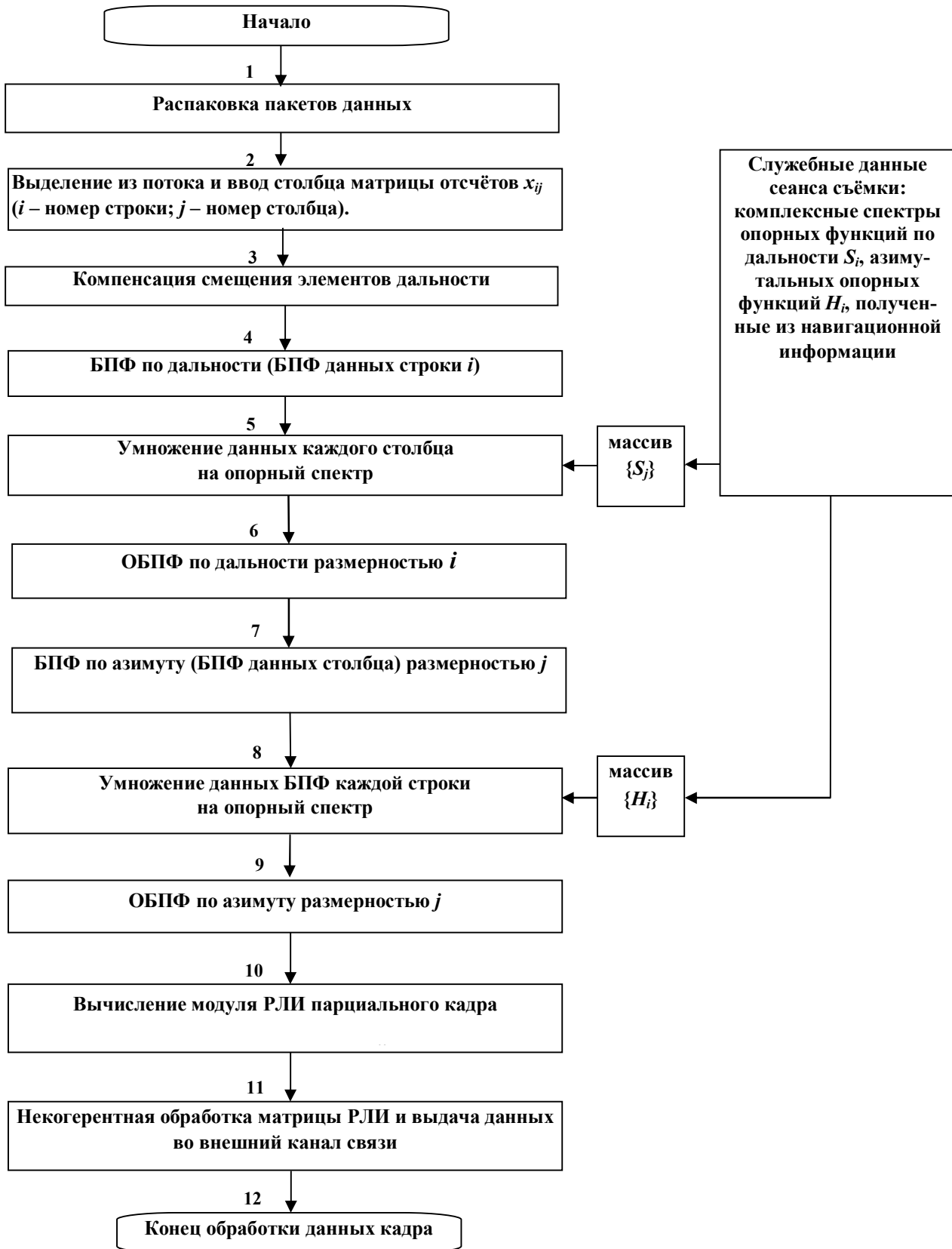


Рис. 2. Блок-схема унифицированного алгоритма формирования радиолокационного изображения одного кадра данных

Это связано с тем, что существуют погрешности в определении доплеровских параметров (за счёт неточного вычисления и неточной стабилизации КА), которые приводят к ухудшению качества изображения, выражающемуся в смещении, ухудшении разрешающей способности и снижении динамического диапазона. Ошибки в определении параметров движения и положения КА обусловлены не только неточностью соответствующих измерителей, но и изменением измеряемого параметра в промежутке между измерениями, поскольку значения параметров движения в систему обработки вводятся дискретно. Если расчётные значения центральной доплеровской частоты и скорости изменения доплеровской частоты недостаточно точны для получения изображения высокого качества, используют их адаптивную оценку на основании анализа РЛИ или измерения указанных величин доплеровскими методами [5].

Предложенные основные этапы и операции унифицированного алгоритма синтезирования РЛИ позволяют в соответствии с особенностями технических требований бортовых радиолокационных

средств на АФАР, строить алгоритмы синтезирования РЛИ для различных режимов съёмки БРЛК.

#### Литература

1. Неронский Л. Б., Михайлов В. Ф., Брагин И. В. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны / СПб. ГУАП / Л. Б. Неронский и др. – СПб., 1999. – Ч. 2. – 220 с.
2. Верба В. С., Неронский Л. Б., Осипов И. Г., Турук В. Э. Радиолокационные системы землеобзора комического базирования / Под ред. В. С. Вербы. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
3. Breit H., Boerner E., Mittermayer J., Holzner J., Eineder M. The TerraSar-X SAR Processor – Algorithms and Design // Proc. of EUSAR'2004, Ulm, Germany. May 25 – 27, 2004. – V. 2. – P. 501 – 504.
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
5. Коберниченко В. Г. Особенности формирования изображений в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой // Вестник УГТУ-УПИ. Теория и практика радиолокации земной поверхности. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – № 19 (71). – (Сер. Радиотехническая).

Поступила в редакцию 19.05.2015

*Олег Игоревич Фролов, инженер,  
т.: (495) 625-08-05, факс (495) 625-08-05,  
e-mail: d97@mcc.vniiem.ru.  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

## UNIFIED ALGORITHM for SYNTHESIZING RADAR DATA from ON-BOARD RADAR SYSTEMS BUILT on the BASIS of ACTIVE PHASED ANTENNA ARRAY

**O.I. Frolov**

*Main stages and procedures of radar data processing in modern radar systems built on the basis of active phased antenna array (APAA) for new generation Spacecraft (SC) are described in the article. Simplified block-diagram of on-board radar system comprising signal processing module is considered. Unified algorithm for synthesizing radar data from on-board radar systems built on the basis of APAA for new generation SC is offered for consideration. Threats which could affect radar data generation procedure in on-board radar systems built on the basis of APAA for new generation SC are taken into account and analyzed. General structure of unified algorithm for synthesizing radar data, meeting requirements of simplicity and high degree of operational integrity and forming the basis for creation of more sophisticated algorithms for synthesizing radar data, is presented.*

**Key words:** radar data, RF hologram, unified synthesizing algorithm, on-board radar systems, active phased antenna array, Discrete Fast Fourier Transformation.

#### List of References

1. Neronsky L. B., Mikhailov V. F., Bragin I. V. Microwave Equipment for Earth's Surface and Atmosphere Remote Sensing. Radars with Synthesized Antenna Aperture / Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation / L. B. Neronsky et al. – St. Petersburg, 1999. – Section 2. – 220 pp.
2. Verba V. S., Neronsky L. B., Osipov I. G., Turuk V. E. Space-Based Radar Systems for Earth Surveying / Edited by V. S. Verba. – Moscow: Radiotekhnika [Radioengineering] Publ., 2010. – 680 pp.

3. Breit H., Boerner E., Mittermayer J., Holzner J., Eineder M. The TerraSar-X SAR Processor – Algorithms and Design // Proc. of EUSAR'2004, Ulm, Germany. May 25 – 27, 2004. – V. 2. – P. 501 – 504.
4. Sergiyenko A. B. Digital Signal Processing / A. B. Sergiyenko. – St. Petersburg: Piter Publ., 2002. – 608 pp.
5. Kobernichenko V. G. Specific of Image Generation in Space Radars with Synthesized Aperture – Bulletin of UGTU-UPI [Ural Federal University]. Theory and Practice of Earth's Surface Radio Detecting and Ranging. – Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI [Ukhta State Technical University], 2005. – No. 19 (71). – (Series Radiotekhnicheskaya).

***Oleg Igorevich Frolov, Engineer,***  
*tel.: (495) 625-08-05, fax: (495) 625-08-05,*  
*e-mail: d97@mcc.vniiem.ru.*  
*(JC 'VNIIEМ Corporation').*