

**ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ  
МЕТОДОЛОГИИ СИНТЕЗА  
ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ  
ДАННЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

*Рассмотрена проблема необходимости повышения безошибочности хранения данных на борту космических аппаратов в условиях ограниченности существующей элементной базы и растущих требований к срокам активного существования космических аппаратов и качеству получаемой с них информации.*

*Предложен подход к построению систем хранения данных (СХД) перспективных космических аппаратов на основе гетерогенных запоминающих устройств с целью повышения безошибочности хранимых данных. Применение гетерогенных накопителей допускает более гибкое управление хранимыми данными, что позволяет уменьшать избыточность всех видов данных в системе, а также гибко регулировать эксплуатационные параметры системы.*

*Представлен алгоритм синтеза гетерогенной системы хранения данных перспективных космических аппаратов, основанный на решении задачи оптимизации по нескольким параметрам.*

**Ключевые слова:** *распределенные системы хранения данных, гетерогенность, безошибочность хранения данных.*

**APPROACH TO THE CREATION  
OF METHODOLOGY OF SYNTHESIS  
OF HETEROGENEOUS DATA  
STORAGE SYSTEMS OF PERSPECTIVE  
SPACECRAFTS**

*The task of correctness increasing of onboard data storage under destructive condition is considered. This task was resolved with the consideration of interest of spacecraft's lifetime increasing and quality of receiving information.*

*The proposed approach to the spacecraft's data storage creation based on the heterogeneous nodes allows to increase the correctness of collectable data.*

*The usage of heterogeneous data nodes allows the flexible management of collectable data and decrease all kinds of redundancy in system.*

*The algorithm of synthesis of creation of heterogeneous data storage systems for space implementation is presented.*

**Keywords:** *distributed storage data systems, heterogeneous, data correctness.*

Современный этап развития космической техники характеризуется устойчивыми тенденциями к увеличению объемов данных, накапливаемых в процессе функционирования космических аппаратов (КА), и к переносу процессов обработки этих данных с наземных комплексов

<sup>1</sup> Адъюнкт кафедры информационно-вычислительных систем и сетей Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского

<sup>2</sup> Кандидат технических наук, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

обработки на борту. Данная информация может носить различный характер (телеметрическая, специальная, навигационная и т.д.), а также различную важность для потребителя (наземного комплекса управления, бортовых систем и пр.). Наибольшие объемы данных генерируются в результате работы целевой (специальной) бортовой аппаратуры космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). При этом ее характеристики совершенствуются с каждым поколением и, как следствие, значительно растет

объем данных, накапливаемый на борту. Однако проблема безошибочного хранения на борту КА информации не ограничивается КА ДЗЗ. Так, ошибки, возникающие в процессе хранения командно-программной или навигационной информации, могут привести к выходу из строя КА в целом.

Переход на полупроводниковые технологии и достаточно продолжительная эксплуатация КА позволили выявить ряд противоречий в части, касающейся системы хранения данных, требующих решения для успешного решения целевых задач.

1. В силу высокой производительности всех видов аппаратуры КА, регистрируемые ею данные имеют большие объемы, что затрудняет их обработку и хранение. В то же время, возможности отечественных предприятий по производству запоминающих устройств, пригодных к использованию в условиях космоса, весьма ограничены. Как результат, это, например, значительно меньшая емкость системы хранения данных (СХД) отечественных КА по сравнению с зарубежными и неизбежное применение в них импортных микросхем памяти. [1].

2. Одной из устойчивых тенденций на протяжении последних лет в области повышения оперативности получения информации является перенос решения ряда задач с наземного пункта приема и обработки информации (НППОИ) на борт КА. Решение вопросов частичной или полной обработки данных на борту требует существенного увеличения объемов СХД, что также вступает в противоречие с ограниченным объемом существующих СХД [2].

3. Требования, предъявляемые к существующим и перспективным КА в вопросах продления сроков их активного существования и надежности функционирования постоянно растут. Однако способы построения бортовой аппаратуры и в том числе СХД, устойчивых к продолжительному воздействию факторов космического пространства, недостаточно разработаны [3].

4. Одним из неотъемлемых требований к информации является ее достоверность, которая неизбежно страдает от искажения и потери данных, как передаваемых по высокоскоростным радиолиниям (ВРЛ), так и в процессе хранения в СХД. Повышение безошибочности хранимых в СХД данных как составной части достоверности информации в целом требует введения различных видов избыточности (информационной, аппаратной, временной), что не всегда приемлемо с точки зрения массогабаритных ограничений для КА в целом.

Как один из перспективных вариантов построения СХД КА предложен вариант построения СХД на базе запоминающих устройств (ЗУ), основанных на различных физических принципах. Данные микросхемы (MRAM, SONOM и др.) обладают некоторыми отличиями в технических характеристиках, что делает их привлекательными для применения на борту КА. Стоит отметить, что выбор одного определенного типа ЗУ затруднен ввиду существенного различия их характеристик (например, обладая большей радиационной стойкостью, они обладают меньшими объемами хранимых данных и пр.).

При этом данные, хранящиеся в СХД КА, обладают также различными атрибутами. Так, некоторые данные теряют актуальность по прошествии некоторого промежутка времени, а другим задается более высокий приоритет.

Однако на данный момент методы синтеза гетерогенных СХД и управления ими недостаточно разработаны. [4].

С целью разрешения возникающего противоречия между необходимостью надежного хранения больших объемов данных на борту КА и отсутствием на текущий момент разработанных методов и средств такого хранения предлагается использовать Алгоритм синтеза гетерогенной структуры СХД КА на этапе проектирования СХД КА и Алгоритм управления хранением данных в гетерогенной структуре СХД перспективных КА в процессе ее функционирования с целью обеспечения устойчивого функционирования КА в целом.

#### **Алгоритм синтеза гетерогенной структуры системы хранения данных перспективных космических аппаратов**

Формирование требований к СХД определяется как один из этапов внешнего проектирования. На основе исследований СХД как элемента БКУ и БОЭСК, анализа взаимодействия СХД с другими структурными элементами системы определяются необходимые технические характеристики СХД и осуществляется технико-экономическое обоснование. Результаты этапа внешнего проектирования формулируются в виде тактико-технических требований к БВС. В большинстве случаев требования к целевым, временным и динамическим показателям качества функционирования СХД могут быть удовлетворены множеством вариантов структур и параметров системы. В этом случае стоимость разработки и эксплуатации, наличие технологического задела и отработанного ПО могут стать определяющими при выборе вариантов системы.

При этом следует отметить, что на этапе предварительного общесистемного проектирования возможна только грубая оценка надежности, живучести и стоимости, так как для точного анализа, как правило, недостает достоверных исходных данных.

На этапе проектирования СХД целесообразно рассматривать эксплуатационные показатели проектируемой СХД с точки зрения пригодности применения ее по назначению.

При построении СХД КА (формирования структуры  $S_0$ , состоящей из элементов  $M = \{m_{ij}\}$  с соответствующими характеристиками) необходимо учитывать проектные требования к аппаратуре, заданные заказчиком:

$V_{\min}$  – минимально необходимый для функционирования объем СХД;

$V_{\max}$  – максимально целесообразный для применения на данном типе КА объем СХД.

$T_{\min}$  – минимально допустимое время наработки на отказ СХД;

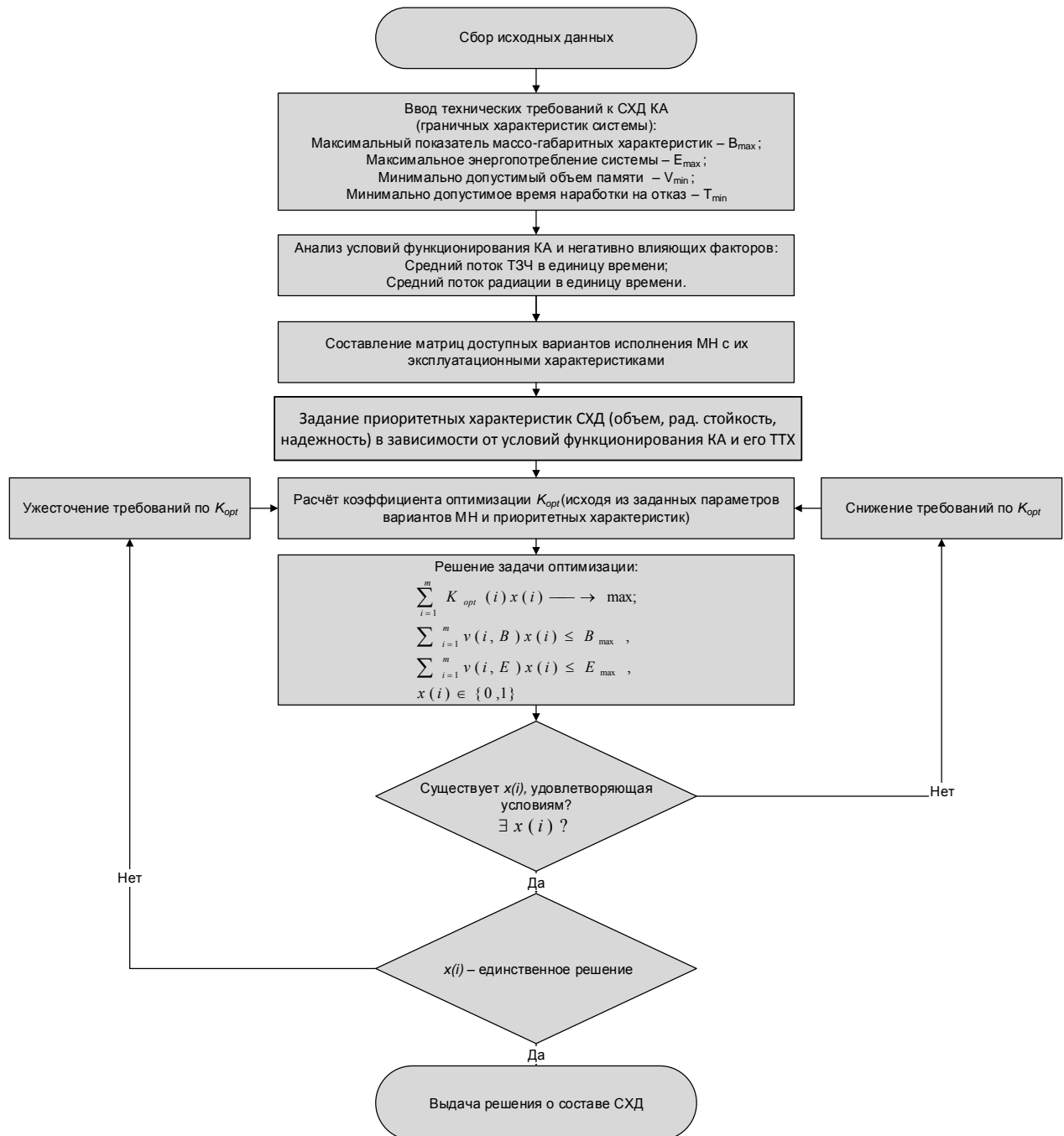


Рис. 1. Алгоритм синтеза гетерогенной СХД КА

$E_{\max}$  – максимально допустимое энергопотребление СХД;

$B_{\max}$  – максимально допустимое значение массогабаритного показателя СХД.

Синтез гетерогенной структуры происходит в условиях априорной неопределенности условий функционирования СХД КА. В то же время, воздействие неблагоприятных факторов космического пространства на аппаратуру КА для наиболее часто применяемых орбит хорошо изучено, и его можно принять за нормальные условия функционирования.

На рис. 1 приведен алгоритм синтеза состава гетерогенной СХД.

На первом этапе происходит сбор исходных данных. Он заключается в комплексном анализе требований, предъявляемых к условиям функционирования КА, анализе технических требований к СХД, а также доступных вариантов накопителей.

На основе анализа доступных вариантов накопителей составляется матрица с их эксплуатационными характеристиками.

На следующем этапе производится расчет обобщенного показателя эффективности функционирования СХД.

Далее решается классическая задача оптимизации, заключающаяся в поиске таких вариантов модулей накопителей, чтобы максимизировать обобщенный показатель качества функционирования системы при ограничениях на массогабаритные и энергетические показатели.

Задача считается решенной, если найдено единственное решение. Если решение отсутствует или их несколько, то производится перерасчет коэффициента оптимизации с целью его увеличения или уменьшения.

Найденное решение отражает состав модулей накопителей СХД, с учетом исходных данных.

### Заключение

Так как СХД является информационной системой, ее основными функциями являются хранение и предоставление требуемой информации для ее последующей передачи и обработки. Именно выходная информация является главным продуктом функционирования СХД. Соответственно, процессы функционирования ИС должны быть направлены на обеспечение качества выходной информации.

Приведенный подход к синтезу гетерогенных СХД позволяет строить их с учетом особенностей различных типов памяти. Использование показателя безошибочности хранения данных

при расчете коэффициента оптимизации позволяет повысить безошибочность, а следовательно, и достоверность хранимых данных. Кроме того, необходимо отметить, что указанный алгоритм также применим для формирования СХД с однородными элементами, обладающими различной конструктивной защитой (например, усиленное экранирование отдельных элементов).

Предложенный алгоритм в совокупности с алгоритмом управления хранением данных в перспективных гетерогенных накопителях [5] позволяет существенно повысить надежность хранения данных в условиях воздействия неблагоприятных факторов космического пространства.

### Литература

1. Петров А.Г., Уланова А.В., Чумаков А.И., Васильев А.Л. Исследования потери информации в микросхемах флэш-памяти в активном и пассивном режимах при ионизирующем воздействии // Радиационная стойкость электронных систем «Стойкость-2014»: тезисы докладов 17-й Всероссийской научно-практической конференции по радиационной стойкости электронных систем. – М., 2014. – С. 175–176.

2. Савиных В.П. Оптико-электронные системы дистанционного зондирования / В.П. Савиных, В.А. Соломатин. – М.: Недра, 1996. – 315 с.

3. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года. – М.: Федеральное космическое агентство, 2006. – 72 с.

4. Захаров И.В., Кремез Г.В., Максимов В.А. Построение распределенных запоминающих устройств бортовых вычислительных систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – Вып. 652. – С. 160–166.

5. Максимов В.А., Дудкин А.С. Подход к формированию модели системы хранения данных в перспективных космических аппаратах дистанционного зондирования Земли // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 10 (52). – Ч. 2. – С. 82–85.

6. Кирилин А.Н. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли / А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов, А.В. Сологуб, В.П. Макаров. – М.: Машиностроение, 2010. – 66 с.

7. Новиков А.Н. Математическая модель обоснования вариантов реконфигурации рас-

пределенной автоматизированной контрольно-измерительной системы / А.Н. Новиков, А.А. Нечай, А.В. Малахов // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». – 2016. – Выпуски 1–2. – С. 56–59.

8. Нечай А.А. Методика повышения надежности функционирования систем, организованных на перепрограммируемых элементах / А.А. Нечай, П.Е. Котиков // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». – 2016. – Выпуски 1–2. – С. 87–89.