

УДК 62-501.72:681.326.7

# ПОСТРОЕНИЕ ГРУППИРОВОК КА НА БАЗЕ СБОЕ-ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**И.В. Ашарина**

*Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Субмикрон»*  
Россия, Москва, Зеленоград, Георгиевский проспект, дом 5, строение 2, этаж 4, помещение 1, комната 50  
E-mail: [asharinairina@mail.ru](mailto:asharinairina@mail.ru)

**А.В. Лобанов**

*Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Субмикрон»*  
Россия, Москва, Зеленоград, Георгиевский проспект, дом 5, строение 2, этаж 4, помещение 1, комната 50  
E-mail: [lav@se.zgrad.ru](mailto:lav@se.zgrad.ru)

**Ключевые слова:** сетецентрическое управление, многопроцессорные системы, репликация задачи, отказоустойчивость, взаимное информационное согласование, динамическая избыточность.

**Аннотация.** Рассматриваются особенности построения и функционирования сетецентрических систем с точки зрения их сбое- и отказоустойчивости. Рассматривается модели, используемые при построении сетецентрических систем. Приводится пример использования таких систем.

Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р, своей конечной, но все же, к сожалению, четко не сформулированной в Программе целью должна иметь автоматизацию на цифровой основе всех сторон положительной деятельности как отдельных граждан РФ и их организованных сообществ, так и общества РФ в целом. Такая всесторонняя, всепроникающая и всеобъемлющая автоматизация недостижима без создания и практического внедрения во все отрасли человеческой деятельности взаимосвязанных и взаимодействующих распределенных многомашинных систем сетевой структуры. Одной из таких распределенных многомашинных вычислительных систем является Интернет и, например, поисковая система Яндекс на его основе. Такой системой является, например, автоматизированная система управления (АСУ) атомной электростанцией, а также АСУ вооруженными силами [1].

Сетецентрическая система управления (ССУ) представляет собой динамически изменяемую извне и изнутри (в соответствии с изменением целей и алгоритмов управления для объекта управления) распределенную систему, исполняющую текущий алгоритм для объекта управления, что полностью вписывается в концепцию построения распределенных многомашинных вычислительных систем (РМВС) [2].

Сетецентрическая система управления распределенным объектом состоит из: 1) распределенной системы датчиков наблюдения состояния внешней среды и подобъектов управления, 2) распределенной вычислительной системы, предназначенной для оценки состояния внешней среды, подобъектов и объекта управления в целом, а также

выработки распределенных согласованных управленческих решений и доведения их до исполнения распределенной системой органов воздействия, 3) распределенной системы органов воздействия на распределенные подобъекты управления, исполняющей решения распределенной вычислительной системы.

По сути, сетевая система управления осуществляет параллельное решение взаимодействующих задач в режиме реального времени и должна удовлетворять заданным условиям безопасности: обеспечение требуемой достоверности выходной информации, заданной сбое-отказоустойчивости для каждой из решаемых задач критического применения, исключения несанкционированного доступа. Объект управления для сетевой системы управления (ОУССУ) – это динамически изменяемая извне и изнутри распределенная система подобъектов управления, возможно взаимосвязанных и/или взаимодействующих между собой и внешней средой. Цели управления для ОУССУ – это динамически изменяемые извне и изнутри (в соответствии с изменением условий применения и спецификацией на ОУССУ) требования, свойства и характеристики, которым должны соответствовать текущие состояние и поведение ОУССУ. Алгоритм управления для ОУССУ – это динамически изменяемый извне и изнутри (в соответствии с изменением целей управления и спецификацией на ОУССУ) алгоритм работы ОУССУ, обеспечивающий достижения текущих целей управления ОУССУ.

Общий эффект от применения сетевых систем управления - существенное повышение точности и скорости: 1) наблюдения распределенными в пространстве и во времени органами управления за распределенной в пространстве и времени обстановкой в управляемой среде, 2) оценки распределенными в пространстве и во времени органами управления результатов наблюдения распределенной в пространстве и времени обстановки, 3) принятия распределенных в пространстве и во времени согласованных решений по управлению распределенными в пространстве и во времени взаимосвязанными и взаимодействующими объектами управления, 4) распределенных в пространстве и во времени исполнений принятых решений и контроля этих исполнений.

Парирование проявлений допустимых неисправностей, а также их обнаружение и идентификацию по месту возникновения и типу в сбое- и отказоустойчивых сетевых МВС обеспечивается путем применения следующих основных механизмов: 1) системное и тестовое диагностирование, 2) репликация задач, 3) функциональное диагностирование, 4) восстановление целевой работы, 5) реконфигурация, 6) управляемая деградация, 7) перераспределение ресурсов, 8) безопасный останов. Эти основные механизмы реализуются с помощью базовых механизмов – синхронизации и взаимного информационного согласования (ВИС).

Невозможно построить надежную, отказоустойчивую систему с минимальной вероятностью возникновения негативных эффектов эмерджентности [2] без построения адекватных моделей сетевых систем, к которым относятся: 1) структурно-диагностические модели, 2) диагностические модели, 3) алгоритмически-диагностические модели, 4) модели процессов идентификации, 5) модель процесса деградации, 6) структурно-функциональное описание системы.

**Структурно-диагностические модели** включают в себя определение таких понятий, как неисправность, репликация, комплекс, среда межкомплексной посылки, графовая модель системы, неделимый объект (НО) неисправности, критерий неисправности части ЦВМ или передающего устройства сопряжения (УС) ЦВМ с широкополосным каналом связи и всей ЦВМ (всего УС), физическая и логическая изоляция неисправных элементов, текущая рабочая конфигурация системы, комплекса, среды межкомплексной посылки, текущие горячий и холодный запасы системы, комплекса, ре-

конфигурация системы, комплекса, среды межкомплексной посылки, переназначение имеющихся исправных НО, их перераспределение между комплексами, а также формирование состава и структур комплексов.

**Диагностические модели** определяют проявление неисправности, классы допустимых неисправностей, регион ограничения возможного количества неисправных НО, защита от проявлений неисправностей (статическая и динамическая избыточность – парирование неисправностей и ликвидация проявлений неисправностей (изоляция неисправных НО, механизмы восстановления информации и вычислительного процесса в сбившихся НО и втягивания их в согласованную совместную работу), допустимые и недопустимые совокупности неисправностей НО, критерий допустимой совокупности неисправностей, текущий критерий допустимой последовательности возникновения неисправностей, действия в случаях нарушения этих критериев, тестовое и функциональное диагностирование, идентификация проявления неисправности по месту и по типу, НО самовосстанавливающиеся и несамовосстанавливающиеся, градация проявлений их неисправностей по типу (сбой НО, программный сбой НО, отказ НО), критерий отказа НО, совокупности подозреваемых неисправностей и их последовательностей, допустимые и недопустимые совокупности неисправностей НО, критерий допустимой совокупности неисправностей, критерий допустимой последовательности возникновения неисправностей, действия при нарушении этих критериев.

**Алгоритмически-диагностические модели** определяют понятия условий повторяемости сбоев, критерии отказа НО, этапы работы системы (начального включения и самодиагностирования, целевой работы, периодического тестового самодиагностирования, перехода в безопасный останов), циклы и фазы самодиагностирования, текущее техническое состояние системы и каждого НО, временные интервалы: периоды, раунды, кванты, цикл целевой работы, элементарные контролируемые действия (ЭКД), обеспечение сквозного и непрерывного функционального самодиагностирования, передача и посылка сообщений, необходимые условия взаимодействия всех ЦВМ системы: синхронность, известность форматов принимаемых и выдаваемых сообщений, моментов их приема и передачи.

**Модели процессов идентификации** определяют результаты идентификации неисправностей: однозначные и неоднозначные как по месту возникновения, так и по типу, 9 состояний результата идентификации, критерий необходимости реконфигурации и восстановления, критерий перехода системы в безопасный останов [3-7].

**Модель процессов деградации** определяет степень или стадии деградации РМВС: начальная, промежуточные, критическая, при которой никакая реконфигурация невозможна и необходим переход системы в безопасный останов [3-7].

В идеале группировка космических аппаратов (КА) и ее наземная инфраструктура являются сетевидной системой, построенной на основе сети и представляющейся пользователю не как взаимосвязь автономных ЦВМ, а как единое целое, выполняющее целевые задания пользователя, и именно с этих позиций нужно подходить к построению программно-аппаратных комплексов группировок КА.

Особенно это актуально на данном этапе, когда общие тенденции развития КА таковы:

- все более расширяющееся применение платформ среднего и малого класса;
- миниатюризация и удешевление бортовых приборов и аппаратуры за счет использования микроэлектромеханических систем и нанотехнологий;
- значительное расширение функциональных возможностей перспективных КА за счет создания нового поколения служебных систем и приборов;

- построение кластерных орбитальных группировок из сверхмалых КА с взаимным дополнением функциональных возможностей и положительными эффектами эмерджентности;

- формирование многоспутниковых группировок, обеспечивающих высокую периодичность и достоверность результатов наблюдений, осмыслений, принятия решений и выполнения требуемых действий.

Предлагаемые в работе принципы построения РМВС полностью удовлетворяют всему спектру возможных космических объектов, с точки зрения вычислительной мощности и потоков обрабатываемой информации:

- **микро-КА** с отдельным вычислителем и малыми потоками обрабатываемой информации;

- **мини-КА**, содержащие более одного вычислителя, обработка потоков информации средней мощности;

- **малофункциональный КА**, с вычислителем, предназначенным для обработки потока информации высокой мощности;

- **многофункциональный КА** (в том числе, пилотируемый), для решения параллельных взаимодействующих, комплексных задач;

- **группировка из микро- и мини-КА**, взаимодействующих между собой для решения общих синергетических задач путем взаимобмена информацией между всеми КА;

- **группировка из КА всех вышеперечисленных типов и наземных средств**, обеспечивающая решение критических проблем.

## Список литературы

1. Лобанов А.В., Ашарина И.В., Гришин В.Ю., Сиренко В.Г. Макетный образец высокоадаптивной распределенной сетевидной многокомплексной сбое- и отказоустойчивой управляющей системы – актуальная проблема // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10, № 1. С. 48–55.
2. Ашарина И.В., Лобанов А.В., Гришин В.Ю., Сиренко В.Г. Принципы построения отказоустойчивой многозадачной распределенной многомашинной вычислительной системы сетевой структуры // Труды XIII Всероссийского совещания по проблемам управления. Москва, 17-20 июня 2019 г. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.
3. Лобанов А.В. Модели замкнутых многомашинных вычислительных систем со сбое- и отказоустойчивостью на основе репликации задач в условиях возникновения враждебных неисправностей // Автоматика и телемеханика. 2009. № 2. С. 171-189.
4. Сиренко В.Г. Метод локализации «враждебных» неисправностей в многомашинных вычислительных системах // Известия вузов. Электроника. 2006. № 3. С.38-43.
5. Сиренко В.Г. Функциональное диагностирование процессов посылки информации в вычислительных системах при неизвестном исходном значении передаваемой информации // Автоматика и телемеханика. 2005. № 11. С. 135-154.
6. Лобанов А.В., Гришин В.Ю., Сиренко В.Г. Распределенное системное диагностирование враждебных неисправностей в неполносвязных многомашинных вычислительных системах // Автоматика и телемеханика. 2005. № 2. С. 148-157.
7. Лобанов А.В. Взаимное информационное согласование с обнаружением и идентификацией враждебных неисправностей в неполносвязных многомашинных вычислительных системах // Автоматика и телемеханика. 2003. № 6. С. 175-186.