

**Библиографические ссылки**

1. Тухватулина Л. Р., Шлёпкин А. К. О периодических группах, насыщенных полудиэдрами // Журн. СФУ. Математика и физика. 2008. Т. 1. № 3. С. 329–334.
2. Лыткина Д. В., Тухватулина Л. Р., Филиппов К. А. О периодических группах, насыщенных конечным множеством конечных простых групп // Сиб. матем. журн. 2008. Т. 49, № 2. С. 395–400.
3. Alperin J. L., Brauer R., Gorenstein D. Finite groups with quasi-dihedral and wreathed Sylow 2-subgroups // Trans. AMS. 1970. Vol. 151. № 1. P. 1–261.

К. А. Philippov

**THE PERIODIC SHUNKOV GROUPS SATURATED WITH SIMPLE THREE-DIMENSIONAL UNITARY GROUPS**

*It is proved that a periodic Shunkov group, saturated with the set  $\mathfrak{R}$  of all simple three-dimensional unitary group of dimension three  $U_3(q)$ , locally finite and isomorphic to  $U_3(Q)$  for some locally finite field  $Q$ .*

*Keywords: group Shunkov, saturation.*

© Филиппов К. А., 2012

УДК 681.34

Р. Ю. Царев, Д. В. Капулин, А. В. Штарик, Е. Н. Штарик

**СИНТЕЗ И УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КЛАСТЕРНЫХ СТРУКТУР ААТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ\***

*Предложена оптимизационная модель планирования развития кластерной структуры АСУ космической системы. Представлено описание разработанного программного комплекса анализа надежности и управления развитием кластерной структуры АСУ космических систем.*

*Ключевые слова: космическая система, кластерная структура, автоматизированная система управления.*

Жизнеспособность автоматизированных систем управления (АСУ) космическими системами (КС) в равной мере определяется как аппаратно-программными компонентами системы (надежностью их функционирования, сетевым и ресурсным обеспечением), так и информационными потоками и их возможностями. Очевидно, что информационное пространство АСУ КС должно выполнять роль средства, объединяющего пространственно разобщенные подразделения и службы, включая космический сегмент [1; 2].

Следовательно, коммуникационные и информационные технологии проектируемого пространства должны быть такими, чтобы, по меньшей мере, обеспечивать полноценный информационный обмен между структурными компонентами, такими как региональные станции, пункты контроля и управления, центральная станция и т. п.

Существенно, что ресурсы на создание компонентов структуры АСУ КС могут выделяться в разные периоды времени, т. е. допустимо поэтапное финансирование и поэтапная реализация системы без противоречия ее характеристикам полезности [3]. Таким образом, в связи с проектированием и созданием информационной среды для поддержки управления АСУ КС все большее значение и актуальность приоб-

ретает решение задачи синтеза и планирования развития ее структуры.

**Постановка задачи.** Управление развитием информационно-технической инфраструктуры АСУ КС требует разработки модельно-алгоритмических и программных средств, обеспечивающих формирование оптимального плана развития [4], и заключается в определении моментов ввода типов кластеров, формирующих структуру АСУ КС.

Рассматриваемая структура информационного пространства АСУ КС в рамках предлагаемой обобщенной модели включает в себя совокупность информационных центров (ИЦ), функционально соответствующих региональным/центральной станциям, и структурных подразделений, участвующих в информационном пространстве на правах пунктов управления (ПУ – пункты или устройства управления различных модификаций), связанных между собой коммуникационными каналами, обеспечиваемых сетью высокой готовности (для дисковых массивов предоставляется связь непрерывного доступа).

Каждый ИЦ характеризуется величиной потребности своих узлов в информационно-технических ресурсах и категорией катастрофоустойчивости для кластерной архитектуры в каждый период планирования развития кластерной инфраструктуры АСУ КС [5; 6].

\*Исследования выполнены в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Категория катастрофоустойчивости ИЦ характеризуется, в первую очередь, значением кластер-кворума, а также составом комплекса используемых аппаратно-программных средств в ПУ. Тогда процесс развития кластерной инфраструктуры АСУ КС, обеспечивающий последовательное поэтапное повышение уровня катастрофоустойчивости, представляется в виде набора путей на многодольном альтернативном графе, множество вершин которого отображает набор возможных категорий катастрофоустойчивости (тип кластера) каждого ИЦ в заданные периоды, а множество дуг – возможные переходы из одной категории в другую [5; 7].

Задача планирования развития кластерной инфраструктуры состоит в поиске оптимального плана развития кластерного информационного пространства, который должен определить моменты ввода центров обработки информации, а также инфраструктуру кластерной сети в каждый период планирования. Необходимо также учитывать динамику изменения потребностей узлов системы и затраты на развитие кластерной сети АСУ КС.

Аппаратно-программные решения для АСУ КС, обеспечивающие катастрофоустойчивость, могут соответствовать различным типам кластеров. Для защиты от катастроф узлы кластеров необходимо разнести на достаточное расстояние. Узлы размещаются в разных помещениях, на разных этажах здания, в разных районах города и даже в разных городах [2]. Расстояние между узлами определяется исходя из конкретной ситуации и в соответствии с используемой технологией репликации данных [5].

**Метод решения задачи.** В зависимости от конкретных особенностей постановки задачи формализуется критерий оптимальности для плана развития кластерной инфраструктуры АСУ КС [6]. В ряде случаев целесообразно ввести коэффициенты, учитывающие важность информационно-технических ресурсов, требуемых каждым ПУ (узлом кластера). Важными также являются ограничения на степень удовлетворения потребностей пользователей в информационно-технических услугах по периодам планирования. Рассматриваемая модель позволяет проводить оптимизацию и анализ вариантов развития кластерной инфраструктуры АСУ космических систем.

Оптимизационная задача планирования развития кластерной структуры АСУ КС может быть сформулирована следующим образом. Имеется АСУ КС, представляющая собой совокупность  $I$  кластеров. Обозначим номер кластера  $i = \overline{1, I}$ . Каждый кластер характеризуется катастрофоустойчивой категорией ( $k = \overline{1, K}$ ), районным коэффициентом  $\mu_i$  и потребностью в кластер-кворуме  $Q_{it}$  в момент времени  $t$ . На интервале времени  $T$  в каждый период планирования  $t = \overline{1, T}$  выделяются материальные средства в размере  $R_t$  на развитие инфраструктуры кластеров АСУ КС.

Районный коэффициент  $\mu_i$  учитывает увеличение капитальных затрат на строительство кластера в особых районах (северных, сейсмических и т. д.).

Каждой категории  $k$  соответствует минимальное работоспособное значение целостности (кластер-кворум)  $Q_k$  и капитальные затраты (требуемые ресурсы)  $R_k$  на развитие кластера.

Для формализации поставленной задачи введем следующие переменные величины:  $x_{ikt} = 1$ , если  $i$ -й кластер имеет  $k$ -ю категорию в  $t$ -й период планирования;  $x_{ikt} = 0$  в противном случае.

Обозначим через  $q_{ikt} = Q_{it} - Q_k$  разность между требуемой минимальной целостностью  $i$ -го кластера в  $t$ -й период и кластер-кворумом  $k$ -й категории.

Пусть

$$\tilde{q}_{ikt} = \begin{cases} -q_{ikt}, & \text{если } q_{ikt} < 0; \\ 0, & \text{если } q_{ikt} \geq 0, \end{cases}$$

$$\bar{q}_{ikt} = \begin{cases} q_{ikt}, & \text{если } q_{ikt} > 0; \\ 0, & \text{если } q_{ikt} \leq 0. \end{cases}$$

Тогда выражение, характеризующее степень превышения потребностей в устойчивости к нарушению целостности, выглядит следующим образом:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \tilde{q}_{ikt} \cdot x_{ikt}. \quad (1)$$

Условие выбора для каждого кластера одной категории из допустимого множества формализуется в виде

$$\sum_{k=1}^K x_{ikt} = 1; \quad i = \overline{1, I}; \quad t = \overline{1, T},$$

где  $I$  – общее количество кластеров.

Условие, ограничивающее набор возможных категорий  $i$ -го кластера в каждый  $t$ -й период:

$$\sum_{k=1}^K k \cdot x_{ikt} \leq K_{it}^*; \quad i = \overline{1, I}; \quad t = \overline{1, T},$$

где  $K_{it}^* = \min_{Q_{it} \geq Q_k} k$  – минимальная категория, кластер-кворум которой полностью удовлетворяет потребности  $i$ -го кластера в  $t$ -й период планирования  $k = \overline{1, K}$ .

Учитывая районный коэффициент  $\mu_i$ , ограничение на капитальные затраты в период времени  $t$  формализуется в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^I \mu_i \sum_{k=1}^K x_{ikt} \cdot (R_k \cdot x_{ikt} - R_k \cdot x_{ik(t-1)}) \leq R_t.$$

Важным условием является удовлетворение потребительских запросов, и поэтому в качестве критерия оптимальности плана развития используем выражение (1), взятое по минимуму:

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \tilde{q}_{ikt} \cdot x_{ikt}.$$

Таким образом, план, обеспечивающий минимум дефицита надежности, на всем интервале времени, выделенном на развитие системы, будет являться оптимальным.

**Экспериментальная часть.** С использованием подхода, изложенного в статье, разработан программный комплекс анализа надежности и управления развитием кластерных структур АСУ космических систем, предназначенный для работы как с уже существующими кластерными структурами, так и с создающимися. Функциональное назначение разработанного программного комплекса заключается в анализе различных кластерных структур, выявлении сценариев отказов системы и создании новых структур по определенным входным параметрам (рис. 1).

Описание классов программного комплекса:

– TNode – класс, описывающий общее поведение моделируемых объектов;

- TArbitrator – класс, описывающий объекты-арбитраторы;
- TComponent – класс, описывающий объекты – пункты управления;
- TDataCenter – класс, описывающий объекты – информационные центры;
- TController – класс, управляющий процессом моделирования;
- Plan – класс, создающий план эксперимента.

Рассмотрим работу предлагаемого программного комплекса на примере создания кластерной структуры для обеспечения надежности и катастрофоустойчивости АСУ космической системы. Разработано два варианта формирования комплекса:

- 1) два ИЦ, в каждом по одному ПУ, сроки реализации – 60 дней, бюджет – 150 000 у. е. (рис. 2);
- 2) два ИЦ, в каждом по два ПУ, сроки реализации – 60 дней, бюджет – 200 000 у. е. (рис. 3).

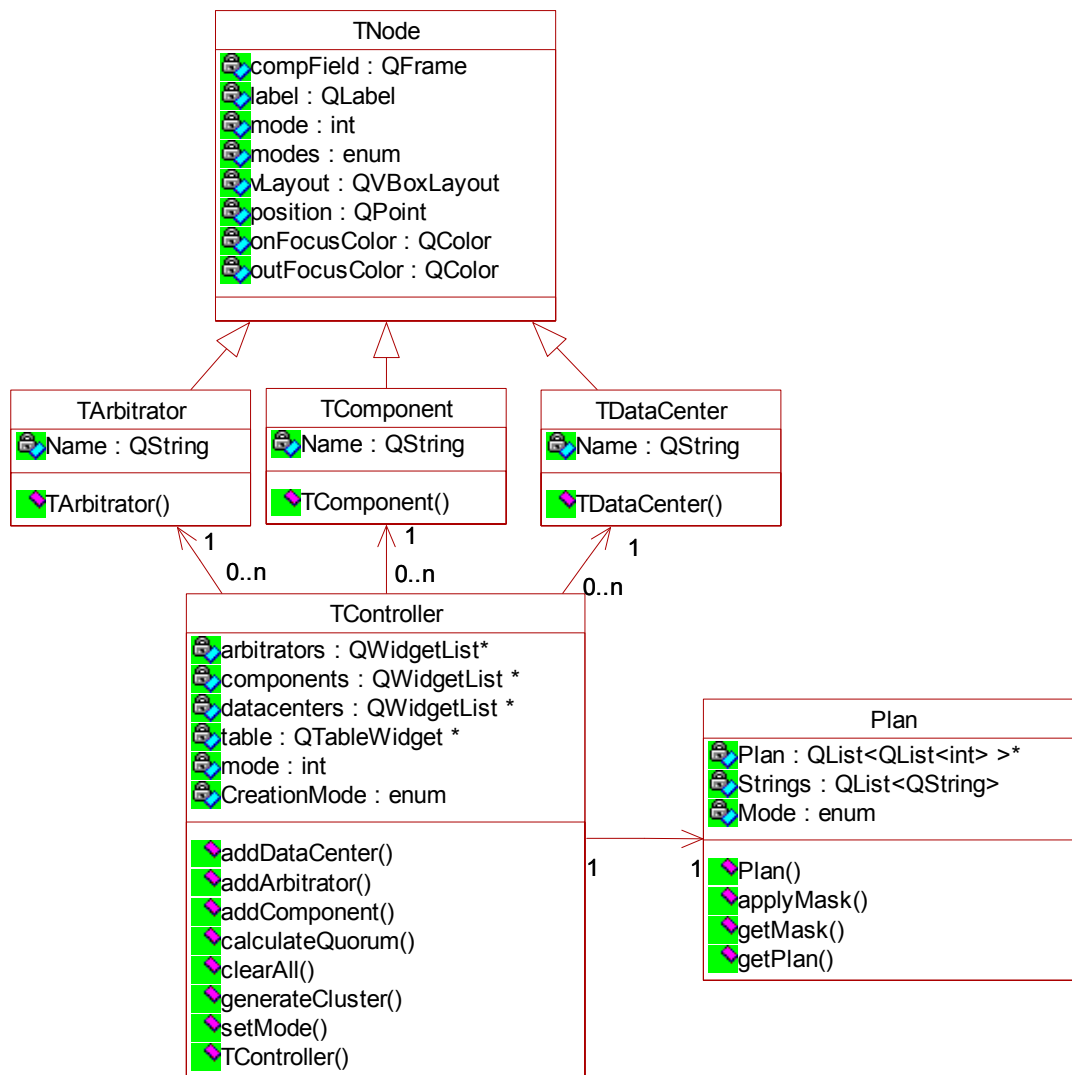


Рис. 1. Диаграмма классов программного комплекса

Сценарий	Не работает	Отказ	Целостность кластера	Осталось	Последствия
1 1			100%	3 из 3	
2 2		Арбитратор 1,	66%	2 из 3	Нет последствий
3 3		Узел 2,	66%	2 из 3	Перенаправление на другие узлы
4 4		Узел 2, Арбитратор 1,	33%	1 из 3	Кластер остановлен
5 5		Узел 1,	66%	2 из 3	Перенаправление на другие узлы
6 6		Узел 1, Арбитратор 1,	33%	1 из 3	Кластер остановлен
7 7		Узел 1, Узел 2,	33%	1 из 3	Кластер остановлен
8 8		Узел 1, Узел 2, Арбитратор 1,	0%	0 из 3	Кластер остановлен
9 9	Арбитратор 1,		100%	2 из 2	
10 10	Арбитратор 1,	Узел 2,	50%	1 из 2	Перенаправление на другие узлы
11 11	Арбитратор 1,	Узел 1,	50%	1 из 2	Перенаправление на другие узлы
12 12	Арбитратор 1,	Узел 1, Узел 2,	0%	0 из 2	Кластер остановлен

Рис. 2. Сценарии отказов по первому варианту структуры АСУ КС

Сценарий	Не работает	Отказ	Целостность кластера	Осталось	Последствия
1 1			100%	5 из 5	
2 2		Арбитратор 1,	80%	4 из 5	Нет последствий
3 3		Узел 4,	80%	4 из 5	Перенаправление на другие узлы
4 4		Узел 4, Арбитратор 1,	60%	3 из 5	Перенаправление на другие узлы
5 5		Узел 3,	80%	4 из 5	Перенаправление на другие узлы
6 6		Узел 3, Арбитратор 1,	60%	3 из 5	Перенаправление на другие узлы
7 7		Узел 3, Узел 4,	60%	3 из 5	Перенаправление на другие узлы
8 8		Узел 3, Узел 4, Арбитратор 1,	40%	2 из 5	Перенаправление на другие узлы
9 9		Узел 2,	80%	4 из 5	Перенаправление на другие узлы
10 10		Узел 2, Арбитратор 1,	60%	3 из 5	Перенаправление на другие узлы
11 11		Узел 2, Узел 4,	60%	3 из 5	Перенаправление на другие узлы
12 12		Узел 2, Узел 4, Арбитратор 1,	40%	2 из 5	Перенаправление на другие узлы

Рис. 3. Сценарии отказов по второму варианту структуры АСУ КС

Анализ результатов работы программного комплекса по расчету надежности разрабатываемых вариантов АСУ КС показал, что первый вариант имеет 27 различных сценариев отказов, из них в 10 сценариях работа кластера останавливается, т. е. 37,1 % сценариев отказов приводит к остановке работы АСУ. Второй вариант имеет 243 сценария отказов, из них 80 приводит к остановке кластера, что составляет 32,9 % сценариев. При этом время на реализацию предложенных вариантов одинаково.

Это означает, что с точки зрения надежности и катастрофоустойчивости АСУ КС реализация кластерной структуры по второму варианту выглядит более целесообразной, чем по первому варианту.

Итак, предложено решение задачи синтеза и управления развитием кластерной структуры АСУ космической системы. На основе анализа сценариев отказов кластеров, формирующих структуры АСУ космических систем, показано, что кластеры способны к реконфигурации в случае, если число одновременно вышедших из строя узлов строго меньше половины работающих. Для различных кластерных структур при оценке последствий того или иного сценария отказов достаточно рассчитать значение кластер-кворума. Реконфигурация кластерных структур АСУ космических систем, использующих арбитраторы, существенно повышает уровень готовности АСУ КС. При введении второго арбитратора более высокий

уровень готовности АСУ космической системы позволяет избежать остановки кластера, что неизбежно для аналогичных сценариев отказов в конфигурации с одним арбитратором.

Разработанный программный комплекс анализа надежности и управления развитием кластерных структур может быть успешно применен для решения указанных задач при создании и развитии широкого спектра систем управления и обработки информации.

#### Библиографические ссылки

1. Мамиконов А. Г., Кульба В. В., Косяченко С. А. Типизация разработки модульных систем обработки данных. М.: Наука, 1989.

2. Царев Р. Ю., Капулин Д. В., Завьялова О. И. Формирование топологической структуры автоматизированной системы управления космическими системами // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 2 (35). С. 82–86.

3. Антамошкин А. Н., Антамошкина О. И., Ходос Д. В. Моделирование основных этапов формирования про-

граммы инновационного развития // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 4 (30). С. 204–206.

4. Антамошкин А. Н., Колташев А. А. Технологические аспекты создания бортового программного обеспечения спутников связи // Вестник СибГАУ. 2005. Вып. 3. С. 93–95.

5. Оценка времени выполнения мультиверсионных программ на кластере с последовательной и параллельной архитектурой обмена данными / И. В. Ковалев, П. В. Ковалев, В. С. Скориков, С. Н. Гриценко // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 2 (23). С. 79–83.

6. Модельно-алгоритмическое обеспечение планирования развития кластерной структуры АСУ космических систем / Р. Ю. Царев, Д. В. Капулин, О. И. Завьялова, А. В. Демиш // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 4 (37). С. 102–106.

7. К проблеме выбора структуры автоматизированной системы управления летательными аппаратами / И. В. Ковалев, Ю. А. Нургалева, С. Н. Гриценко, А. В. Усачев // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 3 (24). С. 105–110.

R. Yu. Tsarev, D. V. Kapulin, A. V. Shtarik, E. N. Shtarik

#### SYNTHESIS AND DEVELOPMENT MANAGEMENT OF CLUSTER STRUCTURE OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF SPACE SYSTEMS

*The paper presents an optimization model of the development planning process for cluster structure of the space system automated control systems. The authors give the description of the developed software system for reliability analysis and development management of cluster structure of the space system automated control systems space system.*

*Keywords: space system, cluster structure, automated control system.*

© Царев Р. Ю., Капулин Д. В., Штарик А. В., Штарик Е. Н., 2012