**УДК 65.011.56**

# МЕТОДЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

А.А. ПУЧКОВ – магистрант, Институт информационных технологий и радиоэлектроники, кафедра ВТиСУ, группа ВТм-119, E-mail: al.a.puchkov@gmail.com

В.С. ТУЛЯКОВ – доцент, Институт информационных технологий и радиоэлектроники, кафедра ВТиСУ, E-mail: tulyalov801@yandex.ru.

A.A. PUCHKOV – undergraduate, Vladimir state university, E-mail: al.a.puchkov@gmail.com

V.S. TULYAKOV – docent, Vladimir state university, E-mail: tulyakov801@yandex.ru

**Аннотация:** Приведено описание основных методов и схем резервирования исполнительных блоков распределенных систем управления, алгоритмы работы, достоинства и недостатки.

**Abstract:** The description of the main methods and schemes of backup executive units of distributed control systems, operation algorithms, advantages and disadvantages

**Ключевые слова:** отказоустойчивость, распределённые системы управления, резервирование, надежность.

**Keywords:** fault tolerance, distributed control systems, redundancy, reliability.

## Надежность и отказоустойчивость

Обеспечение надежности остается одной и важнейших задач, ставящихся при разработке распределенных систем управления, поскольку пренебрежение безопасностью может повлечь за собой не только финансовые потери, но и гибель людей. Одним из параметров надежности системы является отказоустойчивость. Отказоустойчивость - способность системы сохранять работоспособность после отказа или сбоя в работе какого-либо компонента. Важно понимать, что надежная система не всегда может быть отказоустойчивой. Так, надежная система при обнаружении ошибки может произвести безопасную остановку процесса, что с точки зрения безопасности является правильной отработкой отказа, но для заказчика любая остановка производства сулит расходы на перезапуск процесса. Отказоустойчивая система маскирует сбой, что позволяет произвести замену неисправного модуля без прерывания работы всей распределенной системы управления. Одним из самых действенных методов повышения отказоустойчивости системы является резервирование. Резервирование - предоставление функциональных возможностей, которые были бы излишними в безаварийной среде. В рамках данной работы будут рассмотрены основные методы резервирования исполнительных модулей в распределенных системах управления.

## Пассивные методы резервирования

Цель пассивных методов резервирования является маскировка неисправности без ее устранения. Данные методы являются самыми простыми для реализации.

## Голосование два из трех

Наиболее распространенной формой пассивного аппаратного резервирования является голосование 2 из 3 (тройное модульное резервирование). Базовая конфигурация показана на рисунке 1. Компоненты дублируются для выполнения одного и того же вычисления параллельно. Большинство голосов используется для определения правильного результата. В случае отказа одного из модулей мажоритарный арбитр замаскирует ошибку, признав правильным результат оставшихся двух безотказных модулей. В зависимости от приложения, тройные модули могут быть процессорами, памятью, дисководами, шинами, сетевыми подключениями, блоками питания и др.

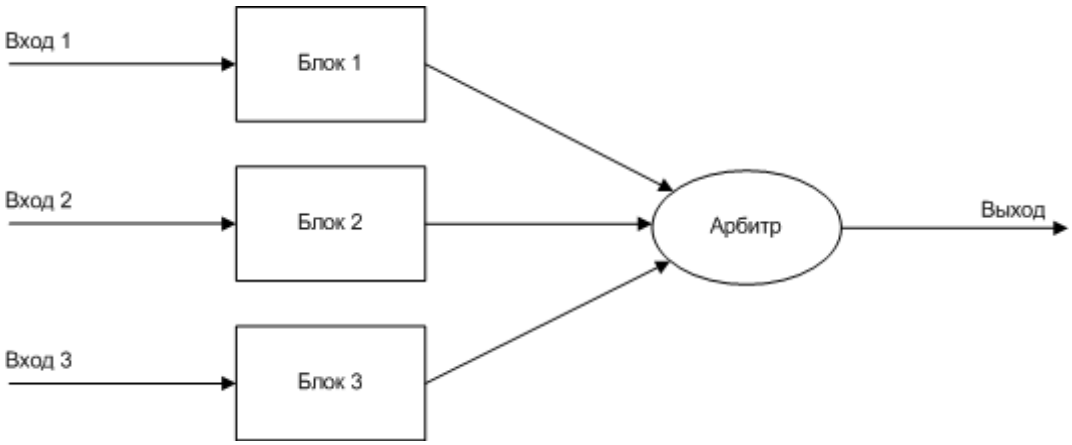


Рисунок 1 – Голосование 2 из 3

Арбитр последовательно подключен к резервным модулям, так как в случае сбоя происходит сбой всей системы. Надежность арбитра должна быть очень высокой, чтобы поддерживать общую надежность системы голосования 2из3 выше, чем надежность соответствующей симплексной системы. В реальных системах, арбитр, как правило, очень простое устройство по сравнению с избыточными компонентами, и поэтому вероятность его отказа намного меньше. Тем не менее, в некоторых системах наличие единой точки отказа неприемлемо по качественным техническим требованиям. В таких случаях используются более сложные схемы

голосования. Одна из возможностей - это децентрализовать голосование, имея трех арбитров вместо одного, как показано на рисунке 2. Децентрализованное голосование позволяет избежать единой точки отказа, но требует достижения консенсуса среди трех арбитров.

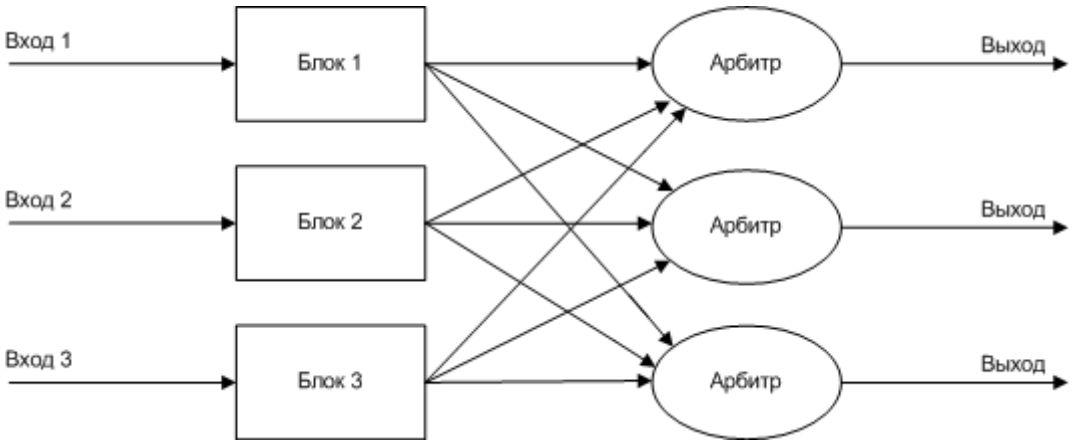


Рисунок 2 – Децентрализованное голосование

4.3.2 N-модульное голосование

Подход N-модульного голосования основан на том же принципе, что и голосование 2из3, но использует N модулей вместо трех (рис. 3). Число N обычно выбирается нечетным, чтобы сделать возможным голосование большинством. Система N-модулей может маскировать [N / 2] ошибок.

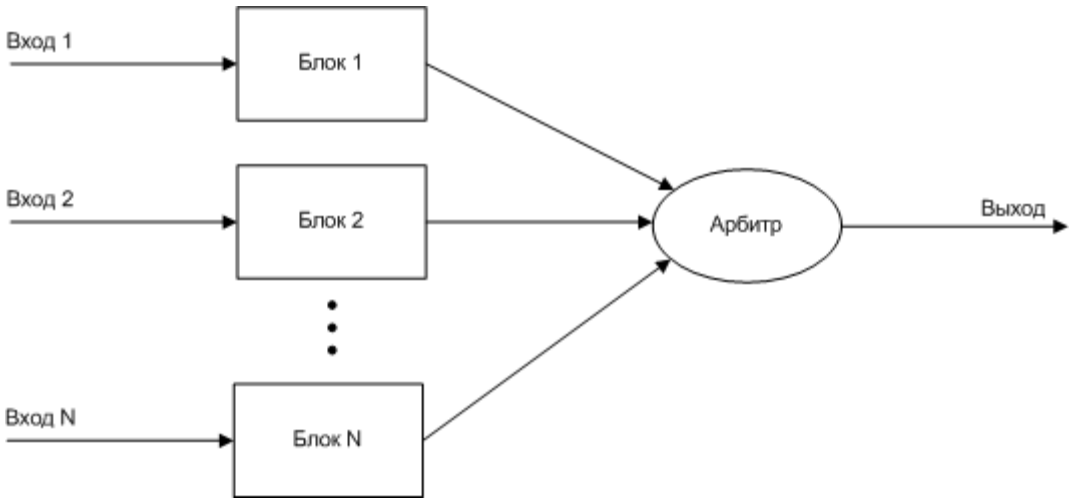


Рисунок 3 – N-модульное голосование

Методы активного резервирования

Активное резервирование обеспечивает отказоустойчивость, сначала обнаруживая возникающие неисправности, а затем выполняя действия, необходимые для восстановления системы до рабочего состояния.

Дублирование со сравнением

Основной формой активного резервирования является дублирование со сравнением, показанным на рисунке 4. Два идентичных модуля выполняют одинаковые вычисления параллельно. Результаты их работы сравниваются с помощью компаратора. Если результаты не совпадают, генерируется сигнал ошибки.

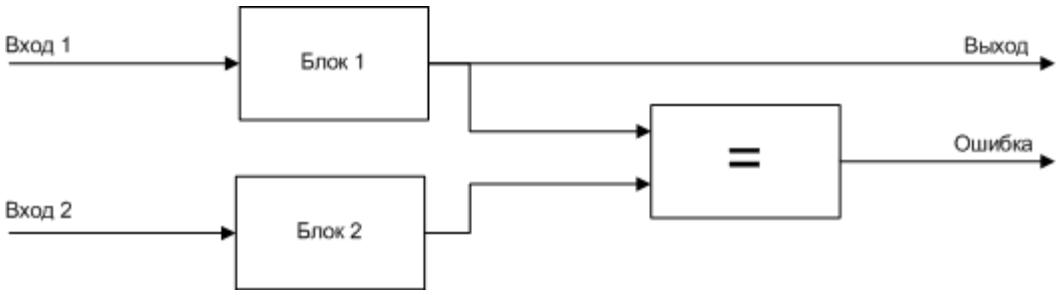


Рисунок 4 – Дублирование со сравнением

Дублирование со сравнением может обнаружить только один сбой модуля. После обнаружения неисправности система не предпринимает никаких действий для возврата в рабочее состояние.

Резервирование замещением

Резервирование замещением является еще одной схемой активного аппаратного резервирования. Базовая конфигурация показана на рисунке 5. Только один из n модулей работает и обеспечивает вывод системы. Остальные n-1 модули служат в качестве запасных.

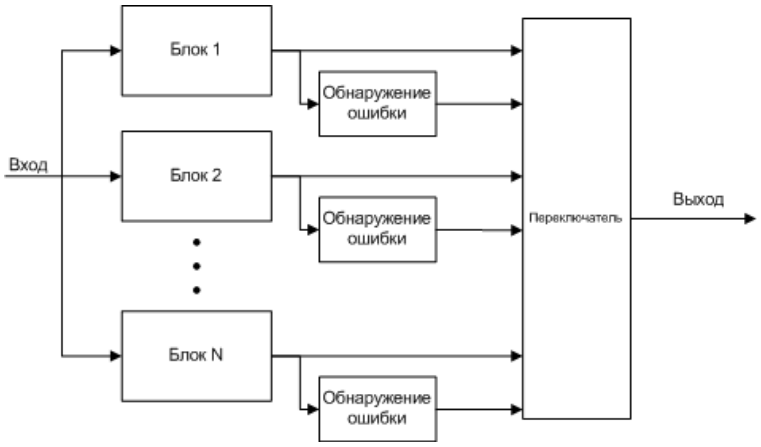


Рисунок 5 – Резервирование замещением

Существует два типа резервирования замещением: горячий и холодный. В режиме «горячего» резерва включаются как операционные, так и запасные модули. Запасные части могут быть включены в эксплуатацию сразу после выхода из строя рабочего модуля. В режиме холодного резерва запасные модули отключаются до тех пор, пока они не потребуются для замены неисправного модуля. Недостатком резервирования в холодном режиме является то, что требуется время для подачи питания на модуль, выполнения инициализации и повторного вычисления. Преимуществом же является то, что резервные запчасти не потребляют энергию. Система резервного замещения с n модулями может выдерживать n – 1 ошибок.

«Пара и запасной»

Идея метода похожа на резервное замещение, однако в нем два модуля работают параллельно  вместо одного. Как и в случае дублирования со сравнением, результаты сравниваются для выявления разногласий. Если от компаратора поступает сигнал об ошибке, коммутатор анализирует отчет из блока обнаружения неисправностей и решает, какой из выходов двух модулей неисправен. Неисправный модуль снимается с эксплуатации и заменяется запасным модулем. Конфигурация показана на рисунке 6.

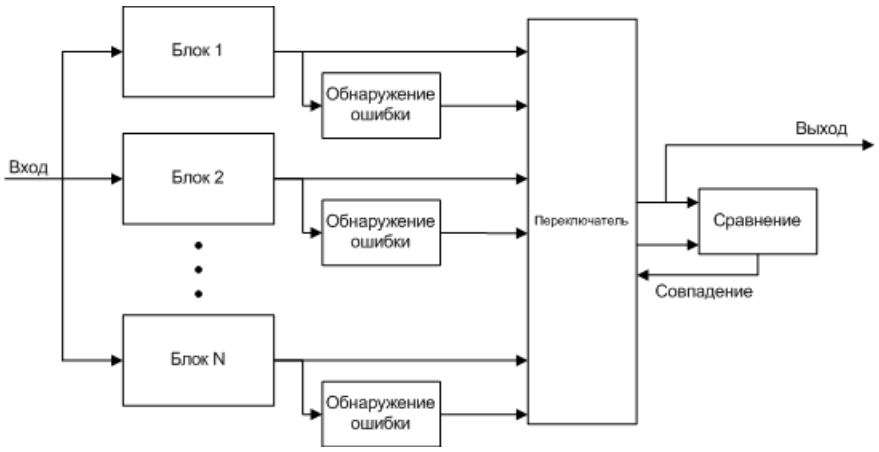


Рисунок 6 – Пара и запасной

Система пара и запасной с n модулями может выдерживать ошибки n - 1 модуля. При возникновении n-й неисправности она будет обнаружена переключателем, а правильный результат будет передан на выход системы. Однако, поскольку запасных модулей больше не будет, коммутатор не сможет заменить неисправный модуль запасным модулем. Конфигурация системы будет сведена к симплексной системе с одним модулем. Таким образом, n-й сбой не будет обнаружен.

Гибридные методы резервирования

Основной идеей гибридного резервирования является объединение полезных свойств пассивного и активного подхода.

Самоочищающееся резервирование

Самоочищающаяся избыточность состоит из n идентичных модулей, которые активно участвуют в голосовании (рисунок 7). Выходные данные избирателя сравниваются с выходными данными отдельных модулей для выявления разногласий. При возникновении разногласий коммутатор удаляет неисправный модуль из системы. Арбитр способен адаптироваться к изменяющемуся количеству входов. Ввод удаленного модуля блокируется.

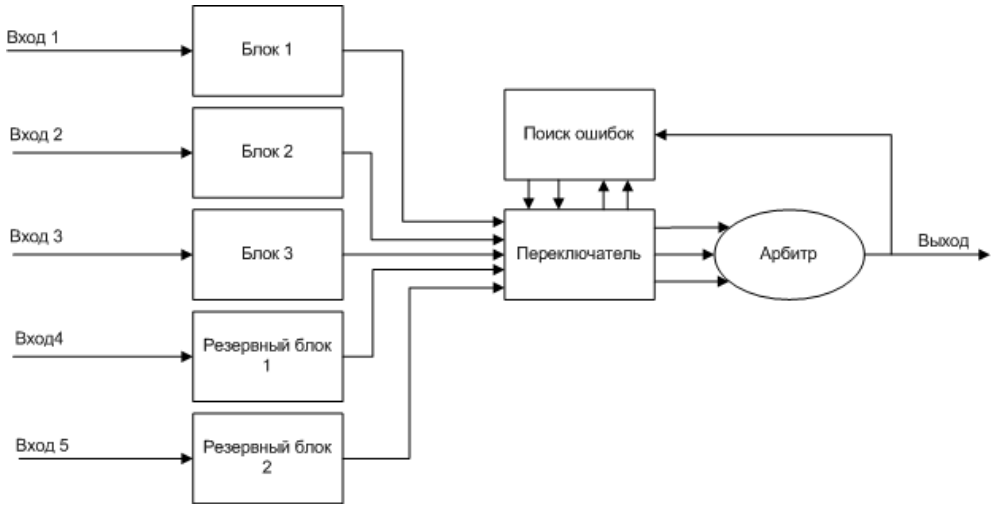

Рисунок 7 - Самоочищающееся резервирование

4.3.3 N-модульное резервирование с заменой

N-модульная избыточность с k запасными частями аналогична самоочищающейся избыточности с k + n модулями, за исключением того, что только n модулей идут на вход арбитра. Избыточные k модулей служат в качестве запасных. Если один из основных модулей выйдет из строя, избиратель замаскирует ошибочный результат, и коммутатор заменит неисправный модуль запасным. Отказоустойчивость системы зависит от используемой формы голосования, а также от реализации коммутатора и компаратора (рисунок 8).

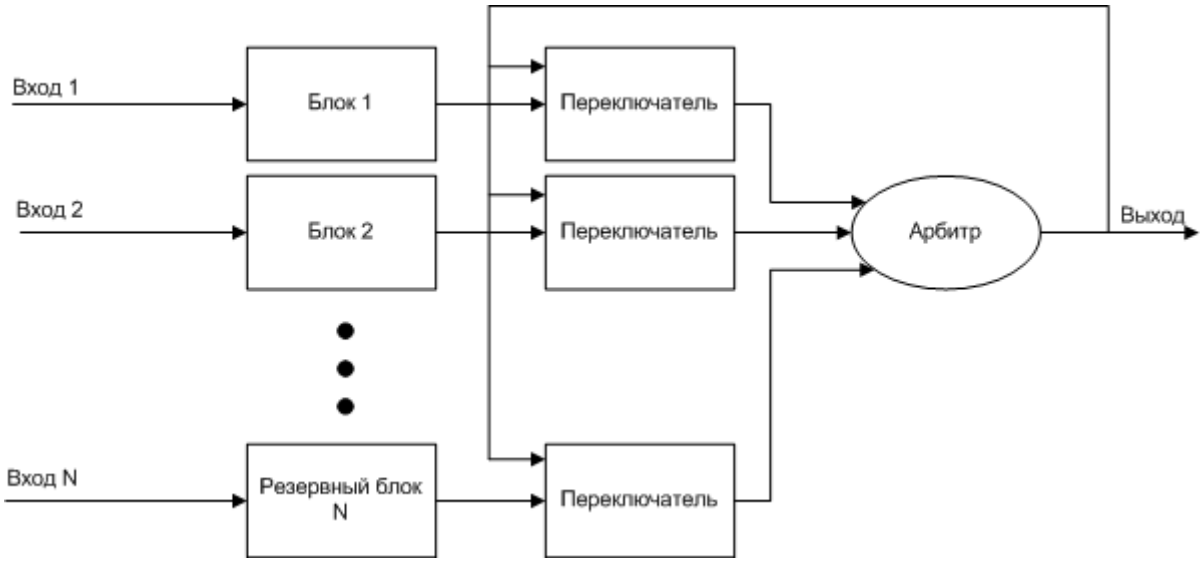


Рисунок 8 - N-модульная избыточность с запасными частями

Триплекс-дуплексная избыточность

Триплекс-дуплексная избыточность сочетает в себе тройную модульную избыточность и дублирование со сравнением. Шесть идентичных модулей, сгруппированных в три пары, работающие параллельно. В каждой

паре результаты вычислений сравниваются с помощью компаратора. Если результаты совпадают, вывод компаратора участвует в голосовании. В противном случае пара модулей объявляется неисправной, и коммутатор удаляет эту пару из системы.

Список используемой литературы:

1. В.С, Викторова, А.С. Степанянц. Модели и методы расчета надежности технических систем— Москва 2013. — С. 219.

2. Mostafa Sadeghi, Hossein Soltani, Mohamadreza Khayyambashi. The study of hardware redundancy techniques to provide a fault tolerant system – 2015 – С.10.

3. Sulekha Rani, S.C Agrawal. Software and hardware reliability of fault tolerant systems – 2011 – С.280.

4. Israel Koren. Fault tolerant systems – 2007 – С.399.