

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра системного анализа и  
автоматического управления

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 481 группы  
направления 27.03.03 — Системный анализ и управление  
факультета КНиИТ  
Голубевой Ирины Александровны

Научный руководитель

к. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_

И. Е. Тананко

Заведующий кафедрой

к. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_

И. Е. Тананко

Саратов 2024

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Необходимость разработки суперкомпьютеров становится всё более актуальной и приоритетной в современных исследованиях и технических разработках из-за растущего спроса на высокопроизводительные вычисления со стороны научных, государственных, а также коммерческих организаций.

Суперкомпьютеры традиционно использовались в научных исследованиях, таких как физика плазмы, физика конденсированных сред, атомная физика, теория элементарных частиц, астрофизика и другие области. Они также необходимы для решения технических проблем, связанных с аэрокосмической и автомобильной промышленностью, ядерной энергетикой, финансовым прогнозированием, разведкой нефти и газа, прогнозированием погоды, оптимизацией транспортных потоков, управлением предприятиями и другие области. Кроме того, суперкомпьютеры приобретают популярность в коммерческой сфере, где применяются в графических приложениях для кино и телевидения, анализе больших данных, визуализации результатов расчетов и т.д. Они широко используются в химических расчетах, включая моделирование электронной структуры для разработки новых материалов, таких как катализаторы и сверхпроводники. Кроме того, суперкомпьютеры играют важную роль в военных целях, включая разработку нового оружия, создание самолетов, ракет, подводных лодок и систем противоракетной обороны.

Одной из ключевых тенденций в решении важных научно-технических задач является постоянное увеличение производительности вычислительных систем. В настоящее время производительность однопроцессорных компьютеров практически достигла предела, а возможности для дальнейшего развития ограничены. Большая часть сложных вычислительных задач выполняется на массовых микропроцессорах с низкой эффективностью.

Один из способов повышения производительности вычислительных систем заключается в параллелизации вычислительных процессов. Однако многопроцессорные системы, ориентированные на традиционные методы организации параллельных вычислений, состоящие из механически соединенных традиционных микропроцессоров, часто не достигают заявленной пиковой производительности из-за процедур межпроцессорного обмена и синхронизации последовательных процессов. Несоответствие между архитектурой вы-

числительной системы и информационной структурой задач является основной причиной неэффективности работы существующих суперкомпьютеров.

Это означает, что кластерные суперкомпьютеры показывают высокую производительность только при работе над "слабосвязанными" задачами, где нет необходимости в интенсивном обмене данными между процессорами. Однако, при выполнении "сильносвязанных" задач их реальная производительность не превышает 5-10 процентов от максимальной заявленной производительности. Увеличение количества процессорных узлов в системе часто не приводит к улучшению реальной производительности, а наоборот, может ухудшить её, так как организация параллельных вычислений занимает больше времени, чем их выполнение.

Для решения этой проблемы предлагается строить вычислительные системы с гибкой, динамически перестраиваемой (программируемой) архитектурой, которая может подстраиваться под информационную структуру конкретной задачи. В отличие от многопроцессорных систем с "жесткой" архитектурой, таких как кластерные суперЭВМ, архитектура реконфигурируемых систем может изменяться в процессе работы. Благодаря этому пользователь получает возможность настраивать архитектуру вычислительной системы под конкретную задачу, создавая таким образом специализированные многопроцессорные структуры в рамках универсальной среды. Проведенные исследования демонстрируют, что данная концепция обеспечивает высокую реальную производительность многопроцессорных систем, близкую к максимальной, на широком спектре задач, включая "сильносвязанные" задачи. Кроме того, производительность системы практически линейно растет с увеличением числа процессоров в ней.

**Цель бакалаврской работы** — исследование и анализ математической модели реконфигурируемой вычислительной системы (РВС).

Поставленная цель определила **следующие задачи**:

1. Изучение архитектуры реконфигурируемой вычислительной системы;
2. Изучение различных вариантов структур реконфигурируемой вычислительной системы;
3. Построение математической модели для каждой разновидности структуры реконфигурируемой вычислительной системы, используя результаты теории и методов анализа сетей массового обслуживания;

4. Разработка алгоритма метода анализа для каждой из моделей. Построение графиков зависимости основных стационарных характеристик от изменения входных параметров. Алгоритмы и графики реализованы в программах на языке Python;
5. Исследование полученных результатов.

**Методологические основы** исследования открытых и замкнутых сетей массового обслуживания представлены в работах А. А. Назаров, А. Ф. Терпугов [1], Л. Клейнрок [2], Ю. И. Митрофанов [3].

**Практическая значимость бакалаврской работы.** В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были разработаны алгоритмы метода анализа для открытых и замкнутых сетей, а также осуществлена программная реализация этих методов. Программа может работать с различными входными параметрами, например, можно изменять количество процессоров в каждой системе сети массового обслуживания для достижения оптимального результата.

**Структура и объем работы.** Бакалаврская работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников и 3 приложений с реализованным на языке Python методом анализа сетей массового обслуживания. Общий объем работы — 62 страницы, из них 46 страниц — основное содержание, включая 26 рисунков и 3 таблицы, список использованных источников информации — 20 наименований.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первый раздел «Понятие реконфигурируемых систем»** посвящен описанию понятия реконфигурируемой вычислительной системы и рассмотрению её особенностей. Реконфигурируемые вычислительные системы - это системы, которые имеют возможность менять свою модель вычислений для конкретной задачи, или, иначе говоря, позволяющие вносить существенные изменения в свою архитектуру при помощи программиста. В качестве элементной базы для РВС используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Используя ПЛИС как основу, возможно без привлечения больших затрат денежных средств создавать высокопроизводительные вычислительные системы с программируемой архитектурой.

ПЛИС – это микросхемы, которые представляют собой матрицу логических ячеек. Путем программирования и настройки связей между ячейками

можно создавать различные вычислительные устройства. Ячейки могут быть перенастраиваемыми, что позволяет пользователю многократно изменять их конфигурацию, т.е. пользователь может определять их внутреннюю структуру, подобно "полуфабрикату" для создания собственных устройств

В подразделе 1.1 приведено назначение реконфигурируемых вычислительных систем, а также реальные примеры их использования на практике. Например, РВС используются в бортовых системах, предназначенных для обработки сигналов в системе самонаведения, а также в устройствах для цифровой обработки радиолокационной информации.

Подраздел 1.2 посвящен описанию различных видов архитектур реконфигурируемых вычислительных систем. Под архитектурой электронно – вычислительной машины (ЭВМ) принято понимать совокупность общих принципов организации аппаратно–программных средств и основных их характеристик, определяющая функциональные возможности ЭВМ при решении определённых типов задач.

Классическая архитектура (архитектура фон Неймана) – это одно арифметико – логическое устройство (АЛУ), через которое проходит поток информации, а также одно устройство управления (УУ), через которое проходит поток команд – программа. К этому типу системы относятся и архитектура персонального компьютера с общей шиной. Это однопроцессорный компьютер. Все функциональные элементы здесь связаны между собой общей шиной, называемой также системной магистралью.

Многопроцессорная архитектура – архитектура компьютера, которая предусматривает наличие в компьютере нескольких процессоров, что позволяет параллельно обрабатывать несколько потоков данных и несколько потоков команд. Таким образом, параллельно выполняются несколько фрагментов одной задачи, что автоматически увеличивает производительность.

Многомашинная вычислительная архитектура – это архитектура с несколькими процессорами, входящими в ВС, которые имеют каждый свою (локальную) память, а не имеющие общую оперативную память. Каждый компьютер в многомашинной системе имеет классическую архитектуру (архитектура фон Неймана), и такая система применяется достаточно широко.

В зависимости от конкретной задачи, архитектура реконфигурируемой вычислительной системы может быть изменена программистом в любой мо-

мент для достижения нужного результата.

**Второй раздел «Математические модели реконфигурируемой вычислительной системы»** посвящен построению математических моделей РВС, их описанию, а также демонстрации их структурных схем.

В подразделе 2.1 описывается математическая модель реконфигурируемой вычислительной системы с одним процессором и единственной оперативной памятью в виде открытой экспоненциальной сети массового обслуживания с одним классом требований. Процессору и оперативной памяти мы ставим в соответствие системы массового обслуживания типа  $M/M/1$ .

Подраздел 2.2 посвящен построению математической модели РВС с несколькими процессорами и общей оперативной памятью в виде открытой экспоненциальной сети массового обслуживания с одним классом требований. Процессорам мы ставим в соответствие систему массового обслуживания типа  $M/M/k$ , а оперативной памяти систему  $M/M/1$ .

Подраздел 2.3 посвящен описанию математической модели РВС с несколькими процессорами и локальной оперативной памятью для каждого в виде открытой экспоненциальной сети массового обслуживания с одним классом требований. И процессорам, и оперативной памяти мы ставим в соответствие системы массового обслуживания типа  $M/M/k$ .

В подразделе 2.4 описывается математическая модель реконфигурируемой вычислительной системы с несколькими процессорами, личной очередью бесконечной вместимости для каждого и общей оперативной памятью в виде открытой экспоненциальной сети массового обслуживания с одним классом требований. У оперативной памяти, также как и у каждого отдельного процессора есть своя личная очередь бесконечной вместимости. Каждому процессору и оперативной памяти мы ставим в соответствие систему массового обслуживания типа  $M/M/1$ .

Подраздел 2.5 посвящен построению математической модели РВС с несколькими процессорами, личной очередью бесконечной вместимости для каждого и общей оперативной памятью в виде замкнутой экспоненциальной сети массового обслуживания с одним классом требований. Оперативная память, также как и каждый отдельный процессор имеет свою личную очередь бесконечной вместимости. Каждому процессору и оперативной памяти мы ставим в соответствие систему массового обслуживания типа  $M/M/1$ .

**Третий раздел «Алгоритмы и программная реализация моделей вычислительных систем»** посвящен описанию методов анализа сетей массового обслуживания, а также программная реализация по блокам.

В подразделе 3.1 описывается метод анализа и программная реализация открытой экспоненциальной сети массового обслуживания с одним классом требований.

В метод входят следующие шаги:

1. Ввод исходных параметров;
2. Решение системы уравнений;
3. Вычисление интенсивностей входящих потоков в системы;
4. Проверка существования стационарного режима;
5. Вычисление стационарных характеристик;
6. Вывод результатов и графиков зависимости.

В подразделе 3.2 представлен метод анализа и программная реализация замкнутой экспоненциальной сети массового обслуживания с одним классом требований.

В метод входят следующие шаги:

1. Ввод исходных параметров;
2. Решение системы уравнений;
3. Вычисление интенсивностей входящих потоков в системы;
4. Вычисление стационарных характеристик поочередно;
5. Вывод результатов и графиков зависимости.

**Четвертый раздел «Исследование некоторых математических моделей реконфигурируемых вычислительных систем»** посвящен вычислению стационарных характеристик систем массового обслуживания, построению графиков зависимости этих характеристик от некоторых входных параметров сети.

В подраздел 4.1 рассматривается модель системы с несколькими процессорами и локальной оперативной памятью для каждого, которая изображена на рисунке 1. Вычисляются стационарные характеристики каждой СМО в открытой сети, а также демонстрируются на графиках как от изменения интенсивности входящего потока меняется вероятность, что в системе нет требований, а также математическое ожидание числа требований в системах и математическое ожидание длительности пребывания требований в

очереди систем.

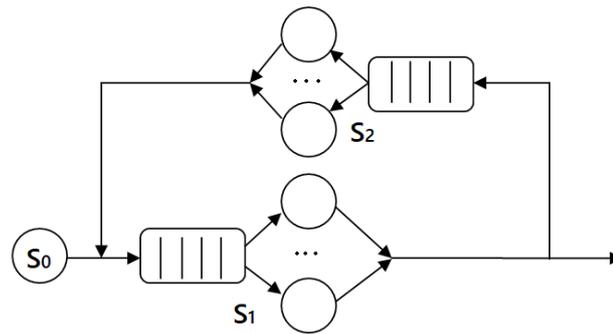


Рисунок 1 – Структурная схема заданной сети.

В подразделе 4.2 рассматривается модель системы с несколькими подсистемами "процессор-очередь" и общей оперативной памятью, которая изображена на рисунке 2. Вычисляются стационарные характеристики каждой СМО в открытой сети, а также демонстрируются на графиках как от изменения интенсивности обслуживания системы меняется математическое ожидание числа требований в этой системе, вероятность, что в системе нет требований, а также математическое ожидание длительности пребывания требований в очереди этой системы.

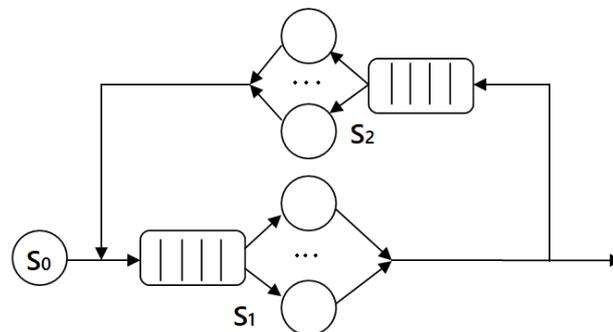


Рисунок 2 – Структурная схема заданной сети.

В подразделе 4.3 описана модель замкнутой системы с несколькими подсистемами "процессор-очередь" и общей оперативной памятью, которая изображена на рисунке 3. Вычисляются стационарные характеристики каждой СМО в замкнутой сети, а также демонстрируются на графиках как от изменения интенсивности обслуживания одной системы меняется математическое ожидание числа требований во всех системах, математическое ожидание длительности пребывания требований в системах, интенсивность входя-

щих потоков в системы, математическое ожидание длительности пребывания требований в очереди этой системы, а также математическое ожидание числа требований в очереди каждой системы.

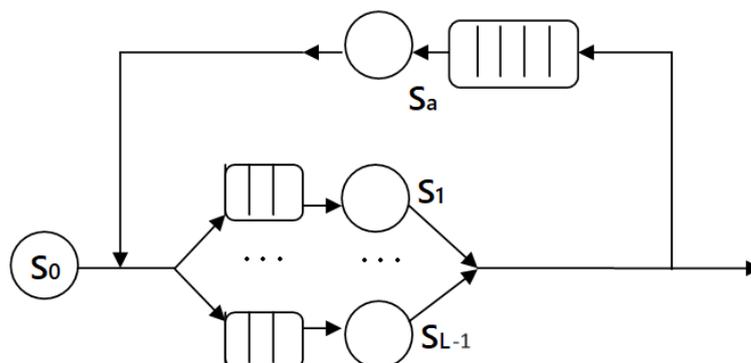


Рисунок 3 – Структурная схема заданной сети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлена архитектура реконфигурируемых вычислительных систем и программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) высокой степени интеграции. Были продемонстрированы различные варианты структур реконфигурируемой вычислительной системы, построены несколько разновидностей математических моделей реконфигурируемых вычислительных систем, такие как:

- открытая система с одним процессором и оперативной памятью;
- открытая система с несколькими процессорами и общей оперативной памятью;
- открытая система с несколькими процессорами и локальной оперативной памятью для каждого;
- открытая система с несколькими подсистемами "процессор–очередь" и общей оперативной памятью;
- замкнутая система с несколькими подсистемами "процессор–очередь" и общей оперативной памятью.

Также были разработаны алгоритмы для анализа сетей массового обслуживания, приведены примеры возможных сетей массового обслуживания, вычислены основные стационарные характеристики систем массового обслуживания.

С помощью программы на языке Python были исследованы зависимости стационарных характеристик от изменения различных параметров системы. Это демонстрировалось на графиках. Данные изменения характеристик изучены, по ним сделаны соответствующие выводы.

#### **Основные источники информации:**

1. Назаров, А. А. Теория массового обслуживания: учебное пособие./ А. А. Назаров, А. Ф. Терпугов.– Томск : Издательство «НЛТ», 2010.– 228 с.
2. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.– 432с.
3. Митрофанов, Ю. И. Анализ сетей массового обслуживания: Учеб.-метод. пособие. – Саратов: Издательство Научная книга, 2009.– 59 с.
4. Каляев, И. А. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры/ И. А. Каляев, И. И. Левин, Е. А. Семерников, В. И. Шмойлов.– Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2008.– 248с.
5. Каляев, А. В. Многопроцессорные вычислительные системы с программируемой архитектурой. – М.: Радио и Связь, 1984. – 240 с.
6. Левин, И. И. Высокопроизводительные модульно-наращиваемые многопроцессорные системы на основе реконфигурируемой элементной базы/ И. И. Левин, И. А. Каляев.– Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2007.– 61 с.
7. Рейбо, С. В. Архитектура вычислительных систем: Учебное пособие./ С. В. Рейбо, Т. Е. Новосёлова, Н. Н. Пронькин, И. Ф. Семёнычева .– Москва, 2019.– 8 с.
8. Вишневский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – Москва: Техносфера, 2003.– 512 с.