

Национальный исследовательский Томский государственный  
университет (ТГУ)

Кафедра оптико-электронных систем и дистанционного  
зондирования

# Распределенная децентрализованная вычислительная среда для решения задач научных исследований и конструкторско-технологических процессов

05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети  
(Технические науки)

**Петров Алексей Анатольевич**

Аспирант

Научный руководитель:

**Калайда Владимир Тимофеевич**

Профессор, доктор технических наук

# Актуальность

## Бизнес-ориентированные решения



Microsoft SharePoint



Microsoft Team Foundation



1С-Предприятие



SCADA системы

## Клиент-ориентированные решения



Apple iCloud



Dropbox



Microsoft OneDrive



Google Service

Майкл Н., Колин С. Microsoft SharePoint 2010. Полное руководство — М.: «Вильямс», 2011. — 800 с.

Boyer, Stuart A. SCADA Supervisory Control and Data Acquisition // USA: ISA - International Society of Automation. — 2010. — с. 179.

Бойко Э.В. 1С: Предприятие 8.0. Универсальный самоучитель. — М.: Омега-Л, 2010. — 227 с.

Archambault M. Battle of the cloud storage: OneDrive vs. iCloud vs. Dropbox vs. Google Drive // WinBeta News. — 2015.

Application Lifecycle Management with Visual Studio Team Foundation Server // Microsoft Developer Network. — 2013.

# Актуальность

**Примеры потребностей в интеграции и в повышении эффективности использования доступных вычислительных ресурсов:**

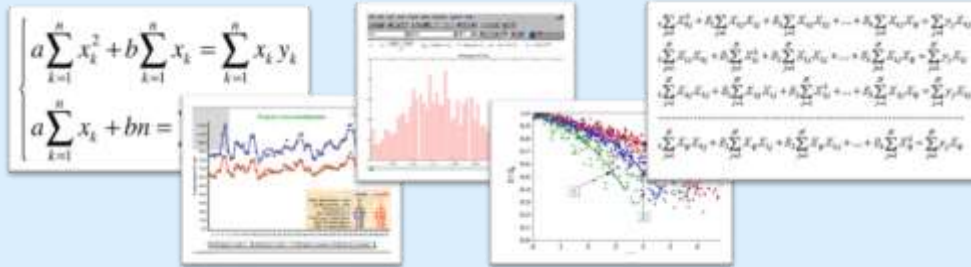
- научные вычисления, проводимые в научных лабораториях и комплексах, в том числе тематическая обработка экспериментальных данных
- имитационное моделирование различных систем
- обработка большого объема графической, видео и аудио информации в различных целях, в том числе в системах безопасности
- другие

*Шовенгердт, Р.А.* Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений [Текст] / Р.А. Шовенгердт. - М.: Техносфера, 2010. - 560 с.

*Строгалева, В. П.* Имитационное моделирование [Текст] / В.П. Строгалева, И.О. Толкачева - М.: МГТУ им. Баумана, 2008.

*Ерош, И.Л.* Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности: Учебное пособие / И.Л. Ерош, М.Б. Сергеев, Н.В. Соловьев - СПб.: ГУАП, 2006. - 153 с.

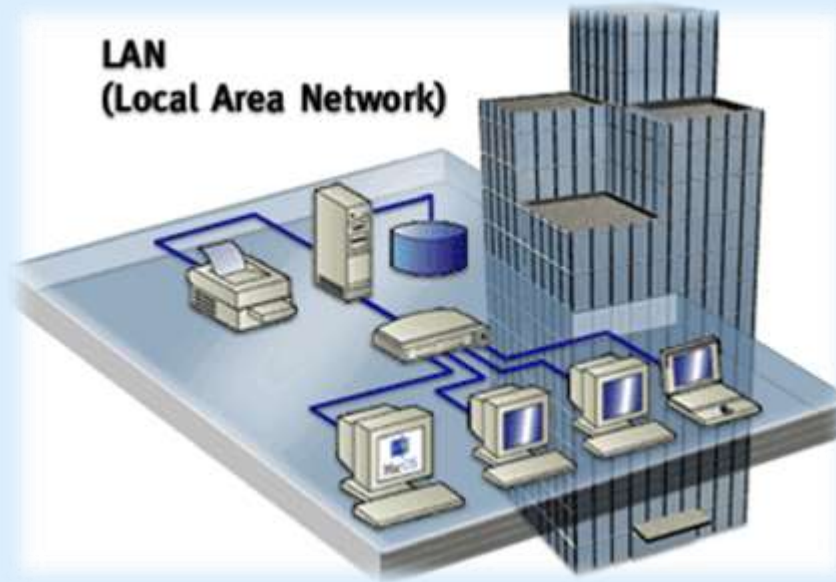
# Актуальность



*Galileiskii V.P., Elizarov A.I., Kokarev D.V., Morozov A.M.* Direction and movement angular velocity determining of cloudiness with panoramic images of the sky // Proc. SPIE 9292, 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 929212, 2014, doi:10.1117/12.2074811.

*Elizarov A.I., Nasonov S.V.* Determination of clouds motion characteristics in the atmosphere with LIDAR and digital cameras // Proc. SPIE 9292, 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 929210, 2014, doi:10.1117/12.2074721.

# Актуальность



- ✓ высокая скорость передачи данных
- ✓ высокая надежность передачи данных
- ✓ низкие задержки при передаче данных

# Актуальность

Повышение эффективности использования  
вычислительных ресурсов

←  
Параллельные  
вычисления

- + тщательно проработанные теоретические основы
- + параллельные алгоритмы
- + множество инструментов
- не все алгоритмы могут быть выполнены параллельно
- сложность проектирования программ

→  
Распределенные  
вычисления

- + одновременное решение многих задач
- + простота масштабирования
- + слабосвязность компонентов
- отсутствие хорошо проработанных децентрализованных архитектур
- малое количество существующих реализаций

# Актуальность

- сокеты Беркли;
- удаленный вызов процедур (RPC);
- CORBA;
- Базис;
- Java Platform Enterprise Edition (JavaEE);
- сервисная шина предприятия (ESB);
- Windows Communication Foundation (WCF).

*Таненбаум, Э.* Компьютерные сети - СПб.: Питер, 2003. - 4-е издание. - 992 с.

Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0 // OASIS Technical Committees. - 2006.

*Олифер, Н.А.* Сетевые операционные системы. - СПб.: Питер, 2009. - 2-е издание. - 672 с.

*Гупта, А.* Java EE 7. Основы. - М.: Вильямс, 2014. - 336 с.

WCF 4: Windows Communication Foundation и .NET 4 для профессионалов / П. Сибаро [и др.] - М.: Вильямс, 2011. - 464 с.

*Попов, С.* Весь мир как суперкомпьютер // Троицкий вариант - Наука. - Троицк: Тровант, 2012. - №16(110).

# Актуальность



«Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации» (7 июля 2011 года):

<...>

3. Информационно-телекоммуникационные системы

<...>

«Перечень критических технологий Российской Федерации» (7 июля 2011 года):

<...>

18. Технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем.

<...>

*Хорошевский В.Г.* Архитектура вычислительных систем. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 520 с.

*Jefferey K.* The future of cloud computing / K. Jefferey, B. Neidecker-Lutz // Cloud Computing Expert Group Report. – 2009.  
*R. Buyya, K. Bubendorfer.* Market-Oriented Grid and Utility Computing. – WILEY, 2009. – 643 с.



# Цели и задачи

**Цель работы:** повышение эффективности интеграции вычислительных ресурсов локальной сети, а также эффективности проектирования, создания и эксплуатации распределенных приложений путем создания модели методов распределения вычислительных задач по узлам сети и реализации платформы, объединяющей локальные вычислительные ресурсы в единую вычислительную среду.

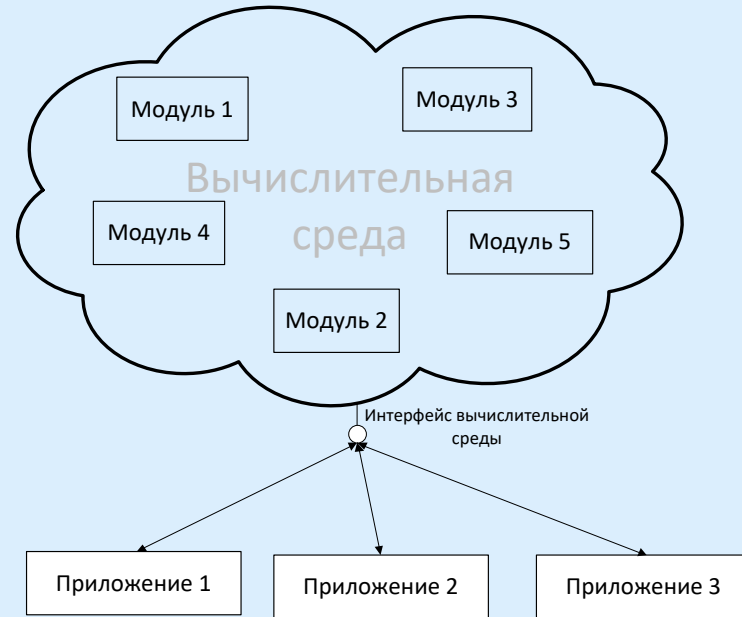
## **Задачи:**

- определение набора требований к платформе по эффективной интеграции вычислительных ресурсов;
- функциональное проектирование модели платформы;
- структурное проектирование модели платформы;
- разработка моделей методов распределения задач по узлам сети;
- оценка эффективности моделей методов распределения задач по узлам сети путем численного моделирования;
- проектирование взаимодействия элементов платформы;
- реализация прототипа платформы;
- исследование прототипа платформы для оценки эффективности распределения.

# Требования к программному комплексу организации распределенных вычислений

- программный комплекс должен быть ориентирован на минимизацию времени выполнения пользовательских вычислительных задач;
- модель программного комплекса должна быть универсальной, и не должна накладывать никаких требований на вид вычислительных задач пользователя;
- программный комплекс должен быть ориентирован на функционирование в локальных сетях с относительно высокой скоростью и надежностью передачи данных;
- программный комплекс не должен требовать использования дополнительного дорогостоящего оборудования и должна работать в уже существующей сети;
- модель программного комплекса должна поддерживать механизм автоматической настройки и механизм автоматической поддержки системы в активном состоянии без вмешательства человека;
- программный комплекс должен содержать механизм защиты от вторжения извне в виде алгоритма шифрации пересылаемых сообщений и хранимых данных;

# Концепция единой вычислительной среды



- объединение всех вычислительных ресурсов в единую среду;
- единый интерфейс для доступа к вычислительным ресурсам;
- автоматическое планирование вычислительного процесса;
- автоматическое распределение задач по узлам сети;
- значительное упрощение разработки.

# Защищаемое положение 1

## **На защиту выносятся:**

Программная платформа распределенной обработки информации, реализующая единую вычислительную среду, отличающаяся тем, что с целью повышения надежности и оперативности развертывания, использовано децентрализованное управление, обеспечивающая увеличение скорости решения задач в  $\approx 3$  раза при сравнении с однопоточными реализациями и на  $\approx 30\%$  при сравнении с многопоточными реализациями.

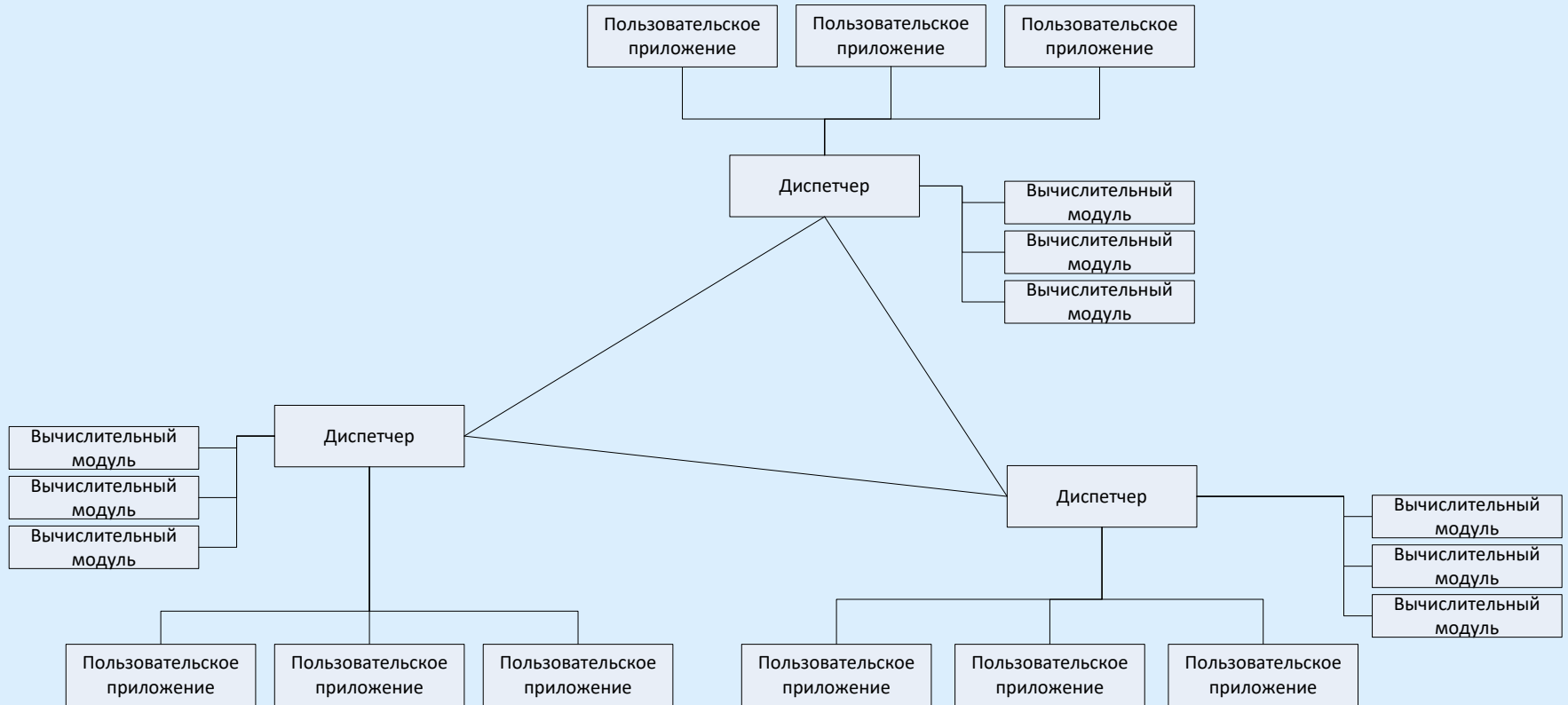


# Функциональное проектирование

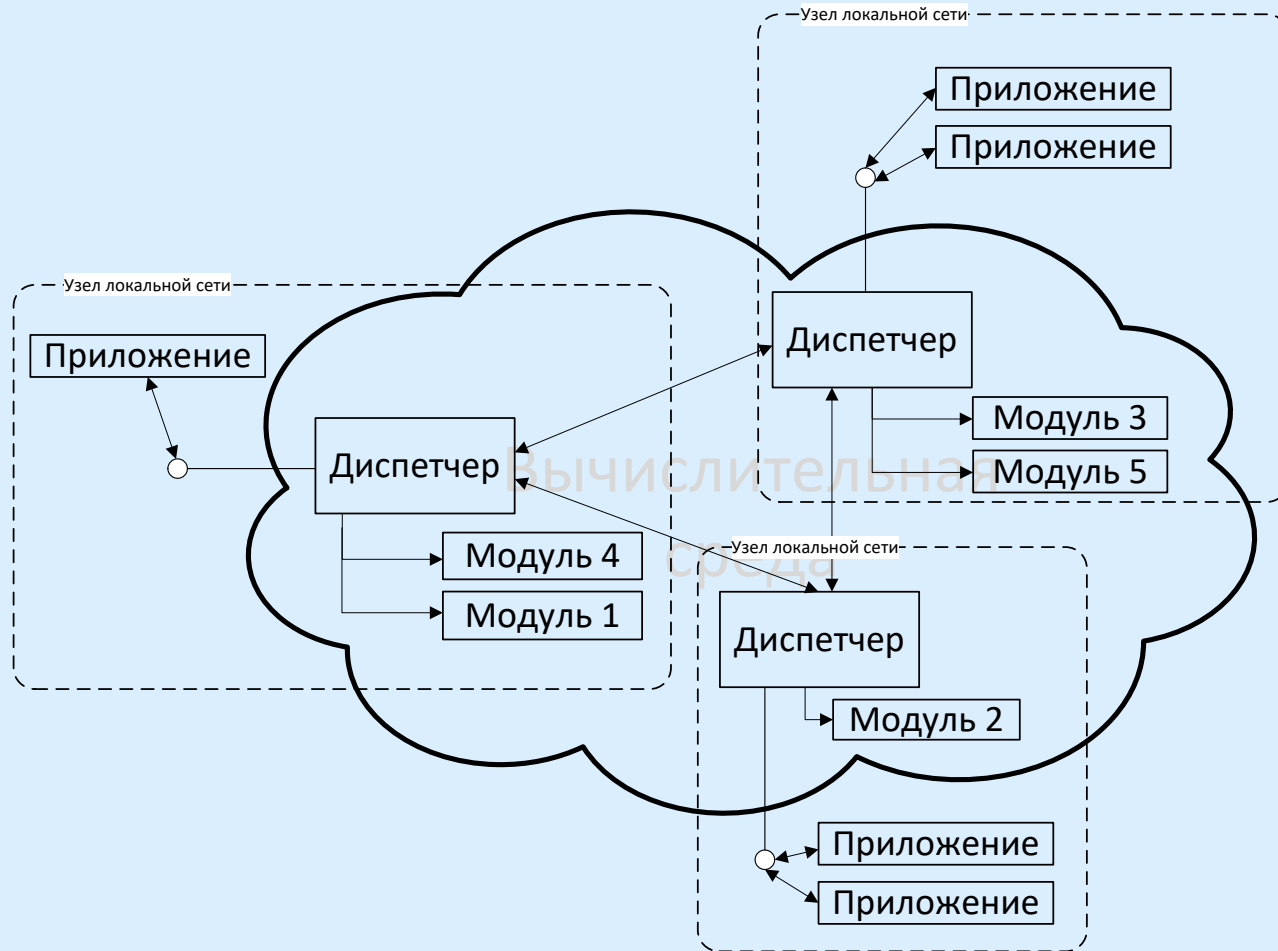
Функции, выявленные при дальнейшей детализации:

- сериализация/десериализация входных параметров задачи;
- шифрование/расшифрование входных параметров задачи;
- сериализация/десериализация результатов выполнения задачи;
- шифрование/расшифрование результатов выполнения задачи;
- помещение вычислительной задачи в очередь задач;
- определение узла для выполнения задачи;
- отправка задачи на выбранный узел и возврат результата выполнения задачи с выбранного узла;
- непосредственное выполнение задачи вычислительным модулем.
- организация хранилища модулей;
- добавление модулей в хранилище;
- удаление модулей из хранилища.

# Структурное проектирование



# Структурное проектирование





# Структурное проектирование



# Распределение задач по узлам сети

## Алгоритм детерминированного распределения задач

Полный сбор всех данных о текущей загрузке узла при поступлении новой вычислительной задачи

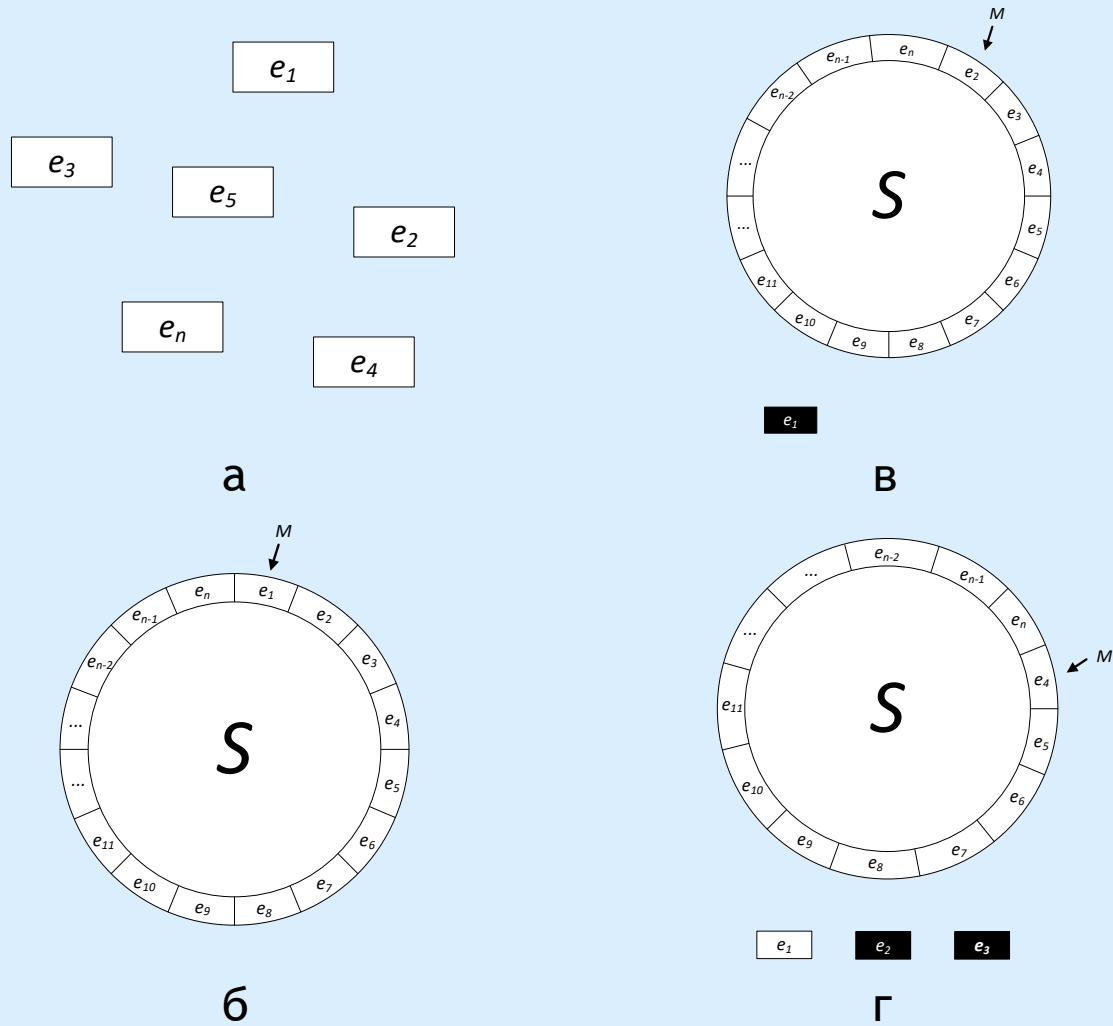
## Алгоритм случайного распределения задач

Отправка вычислительной задачи на случайный узел

## Алгоритм пульсирующего кольца

## Адаптивно-оптимальный алгоритм

# Адаптивно-оптимальный алгоритм



# Адаптивно-оптимальный алгоритм

$$S = (E_1 \parallel \dots \parallel E_i \parallel M \parallel P \parallel A), \quad i = \{1, \dots, n\}$$

$$M = (z \rightarrow (m_i \rightarrow M))$$

$$P = (z_e^i \rightarrow (n_i \rightarrow P))$$

$$A = \left( n_j \rightarrow \left( z \rightarrow \left( ein_i^j \rightarrow (m_1 \rightarrow A) \right) \right) \right) \text{уд } (j > 0 \text{ AND } \#ein_i < \#eout_i)$$

$$E_i = (m_i \rightarrow (z \rightarrow (eout_i \rightarrow E_i)))$$

$E_i$  - процесс  $i$ -той ячейки. Входные события:  $m_i, z$ . Выходные события:  $eout_i$ .

$P$  - процесс счетчика свободных ячеек вне кольца. Входные события:  $z_e^i$ . Выходные события:  $n_i$ .

$A$  - процесс реконфигурации кольца. Входные события:  $n_j, z$ . Выходные события:  $ein_i^j, m_1$ .

$M$  - процесс маркера. Входные события:  $z$ . Выходные события:  $m_i$ .

$ein_i$  -  $i$ -тая ячейка вошла в кольцо;

$eout_i$  -  $i$ -тая ячейка вышла из кольца;

$z$  - поступление вычислительной задачи;

$z_b$  - начало обработки вычислительной задачи;

$z_e$  - конец обработки вычислительной задачи;

$n_i$  - вне кольца находится  $i$  свободных ячеек;

$m_i$  - маркер указывает на ячейку  $i$ .

## Защищаемое положение 2

**На защиту выносятся:**

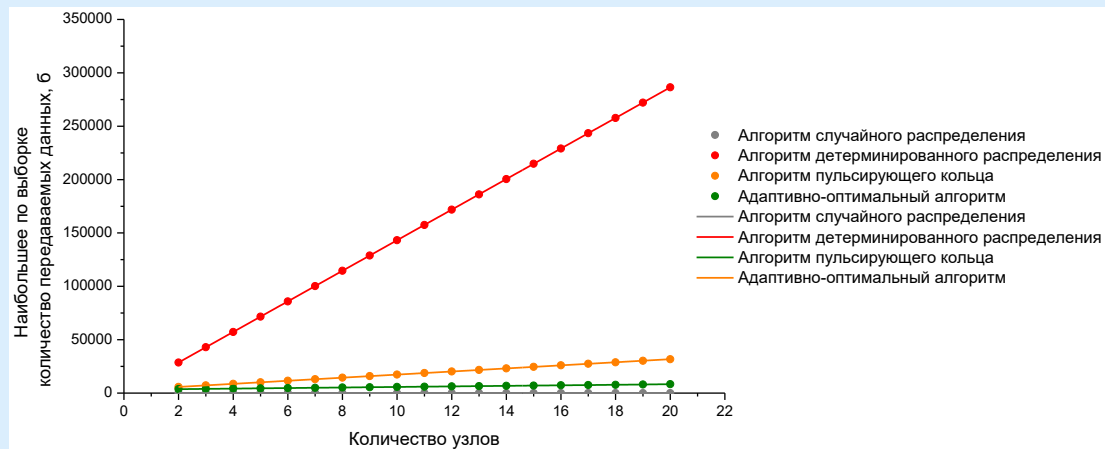
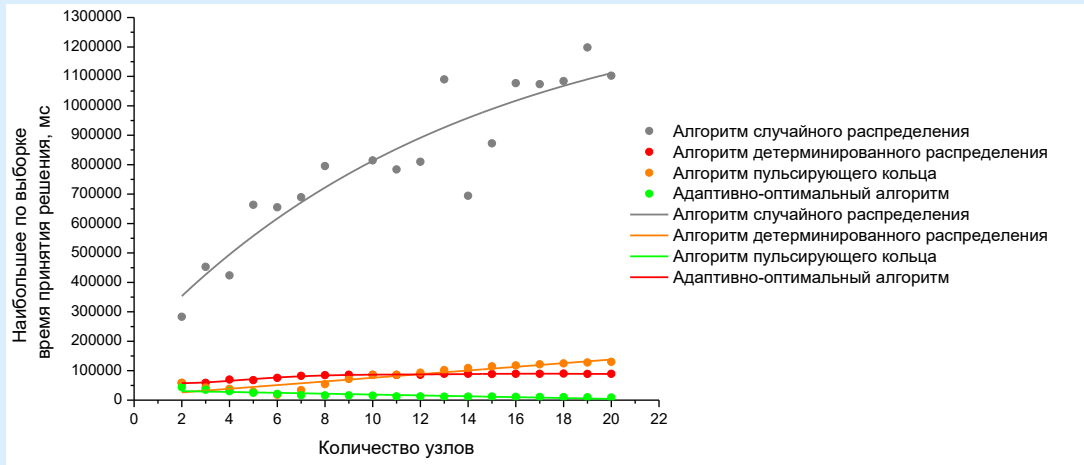
Математическая модель адаптивного гибридного (случайный/детерминированный) метода распределения задач по узлам сети, обеспечивающего сокращение временных затрат на инициализацию вычисления задачи (ожидание и распределение) в  $\approx 2-3$  раза.

# Имитационное моделирование алгоритмов распределения задач

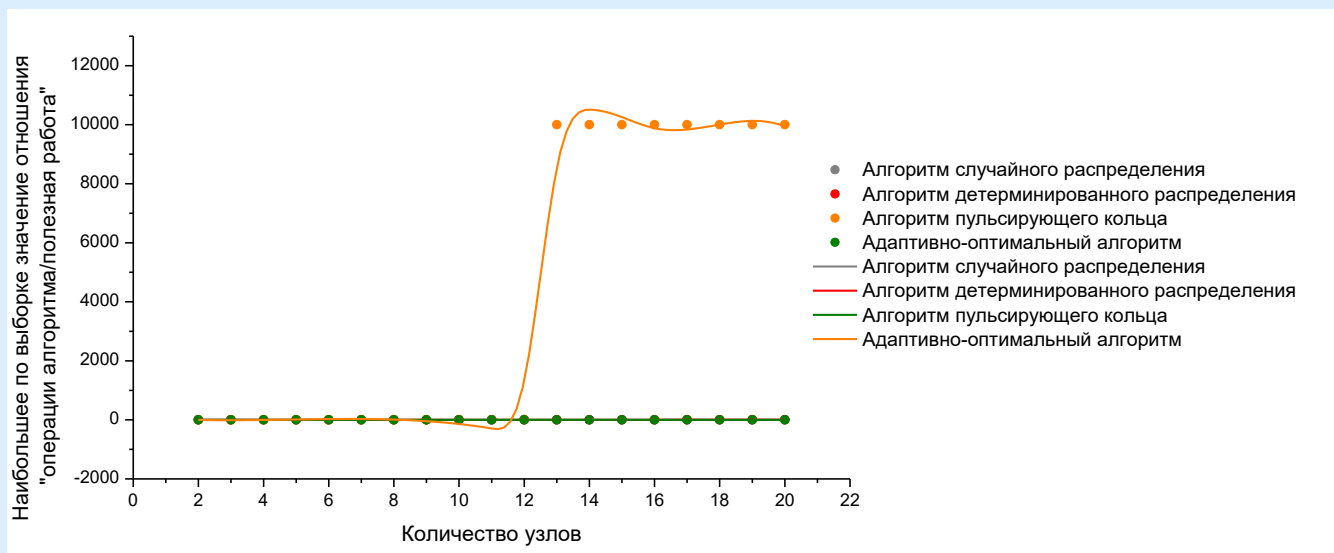
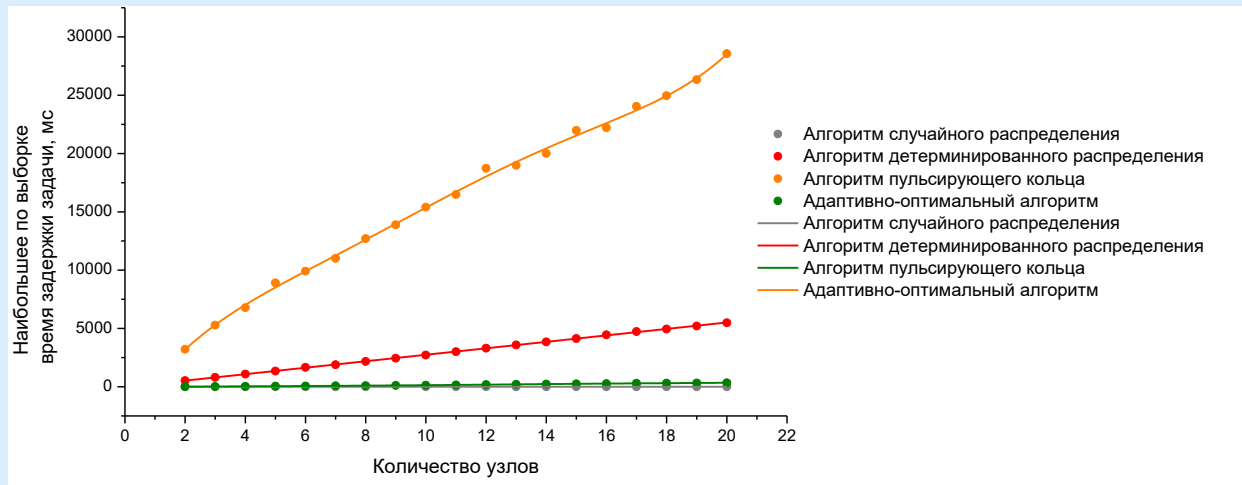
Оцениваемые параметры:

1. *Среднее время ожидания*  
Временной интервал, в течение которого производится поиск узла для выполнения вычислительной задачи и время ожидания освобождения выбранного узла.
2. *Средняя задержка вычислительных задач*  
Временной интервал, в течение которого выполнение активных вычислительных задач прерывается для выполнения операций, связанных с распределением задач по узлам.
3. *Количество передаваемых данных*  
Количество передаваемых данных, связанных с распределением задач по узлам
4. *Отношение «операции алгоритма/полезная работа»*  
Отношение количества времени, потраченного узлом на операции алгоритма, к количеству времени, потраченного узлом на непосредственное выполнение вычислительных задач.

# Имитационное моделирование алгоритмов распределения задач



# Имитационное моделирование алгоритмов распределения задач





# Имитационное моделирование алгоритмов распределения задач

Результаты моделирования:

1. Алгоритм случайного распределения имеет большее время ожидания во всех режимах работы.
2. Алгоритм случайного распределения не создает дополнительную нагрузку на узлы и сеть, так как работа по принятию решения и передача данных, связанных с ним, при его использовании отсутствуют.
3. Алгоритм детерминированного распределения имеет наибольшие значения времени ожидания, количества передаваемых данных и задержек среди трех неслучайных алгоритмов.
4. Алгоритм пульсирующего кольца занимает промежуточное место среди неслучайных алгоритмов по исследуемым характеристикам, но создает большую нагрузку на узлы.
5. Адаптивно-оптимальный алгоритм имеет самые низкие и самые устойчивые к увеличению количества узлов значения исследуемых характеристик среди исследуемых алгоритмов.

# Защищаемое положение 3

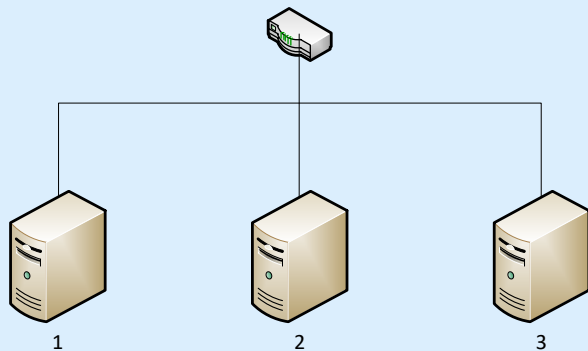
**На защиту выносятся:**

Численный метод оценки параметров модели распределения вычислительных задач по узлам сети, основанный на методе моделирования дискретных событий и переходов состояний, позволяющий оценить среднее время ожидания вычислительных задач, среднюю задержку вычислительных задач, количество передаваемых данных и отношение «операции алгоритма/полезная работа».

# Исследование прототипа платформы



Программа создания единой вычислительной среды в локальной сети: DistributedSystem



Наименование	Характеристики	Значение
Узел 1	Процессор	Intel(R) Core(TM) i5-2500K CPU @ 3.30GHz (4 ядра)
	Объем оперативной памяти	4.00Гб
	ОС	MS Windows 7 x64
Узел 2	Процессор	Intel(R) Core(TM) i5-2500K CPU @ 3.30GHz (4 ядра)
	Объем оперативной памяти	4.00Гб
	ОС	MS Windows 7 x32
Узел 3	Процессор	Intel(R) Core(TM) i5-2500K CPU @ 3.30GHz (4 ядра)
	Объем оперативной памяти	4.00Гб
	ОС	MS Windows 7 x32

Тестовые алгоритмы:

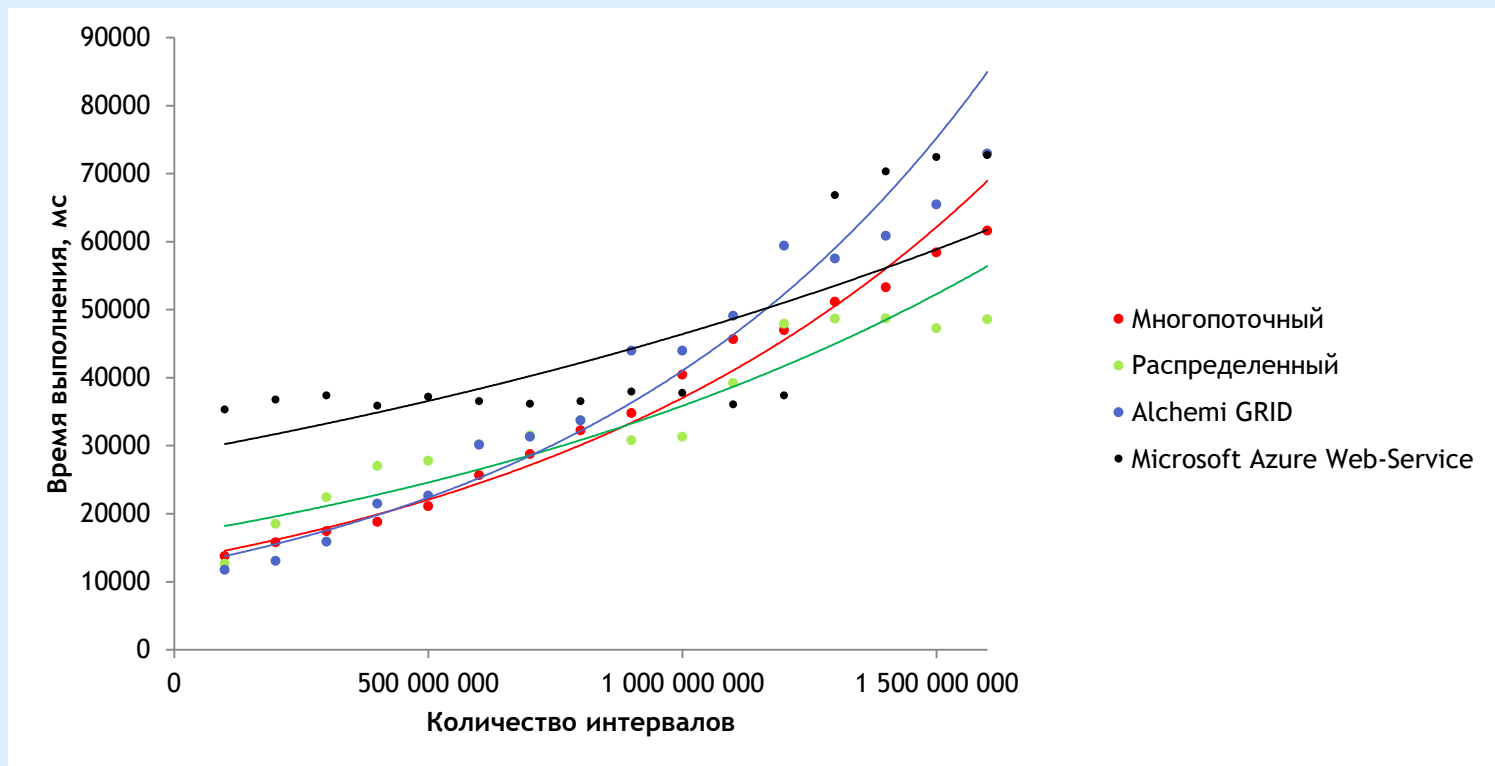
- численное интегрирование методом прямоугольников;
- определение площади фигуры методом Монте-Карло;
- применение медианного фильтра к растровому изображению.

Варианты реализации:

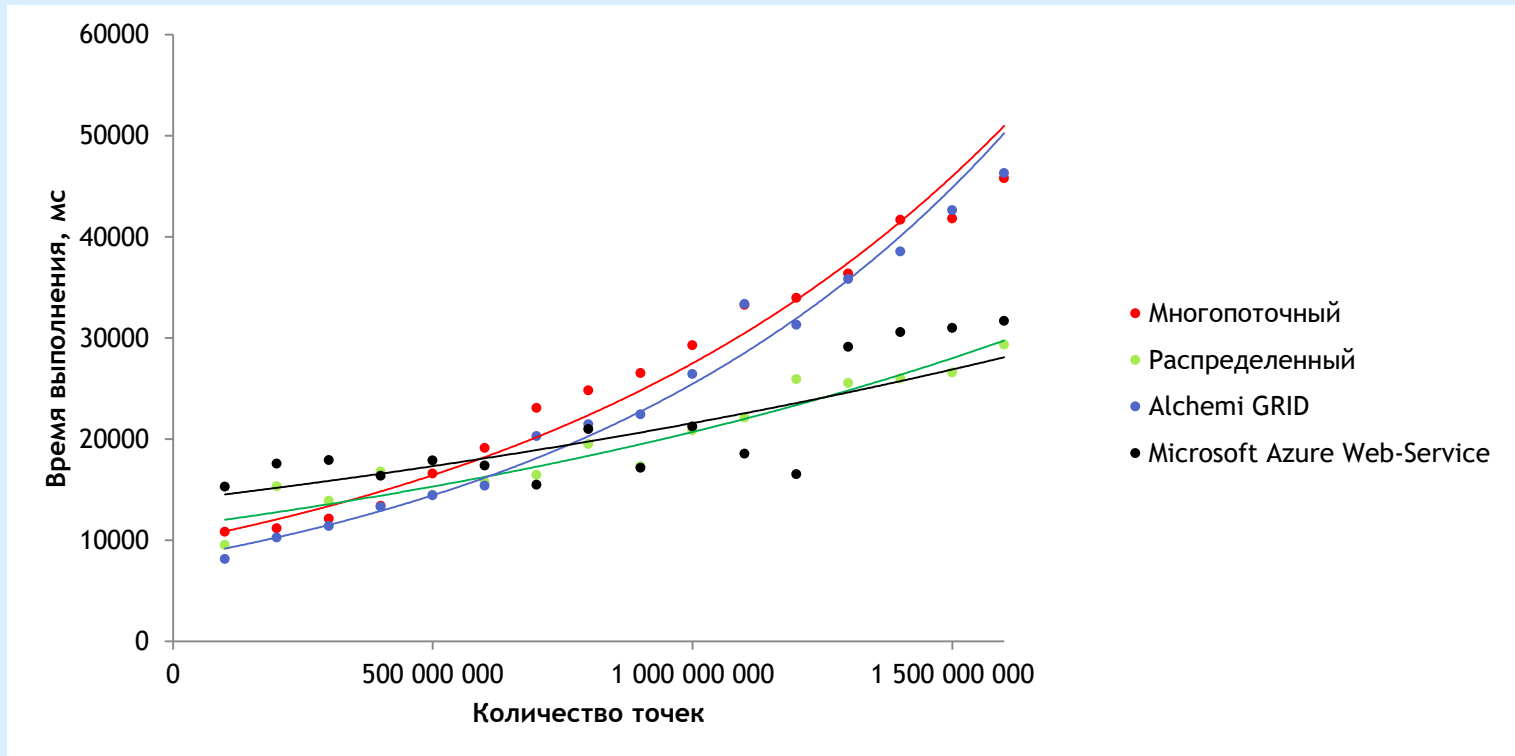
- распределенный вариант (DistributedSystem)
- многопоточный вариант (параллельные вычисления)
- Alchemi (GRID)
- Microsoft Azure (облачные вычисления)

# Численное интегрирование методом прямоугольников

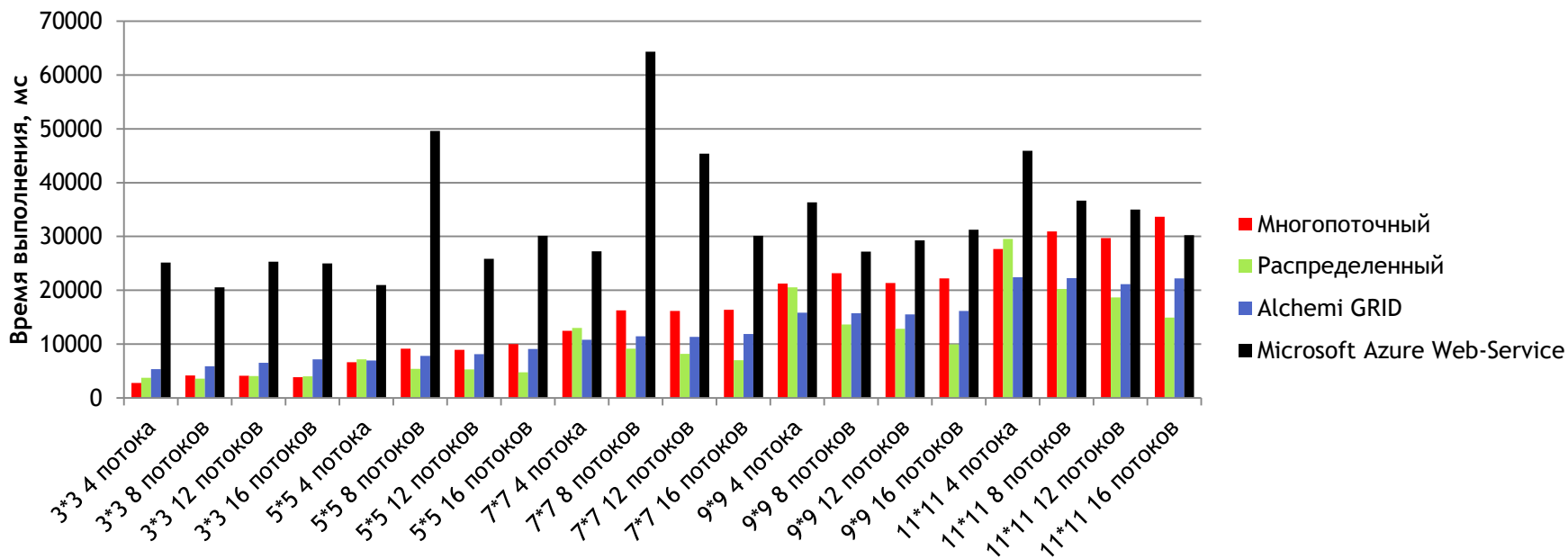
$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{b-a}{n} \sum_{i=1}^n f\left(x_i - \frac{b-a}{2n}\right)$$



# Определение площади фигуры методом Монте-Карло



# Применение медианного фильтра к растровому изображению



# Результаты тестирования прототипа

1. Платформа единой вычислительной среды позволяет достичь существенных уменьшений временных затрат (до 40% в сравнении с многопоточным приложением) в случае, когда вычислительный алгоритм обладает малым количеством входных и выходных данных в комбинации с большим количеством операций числовой обработки.
2. По сравнению с GRID-технологией и технологией облачных вычислений платформа обладает рядом преимуществ, таких как децентрализованность, малое время передачи данных и малая скорость роста времени выполнения при увеличении количества вычислений.
3. Основным сдерживающим фактором в работе платформы является несовершенство протоколов нижнего уровня передачи данных в локальной сети, что приводит к трудностям применения платформы для алгоритмов с большим размером входных и выходных данных.

# Научная новизна работы

1. Разработаны адаптивные гибридные алгоритмы распределения вычислительных задач по узлам сети, реализующие в зависимости от нагрузки случайный или детерминированный метод доступа и обеспечивающие значительное увеличение скорости решения вычислительных задач.
2. Разработан численный метод оценки параметров модели распределения вычислительных задач по узлам сети, основанный на методе моделирования дискретных событий и переходов состояний, позволяющий оценить среднее время ожидания вычислительных задач, среднюю задержку вычислительных задач, количество передаваемых данных и отношение «операции алгоритма/полезная работа».
3. Разработана программная платформа распределенных вычислений, реализующая принцип единой вычислительной среды с децентрализованным управлением, объединяющая вычислительные ресурсы локальной сети в единую среду и обеспечивающая существенное повышение степени использования доступных вычислительных ресурсов сети.



# Теоретическая и практическая значимость

1. Разработанная модель и программное обеспечение платформы по объединению вычислительных ресурсов локальной сети в единую вычислительную среду послужили основой для создания программного комплекса «DistributedSystem» - универсальной платформы для организации научных вычислений и решений широкого круга вычислительных задач.
2. Разработанные в диссертации гибридные алгоритмы распределения задач по узлам сети, сочетающие в себе алгоритмы случайного распределения задач и детерминированного распределения задач в зависимости от нагрузки могут быть использованы при реализации распределенных приложений различного масштаба.
3. Разработанная в диссертации модель платформы использована в проведении в научно-исследовательской работы «Разработка технологий активного и пассивного зондирования атмосферы земли в оптическом и радио диапазонах для создания распределенной информационно-вычислительной системы комплексной обработки, передачи и использования экспериментальных данных», проведенной на кафедре оптико-электронного систем и дистанционного зондирования Томского Государственного Университета (ТГУ) (шифр работы «2013-1.5-14-515-0036-109»).
4. Программно-техническая система создания единой вычислительной среды «DistributedSystem», созданная в рамках диссертационного исследования, используется в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН) для решения вычислительных задач атмосферной оптики.
5. Теоретические результаты исследования используются в учебном процессе на факультете автоматизированных систем Томского Государственного Университета Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР) в рамках группового проектного обучения (ГПО).

# Результаты работы

- 7 выступлений на конференциях международного уровня
- 14 научных работ
- 7 статей из перечня ВАК
- 2 статьи, входящих в систему Web Of Science
- свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

**Спасибо за внимание**