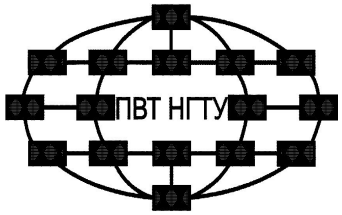
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Выпускная квалификационная работа

Разработка библиотеки для реализации реагирования MPI-программ на изменения в доступности вычислительных ресурсов

Работу выполнила: А. А. Нестёркина
Научный руководитель: В. П. Маркова, к.т.н., доцент

Мультикомпьютеры

Мультипроцессор – параллельный компьютер, в котором все процессоры совместно используют общую физическую память;

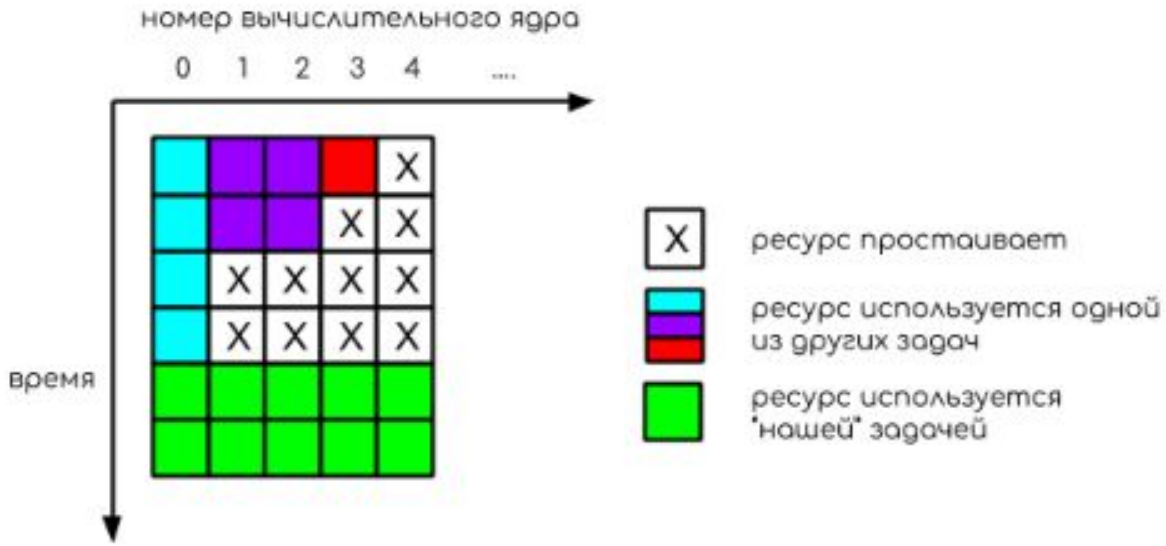
Мультикомпьютер – вычислительная система, состоящая из объедённых в сеть мультипроцессоров. Мультипроцессор в данном случае называют вычислительным узлом.

Процессы

MPI-программы – программы, которые запускают несколько взаимодействующих между собой копий одного кода и соответветствуют стандарту MPI. Исполняющиеся копии называют процессами.

Актуальность работы

Очередь системы управления прохождением задач (СУПЗ) в высокопроизводительных вычислительных системах (ВВС):



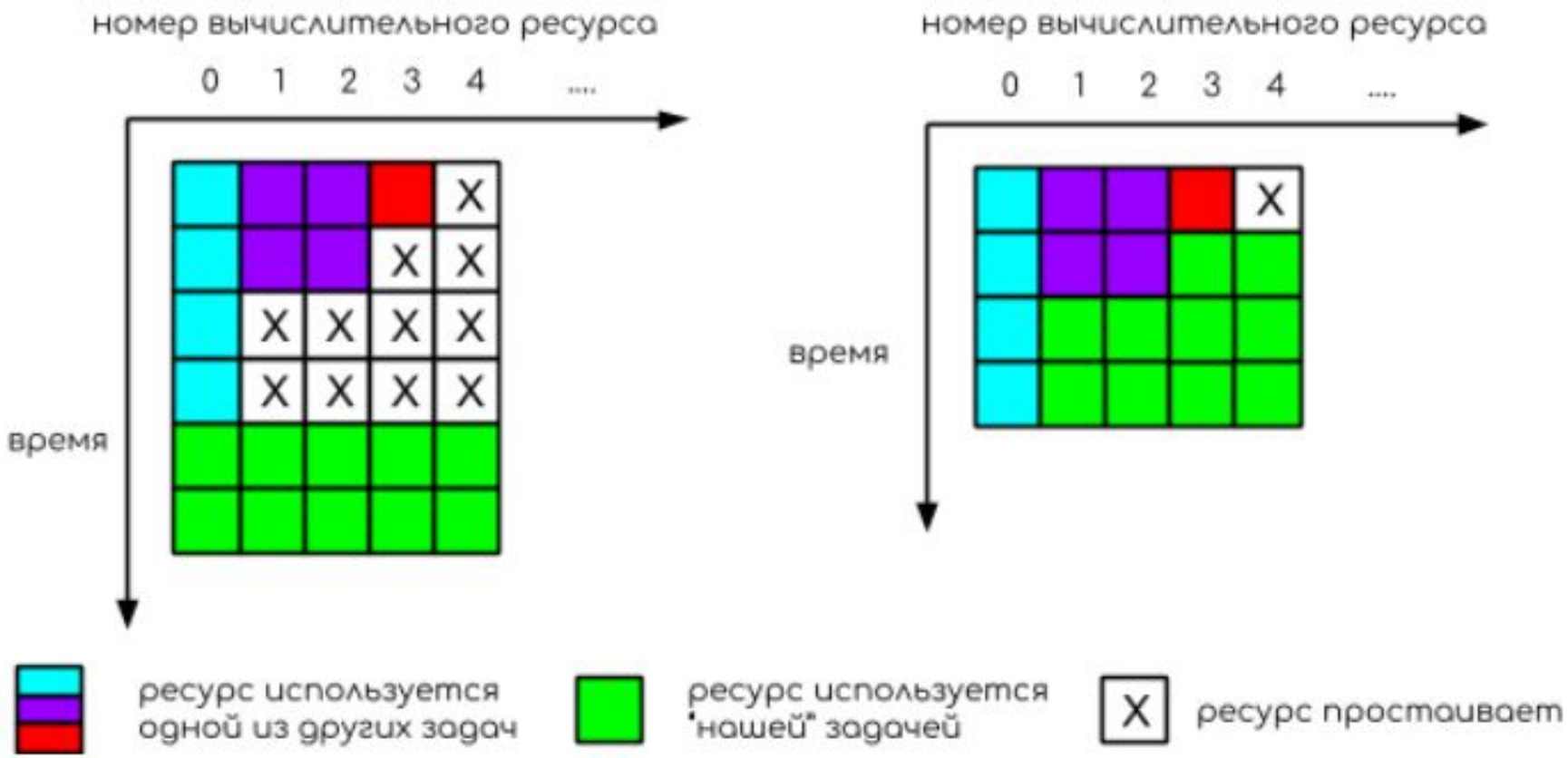
Актуальность работы

- уменьшение простоев оборудования высокопроизводительных вычислительных систем (ВВС)
- сокращение времени ожидания результатов выполнения пользовательских прикладных программ

Подходы к решению проблем простоев

- **оптимизация времени ожидания** запуска пользовательской программы со стороны СУПЗ сводится к решению задачи упаковки рюкзака
- **оптимизация времени выполнения**
  - запрос большего числа ресурсов
  - применение различных оптимизационных алгоритмов
  - планирование взаимного расположения процессов
  - балансировка нагрузки между вычислительными ресурсами

Поэтапный набор ресурсов приложением



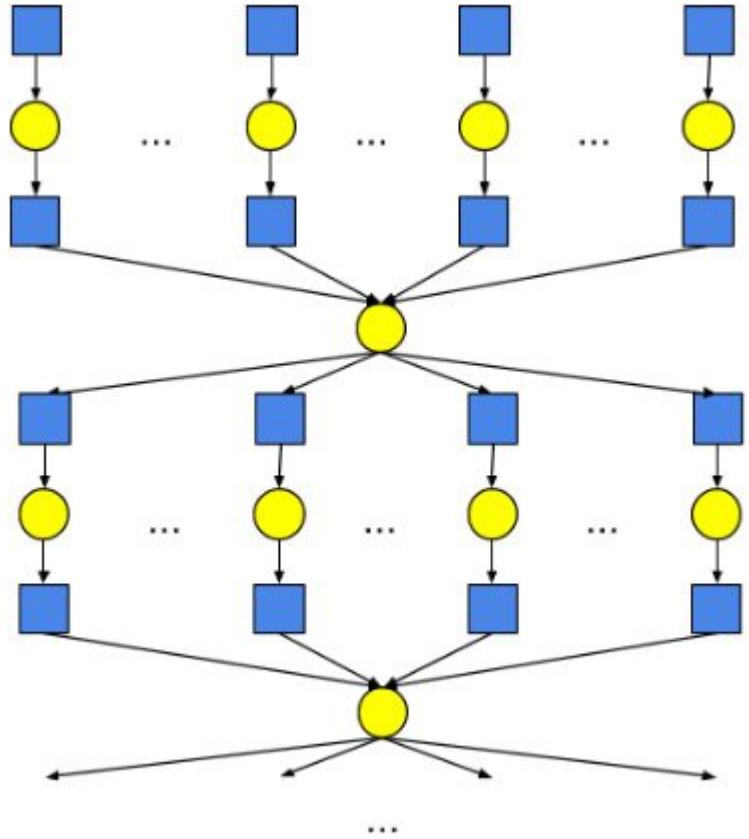
Цель работы

- исследовать проблемы минимизации ожидания запуска программы за счёт поэтапного набора ресурсов
- разработать модель организации приложений, которая обеспечит возможность брать ресурсы по частям и распределять вычисления динамически между этими частями
- поддержать разработку приложений в рамках этой модели инструментальными средствами

Задачи

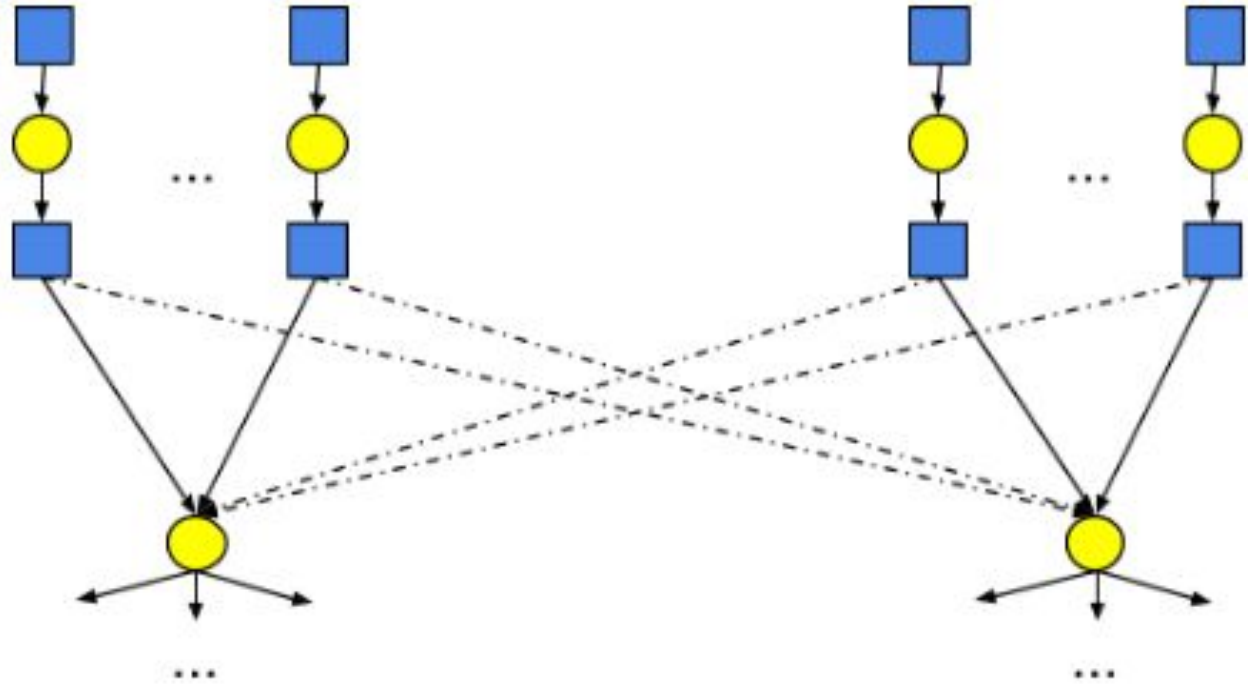
- Разработка
  - модели построения приложений, предполагающей поэтапный набор вычислительных ресурсов
  - модуля библиотеки, отвечающего за управление динамическим набором вычислительных ресурсов для приложения
  - модуля библиотеки, отвечающего за балансировку вычислительной нагрузки между вычислительными ресурсами, доступными приложению
- Исследование прототипа библиотеки на модельных задачах

Модель приложения



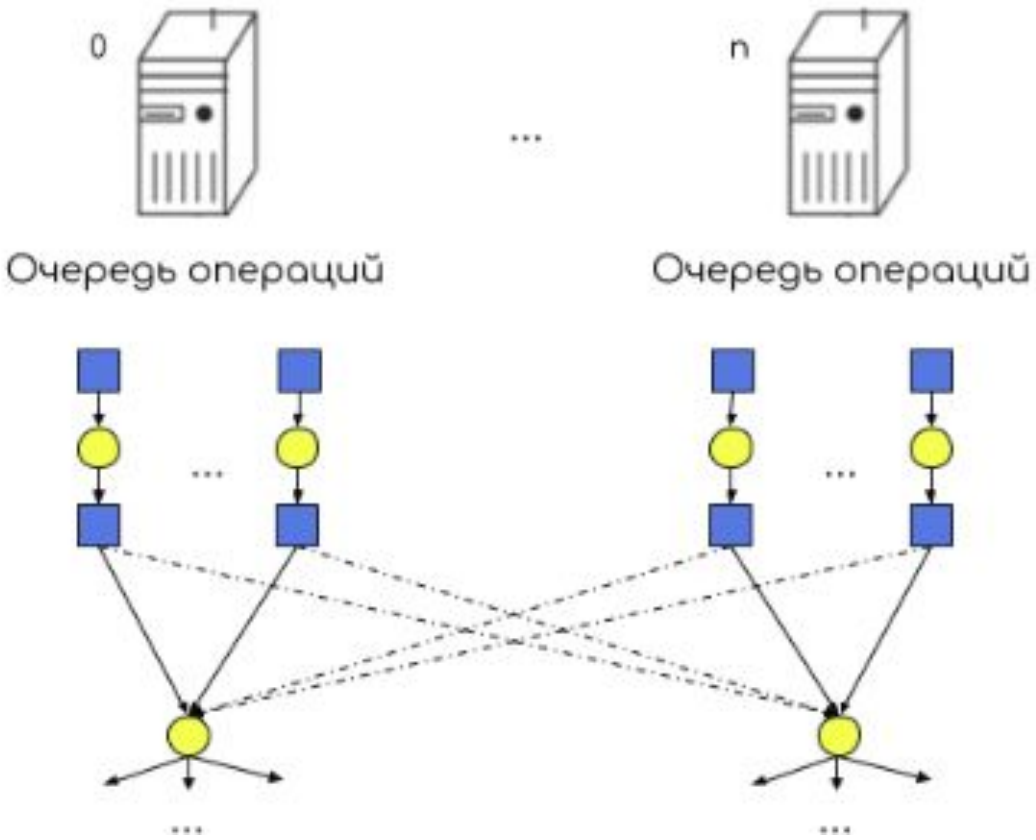
- Переменная - Операция

Модель приложения

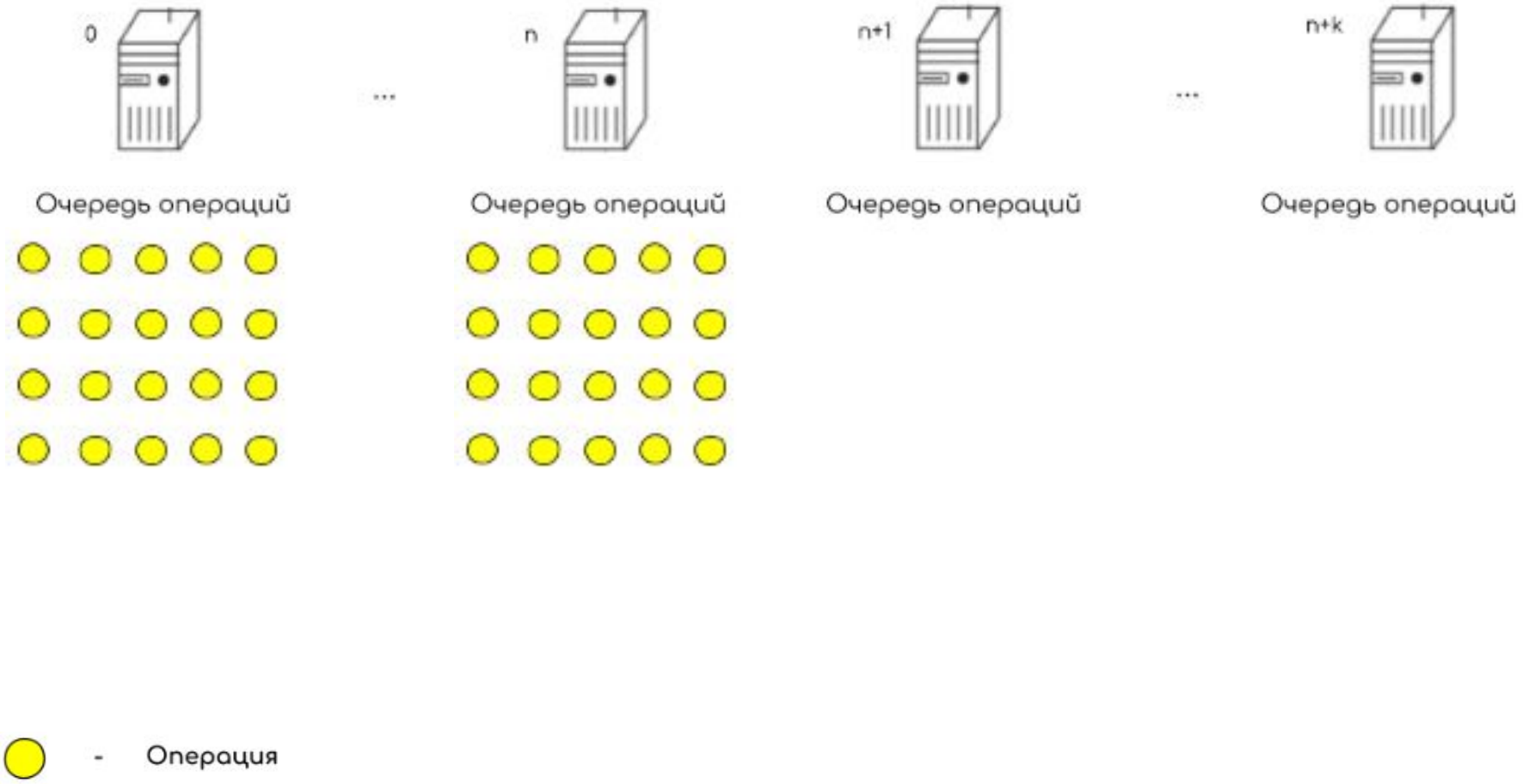


- Переменная - Операция

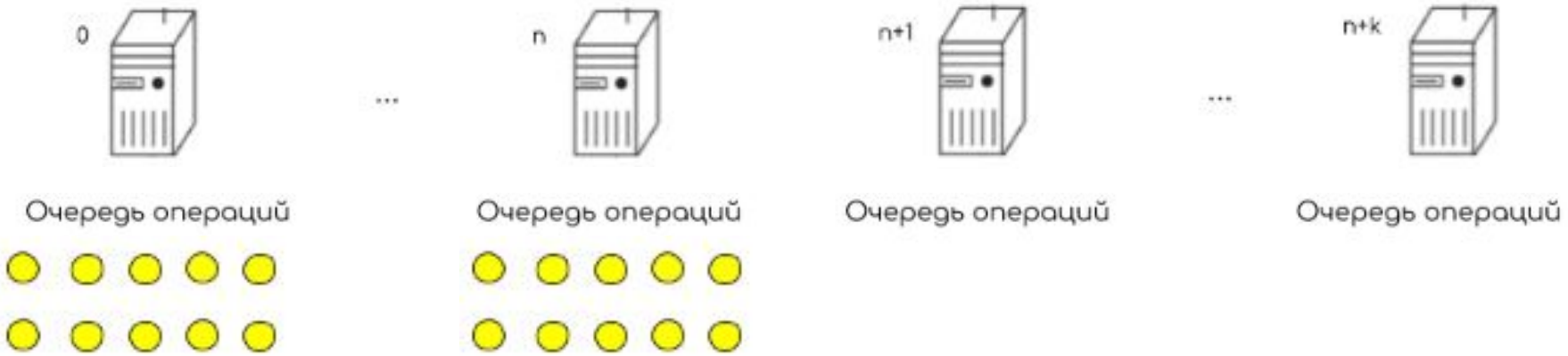
Модель приложения



Модель приложения

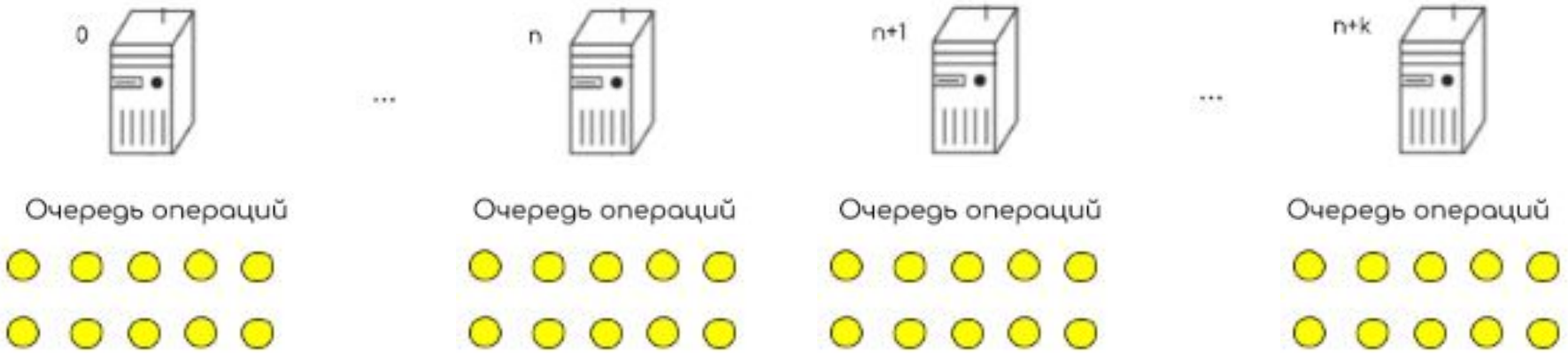


Модель приложения



- Операция

Модель приложения



- Операция

Модель приложения

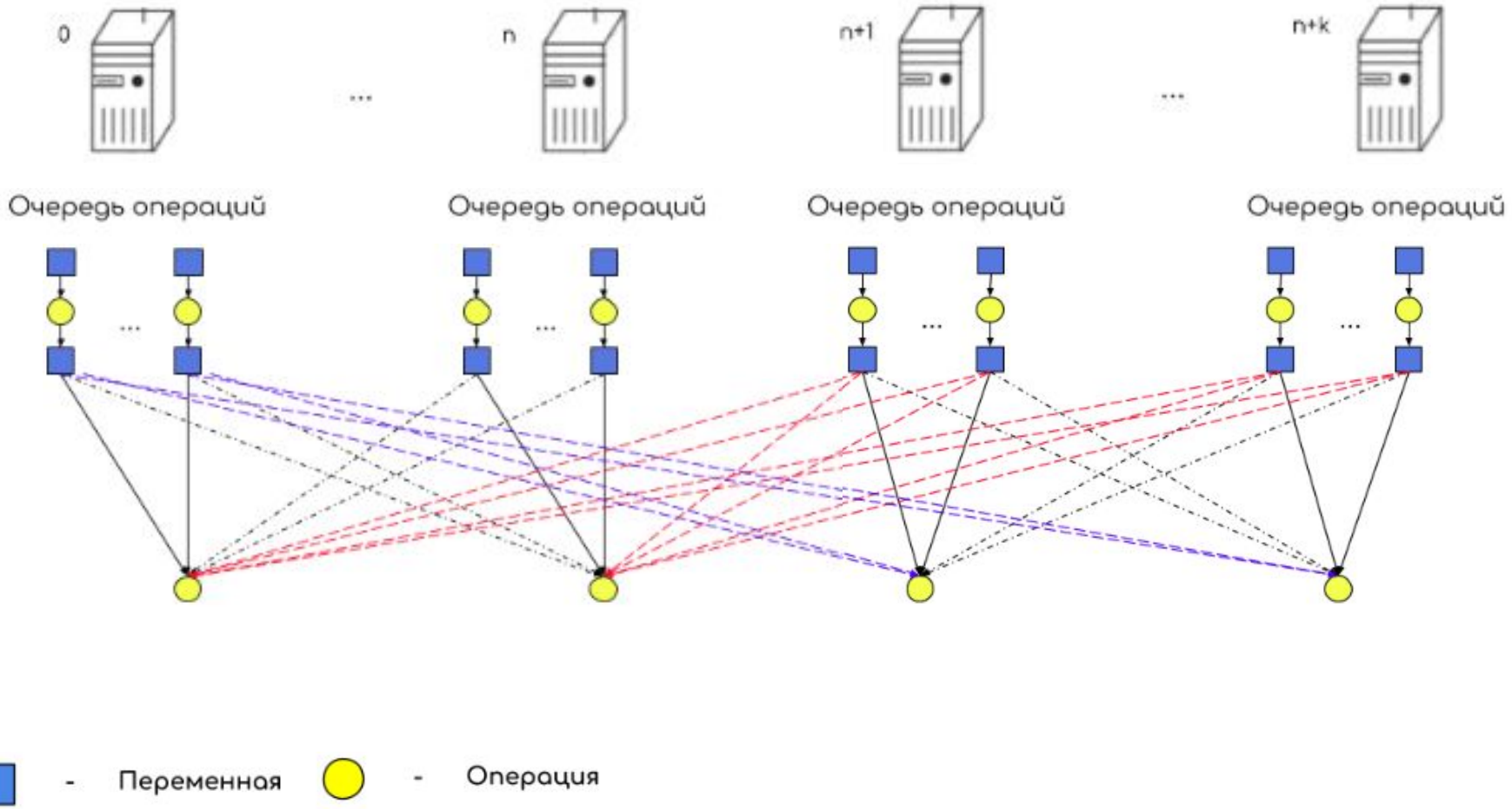


Таблица маршрутизации

Хранит расположение каждой операции в ходе вычислительного процесса

Номер операции	0	1	…	n
Место расположения (процесс)	0	0	…	2

Фреймворк

Для использования предложенной модели пользователю необходимо

- представить свою задачу в виде множества операций и распределить их по очередям первоначально запущенных процессов;
- задать первоначальное состояние таблицы маршрутизации;
- задать необходимые пересылки данных между зависимыми между собой операциями, расположение которых определено в понятии “таблица маршрутизации”;

Фреймворк (продолжение)

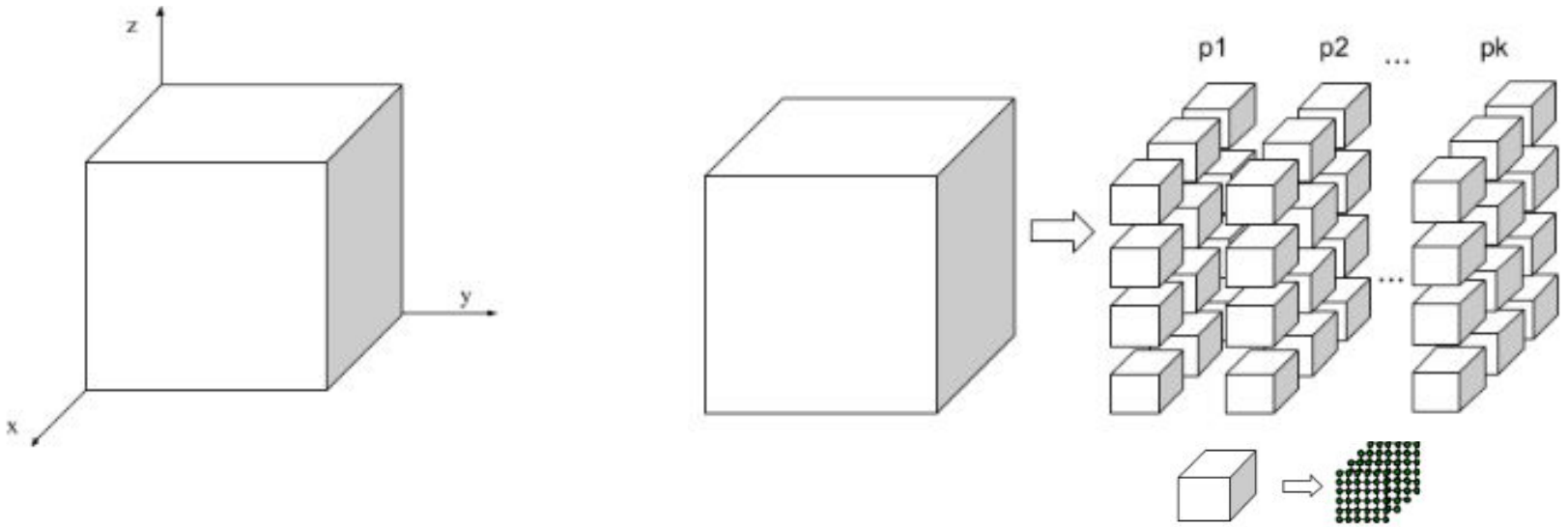
- определить функции отправления и получения операции;
- определить будущее число подключений;
- определить функцию, собирающую общий результат со всех процессов;

Тестирование на решении уравнения Пуассона

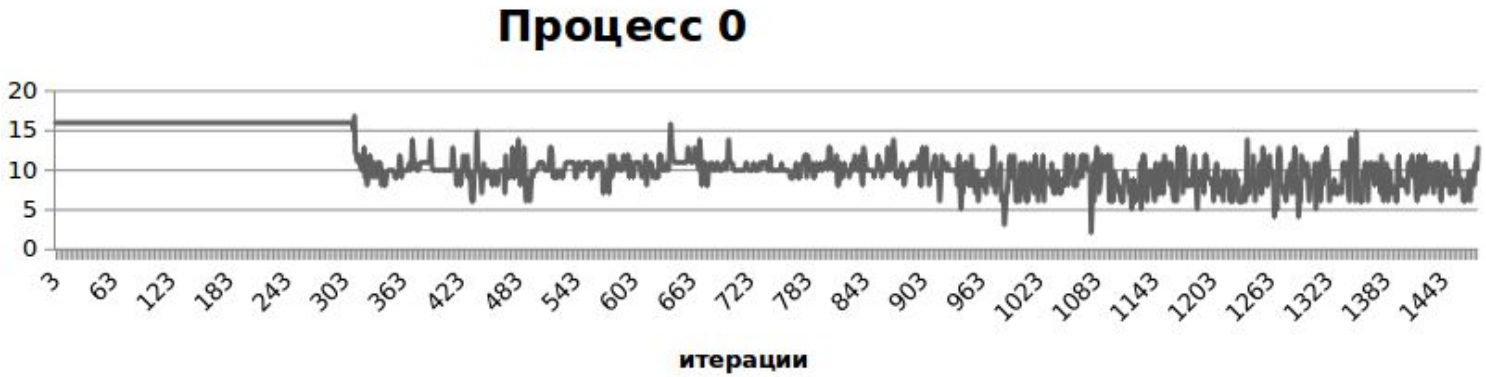
$$\nabla^2 \varphi = f \qquad (1)$$

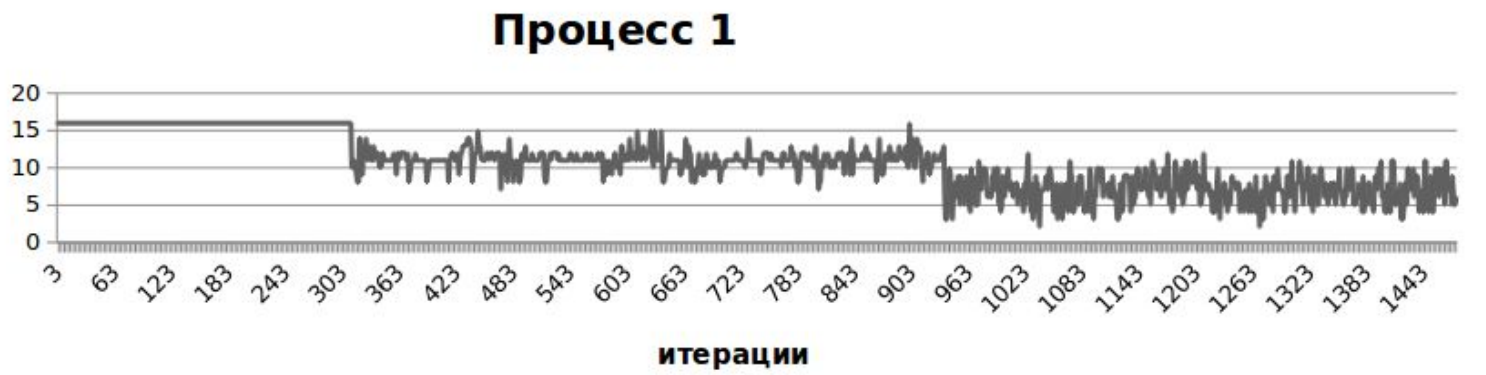
$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = f \qquad (2)$$

$$\frac{\tilde{\varphi}_{i-1,j,k} - 2\tilde{\varphi}_{i,j,k} + \tilde{\varphi}_{i+1,j,k}}{h_x^2} + \frac{\tilde{\varphi}_{i,j-1,k} - 2\tilde{\varphi}_{i,j,k} + \tilde{\varphi}_{i,j+1,k}}{h_y^2} + \frac{\tilde{\varphi}_{i,j,k-1} - 2\tilde{\varphi}_{i,j,k} + \tilde{\varphi}_{i,j,k+1}}{h_z^2} = f_{i,j,k} \qquad (3)$$



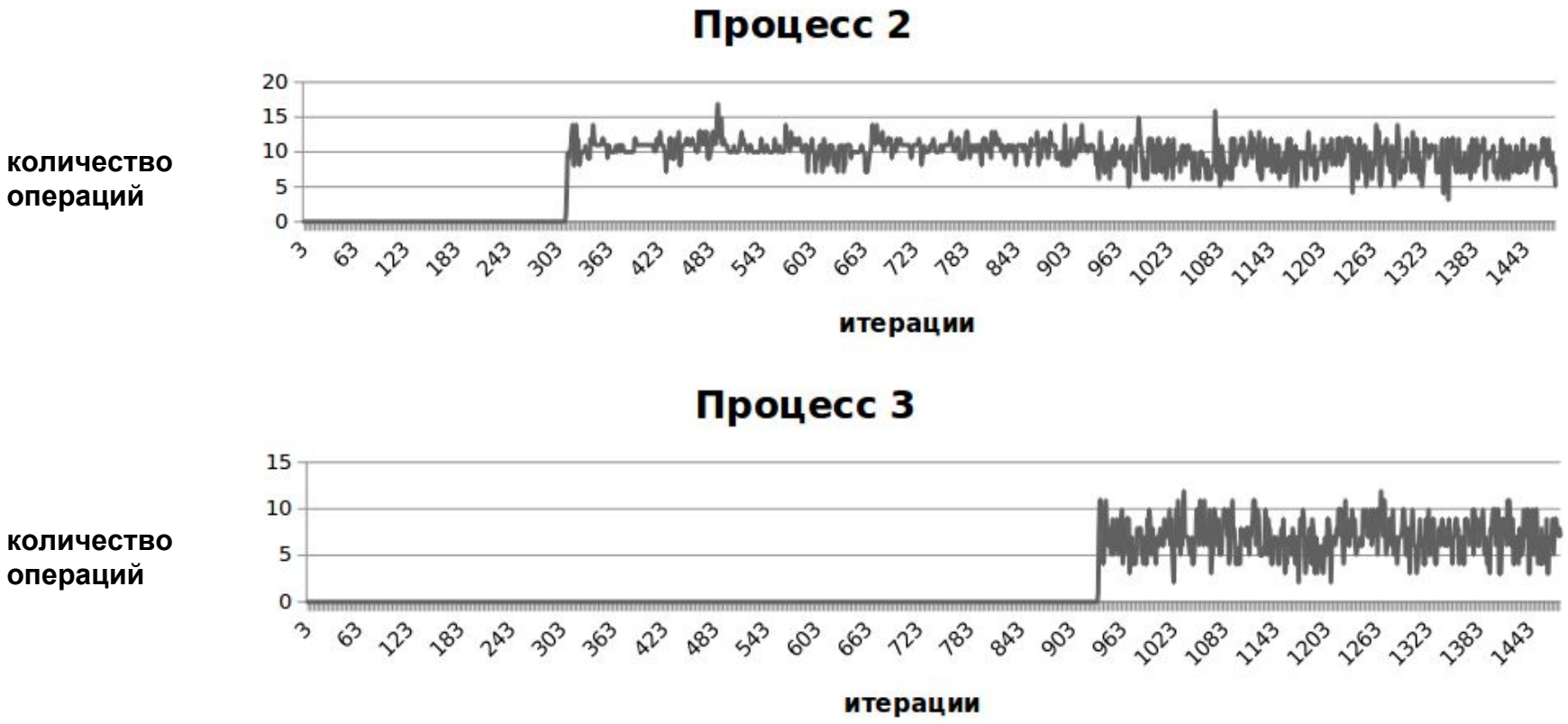
Тестирование на решении уравнения Пуассона





Тестирование проводилось на системе на основе двух процессоров Intel Xeon E5-2620 (6-ядерный процессор).

Тестирование на решении уравнения Пуассона



Тестирование проводилось на системе на основе двух процессоров Intel Xeon E5-2620 (6-ядерный процессор).

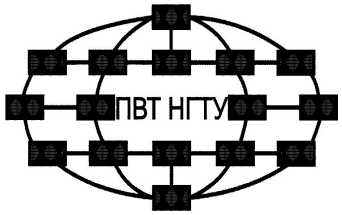
Тестирование на решении уравнения Пуассона

Тестирование проводилось на системе на основе двух процессоров Intel Xeon E5-2620 (6-ядерный процессор).

Результаты

- разработана модель построения приложений, способных
  - реагировать на динамическое изменение вычислительных ресурсов
  - подсоединять необходимое количество ресурсов к вычислительному процессу
  - распределять вычислительную нагрузку между этими ресурсами
- разработана архитектура библиотеки для поддержки реализаций приложений, работающих в такой модели
- разработан прототип библиотеки
- разработан прототип фреймворка, основанный на библиотеке

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Выпускная квалификационная работа

Разработка библиотеки для реализации реагирования MPI-программ на изменения в доступности вычислительных ресурсов

Работу выполнила: А. А. Нестёркина
Научный руководитель: В. П. Маркова, к.т.н., доцент

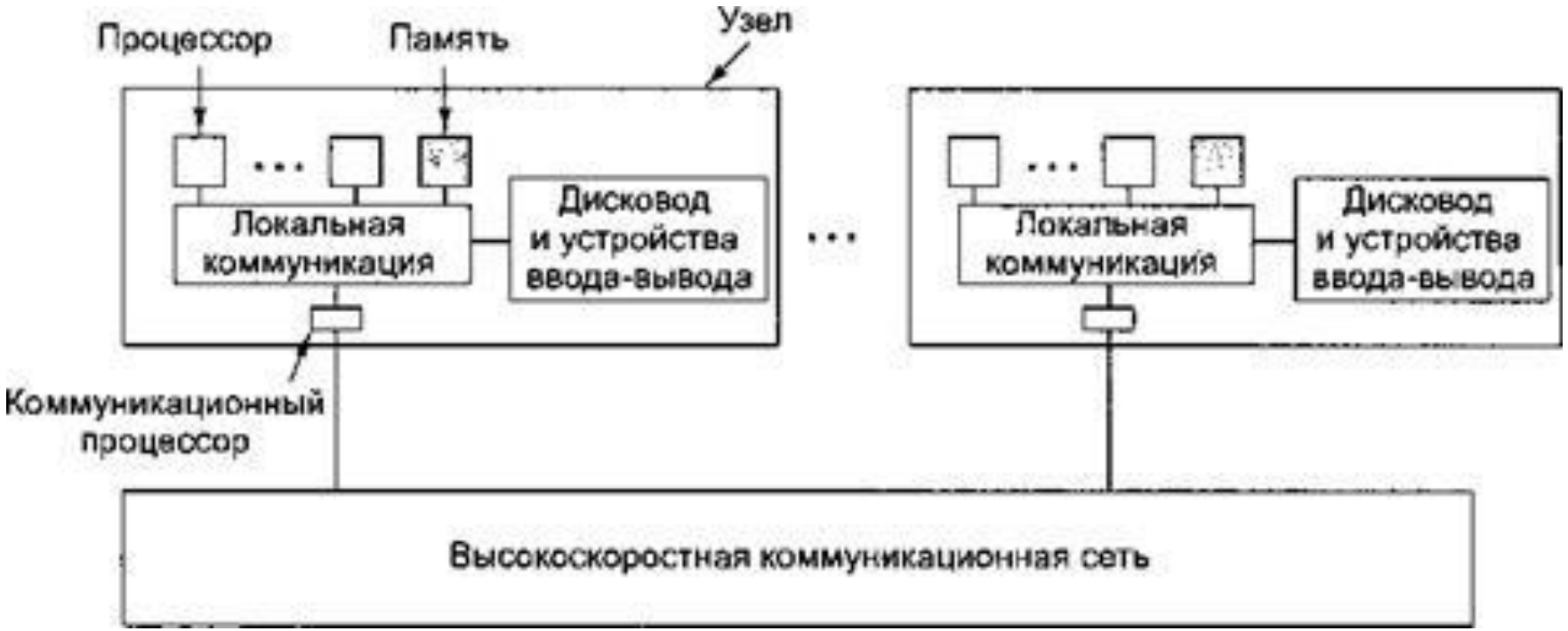
Новизна

Применение поэтапного набора ресурсов вычислительной программой в ВВС к решению проблемы минимизации времени ожидания результатов вычислений пользовательских прикладных программ

Практическая значимость

Разработанный фреймворк может быть использован для дальнейших исследований поэтапного набора ресурсов вычислительной программой в ВВС с целью решения проблемы минимизации времени ожидания результатов вычислений пользовательских прикладных программ

Мультикомпьютеры



Формальное описание модели приложений

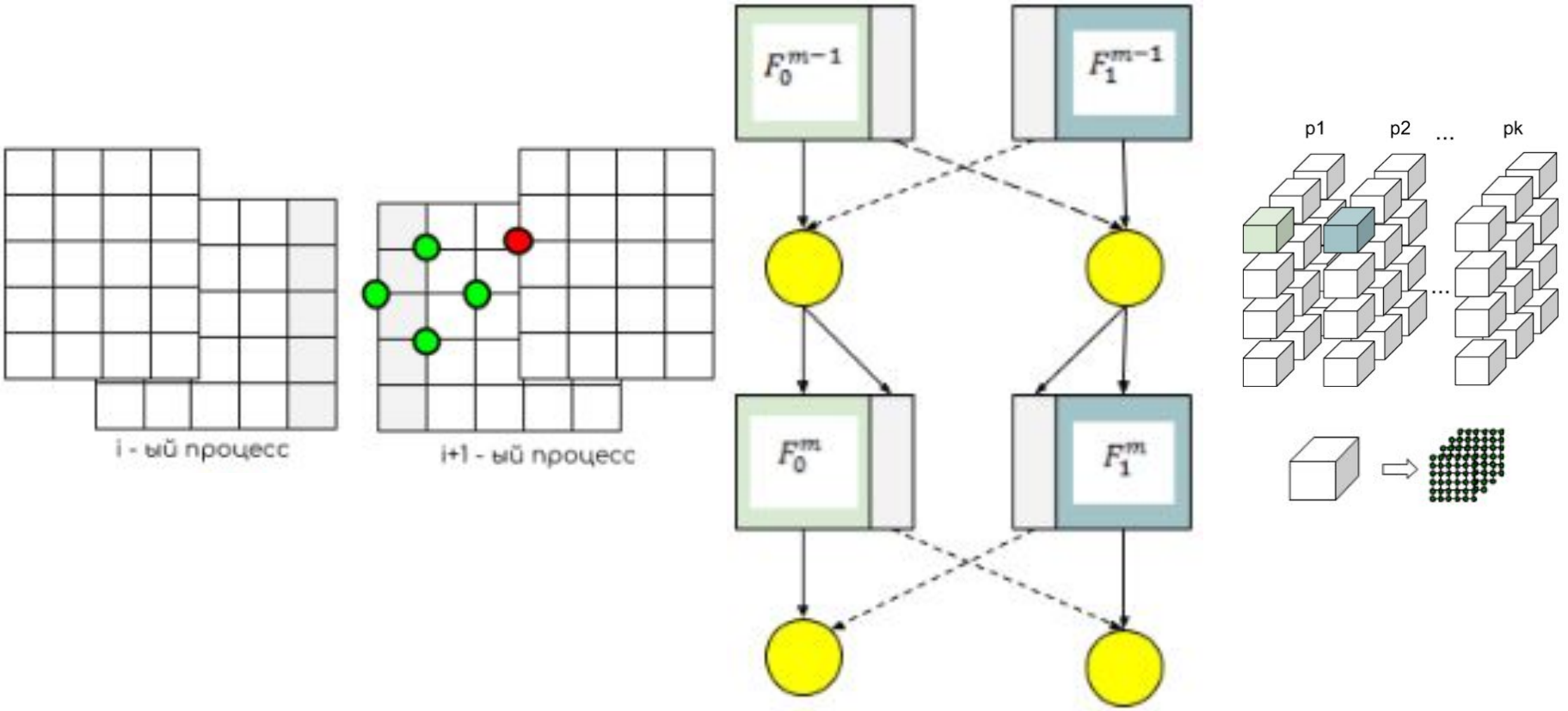
Таким образом у каждого процесса должны быть:

- **очередь подзадач, исполнение которых планируется на текущем процессе;**
- **таблица маршрутизации, определяющая на каких процессах были исполнены подзадачи;**
- **вычислительные потоки, исполняющие подзадачи и запрашивающие дополнительные подзадачи с других процессов;**

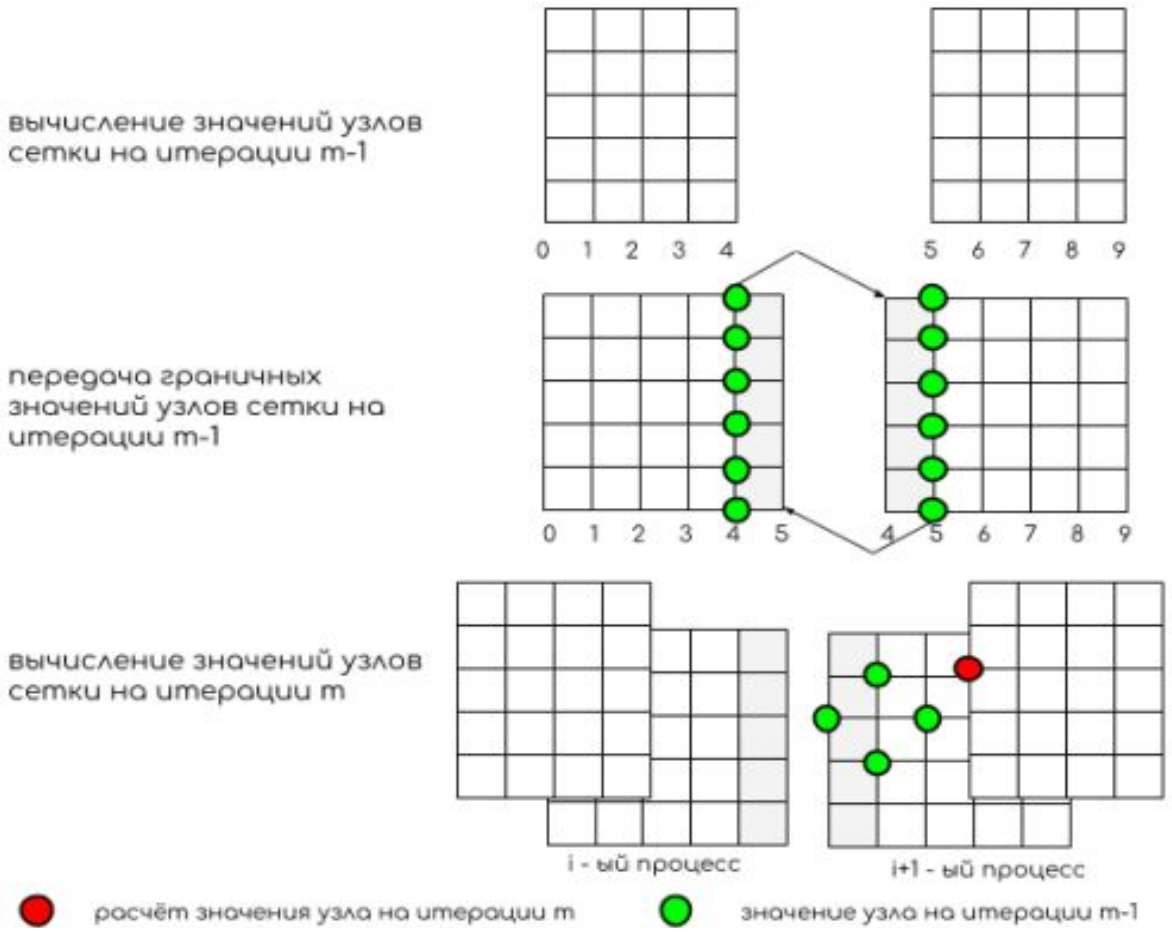
Формальное описание модели приложений

- диспетчер, обеспечивающий реагирование на запросы, приходящие от других процессов и подсистем в данном процессе;
- контроллер таблицы маршрутизации, обновляющий информацию о расположении подзадач;
- сервер, обеспечивающий подключение новой группы процессов к текущей.

Обмен теневыми гранями между подзадачами в классе сеточных задач

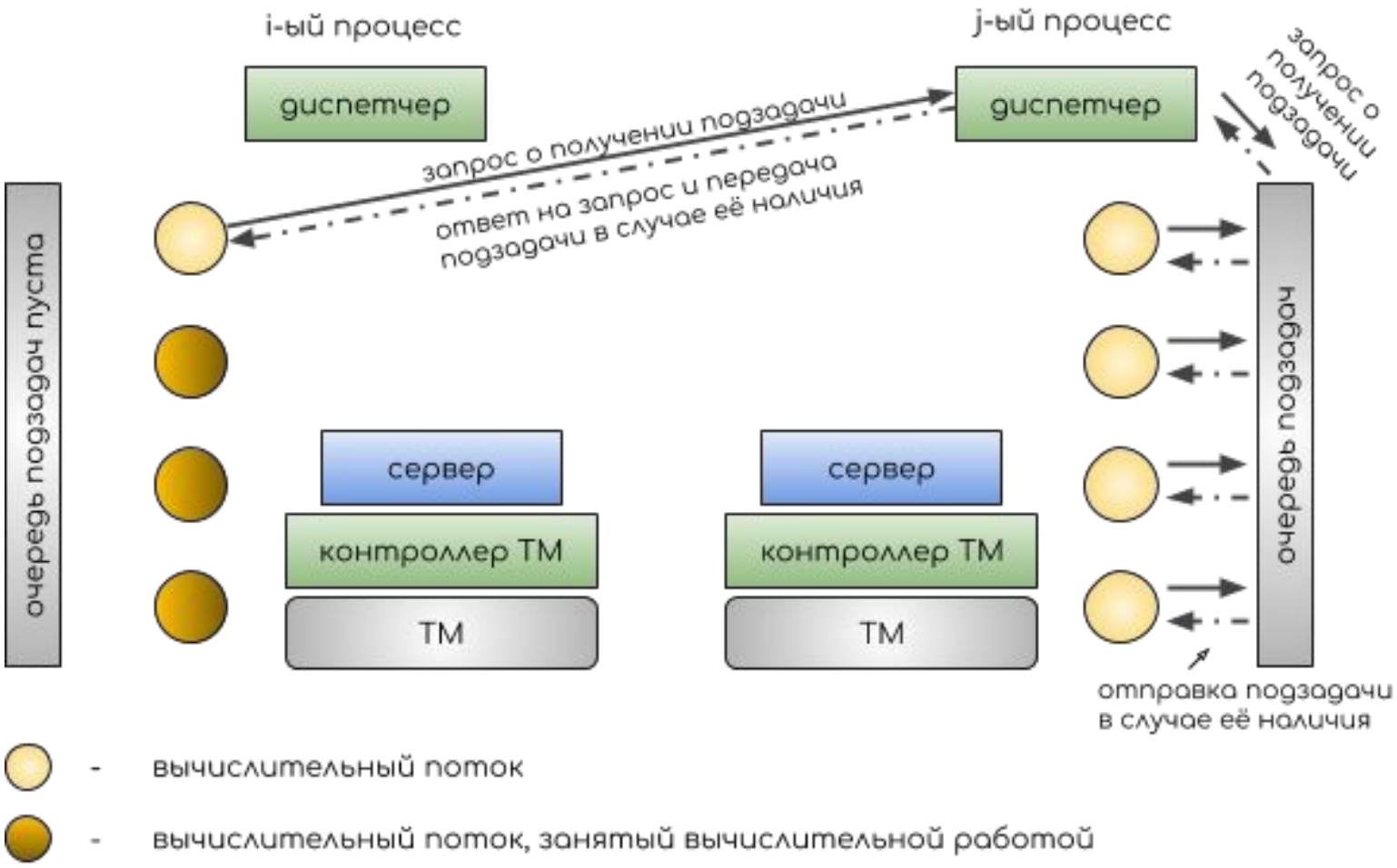


Обмен теневыми гранями между подзадачами в классе сеточных задач

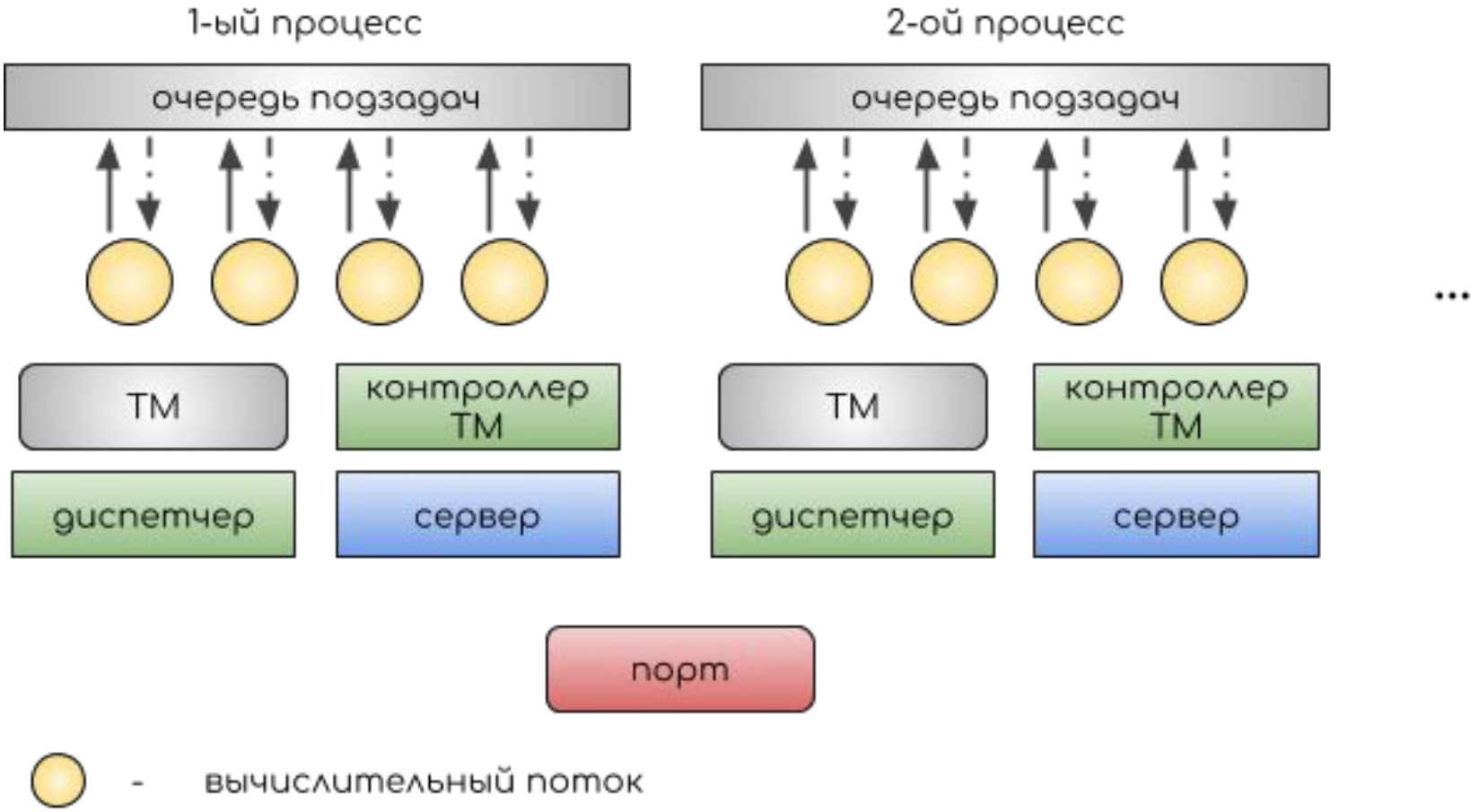


Тестирование на 3 процессах

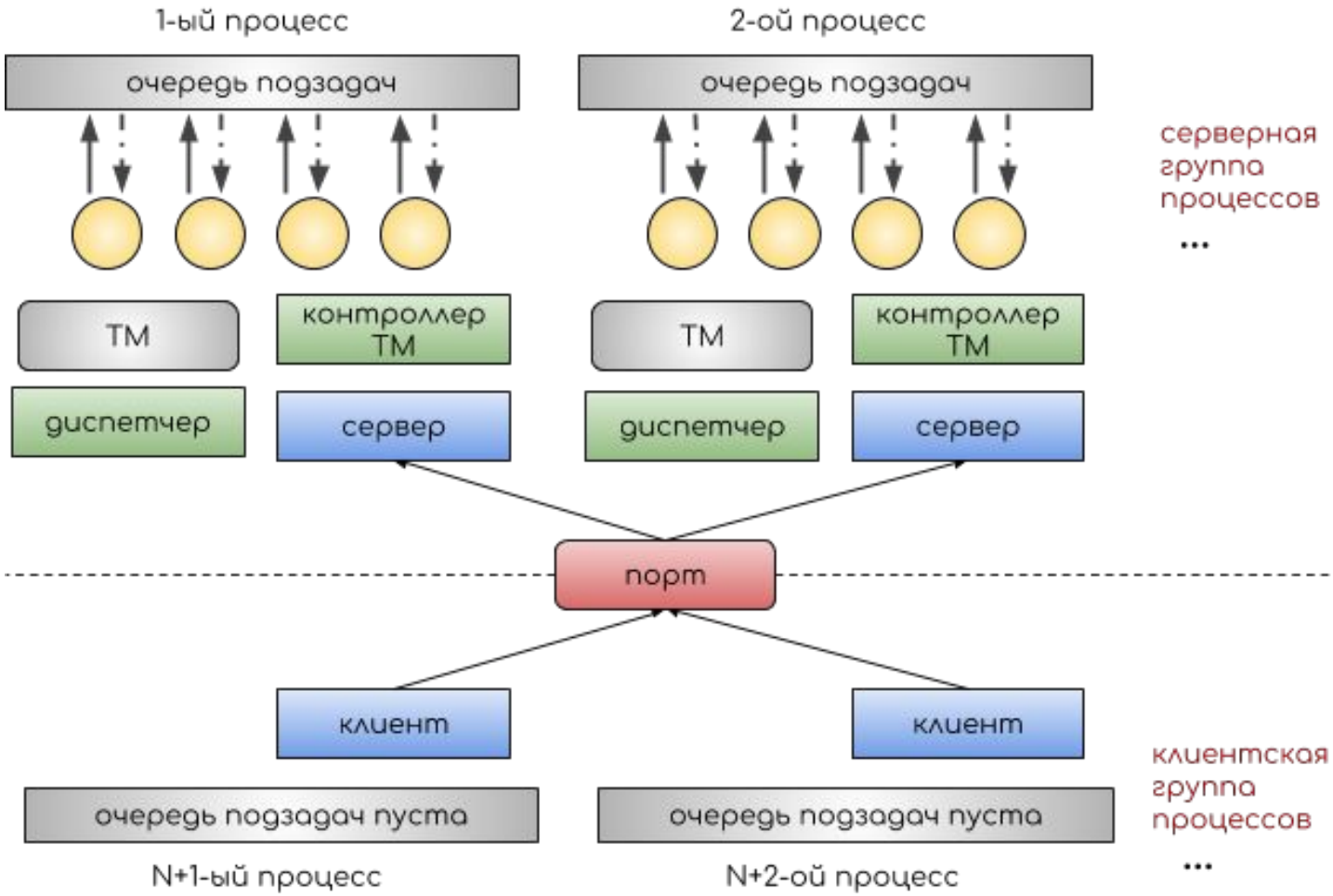
Балансировка нагрузки



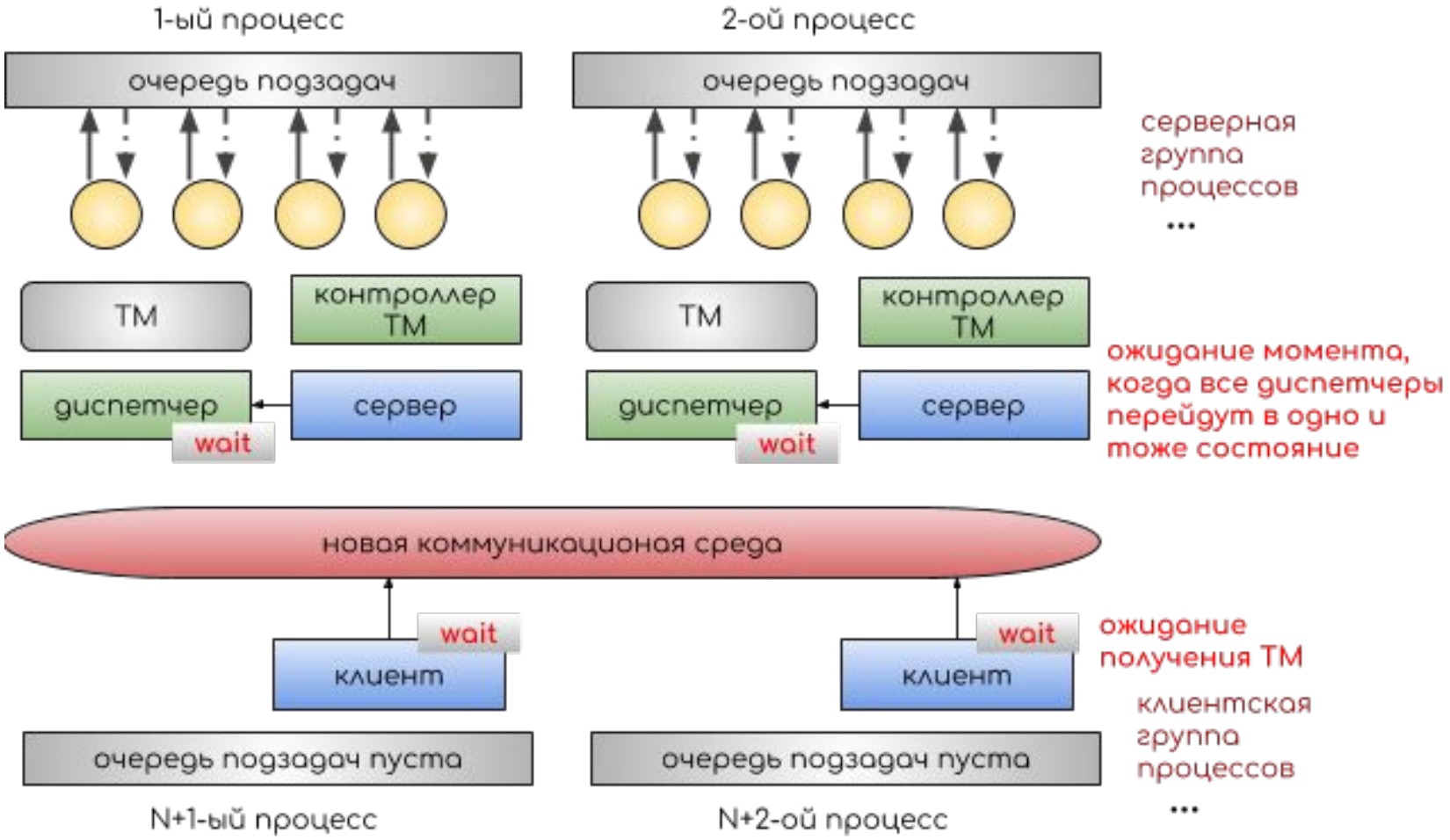
Подключение процессов



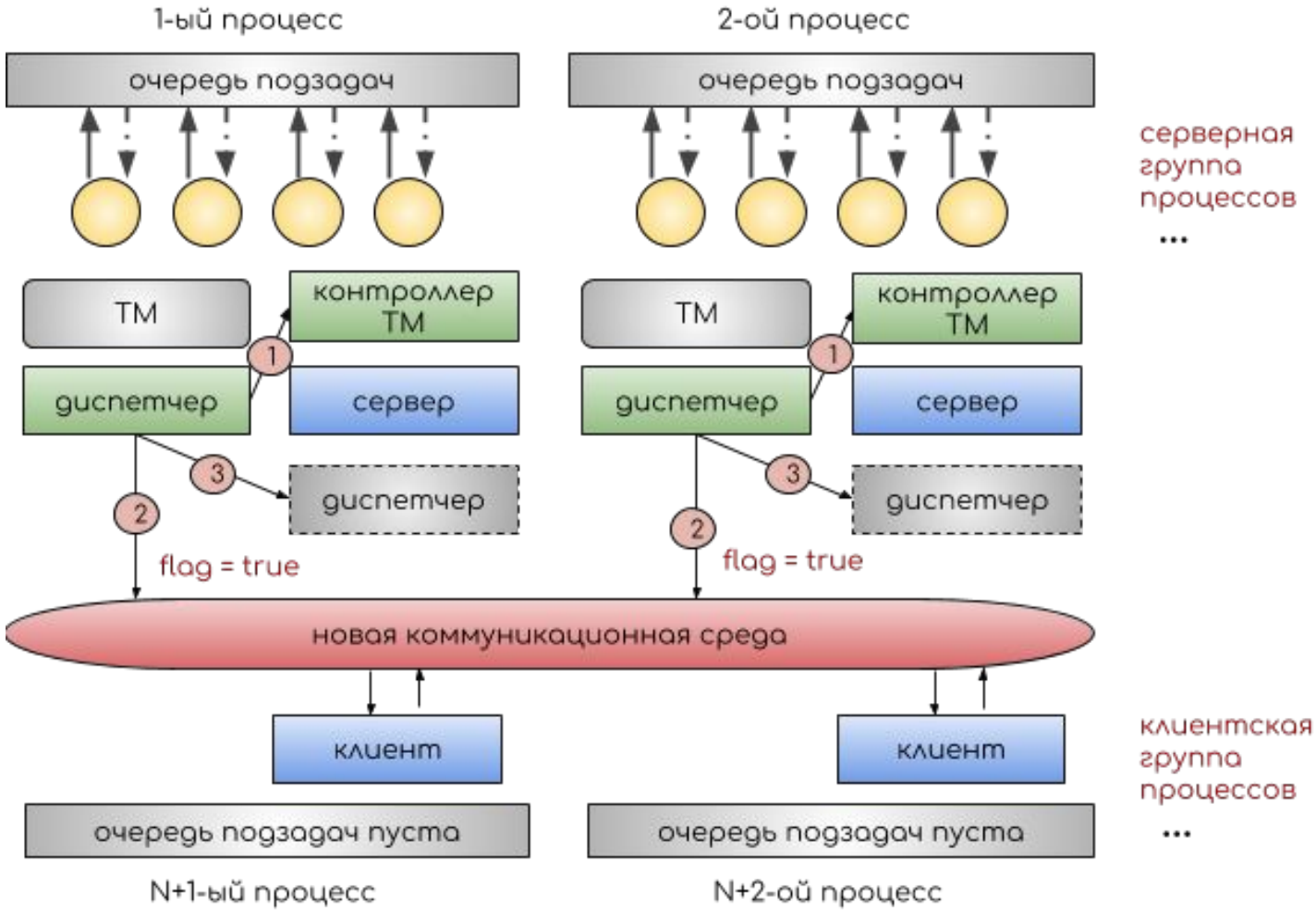
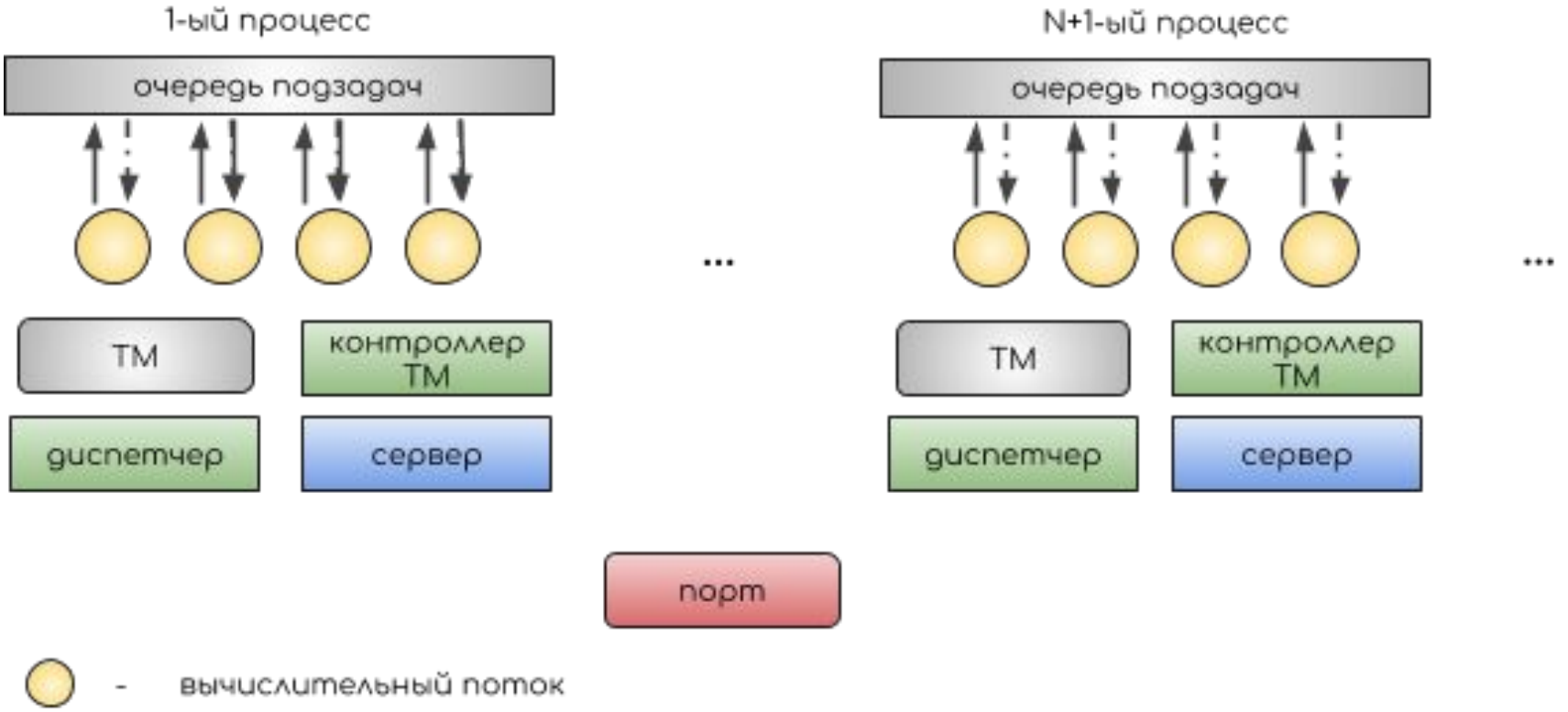
Подключение процессов



Подключение процессов



Подключение процессов



Подключение процессов