

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ,  
КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ/MATHEMATICAL SOFTWARE FOR COMPUTERS,  
COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67>

**АЛГОРИТМ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

Научная статья

**Куровский С.В.<sup>1</sup>, Мишин Д.А.<sup>2</sup>, Шульман В.Д.<sup>3,\*</sup>**

<sup>2</sup>ORCID : 0009-0004-1490-2563;

<sup>1,2</sup>ООО «Высшая школа образования», Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (vitalian42[at]acares.ru)

**Аннотация**

Цель исследования – представить алгоритм балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы. Методы исследования: методы концепции автоматического управления; методы математического моделирования; численные методы оптимальных решений; методы систематизации, обобщения и сопоставления информации; метод алгоритмизации и концептуализации данных. В статье приведены виды балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы. Отражены методы балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы. Систематизированы достоинства и недостатки существующих методов балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы. Представлены результаты разработки алгоритма балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы на основе платформы "DIET".

**Ключевые слова:** балансировка нагрузки, гетерогенная среда, вычислительная система, обработка данных, пользовательский запрос, узел.

**ALGORITHM FOR LOAD BALANCING IN A HETEROGENEOUS COMPUTING SYSTEM ENVIRONMENT**

Research article

**Kurovskii S.V.<sup>1</sup>, Mishin D.A.<sup>2</sup>, Shulman V.D.<sup>3,\*</sup>**

<sup>2</sup>ORCID : 0009-0004-1490-2563;

<sup>1,2</sup>LLC "Higher School of Education", Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

\* Corresponding author (vitalian42[at]acares.ru)

**Abstract**

The aim of the study is to present an algorithm for load balancing in a heterogeneous environment of a computing system. Research methods: methods of automatic control concept; methods of mathematical modelling; numerical methods of optimal solutions; methods of systematization, generalization and comparison of information; method of algorithmization and data conceptualization. The article presents types of load balancing in heterogeneous environment of a computing system. The methods of load balancing in the heterogeneous environment of a computing system are reflected. Advantages and disadvantages of existing methods of load balancing in heterogeneous environment of computing system are systematized. The results of development of the algorithm of load balancing in heterogeneous environment of computing system on the basis of 'DIET' platform are presented.

**Keywords:** load balancing, heterogeneous environment, computing system, data processing, user query, node.

**Введение**

Гетерогенная среда вычислительной системы включает в себя совокупность технических устройств (компьютеров, вычислительных кластеров, микрокомпьютеров), которые по своим характеристикам похожи на GRID-системы:

1. Динамические свойства системной конфигурации.
2. Распределенность элементов в вычислительной системе.
3. Практическое применение узлов, обладающих различными ресурсами и программно-аппаратными средствами.
4. Как правило, решаемых в вычислительной системе задач достаточно много, данный процесс не представляется возможным четко контролировать [1].

Нужно заметить, что информация в разрезе узлов вычислительной системы может быть распределена, для того чтобы реализовать некоторые срочные действия, способствующие решению возникшей задачи. Сохранение в вычислительной системе информации с возможным её дублированием выступает элементом подготовительной работы к будущему решению важной задачи с распределением в вычислительной системе составляющих. Вместе с тем это может стать отдельной методологической процедурой работы хранилища данных (с активным либо пассивным распределением элементов).

В последнем случае информация становится полноценным ресурсом гетерогенной среды вычислительной системы [2], [3], [4], [5]. Одновременно с этим чтение и сохранение информации могут быть операциями вычислительной системы, подразумевающими осуществление пользователями оценки, поскольку их реализация предполагает применение на практике технических устройств, ресурсов процессора и оперативной памяти.

Результативность гетерогенной среды вычислительной системы обусловлена выбранным методом распределения информации по нескольким узлам. Оптимальный метод распределения способствует сокращению временного периода простоя в использовании технических устройств, общего объема передаваемой информации между техническими устройствами, промежутка времени, в течение которого данные доступны для пользователей, увеличению масштабируемости. В этом и состоит актуальность темы данного научного исследования.

Цель исследования – представить алгоритм балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы.

Задачи исследования:

1. Привести виды балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы.
2. Отразить методы балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы.
3. Систематизировать достоинства и недостатки существующих методов балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы.
4. Представить результаты разработки алгоритма балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы на основе платформы "DIET".

Объект исследования – гетерогенная среда вычислительной системы.

Предмет исследования – балансировка нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы.

Научная новизна исследования:

1. Систематизация достоинств и недостатков существующих методов балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы.
2. Разработка алгоритма балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы на основе платформы "DIET", сравнительный анализ платформы DIET с другими аналогичными решениями, выделение ограничений алгоритма и возможных сценариев его применения.

Практическая значимость данного исследования состоит в том, что приведенный алгоритм балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы может быть применен для увеличения эффективности процесса решения проблем, связанных с балансировкой нагрузки в гетерогенной среде любых вычислительных систем.

### Виды балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы

Для того чтобы сформировать гетерогенную среду вычислительной системы, целесообразно найти эффективный метод к решению задачи. В данном исследовании рассматривается одна из значимых задач вычислительного комплекса – балансировка нагрузки в гетерогенной среде. В современных условиях имеется разнообразие подходов к балансировке нагрузки в гетерогенной среде вычислительного комплекса. Ключевые виды балансировки нагрузки в вычислительном комплексе представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 - Ключевые виды балансировки нагрузки в вычислительном комплексе

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67.1>

Примечание: источник [6]

В контексте данного научного исследования наиболее интересной является систематизация процесса балансировки нагрузки в вычислительном комплексе по выполняемой схеме. Как правило, в централизованной вычислительной системе необходим минимальный объем затрат на взаимодействие между узлами, поскольку данные о текущем состоянии вычислительного комплекса концентрируются в специально выделенном блоке (см. рис. 2).

Недостатком централизованной схемы выступает достаточно низкий уровень отказоустойчивости прикладного обеспечения, потому что при нарушении центрального узла, который, в свою очередь, участвует в осуществлении процесса балансировки, централизованная схема не функционирует. Особенно это наблюдается при осуществлении циклического алгоритма (см. рис. 3) Вместе с тем централизация данных, подключений либо распределения элементов способствует существенной нагрузке на центральный узел вычислительного комплекса.

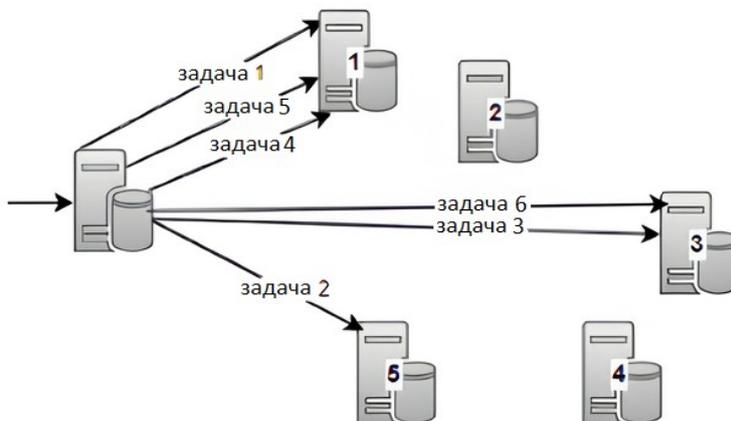


Рисунок 2 - Пример централизованной схемы работы вычислительного комплекса  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67.2>

Примечание: цель – минимизация нагрузки на вычислительную систему; источник [7]

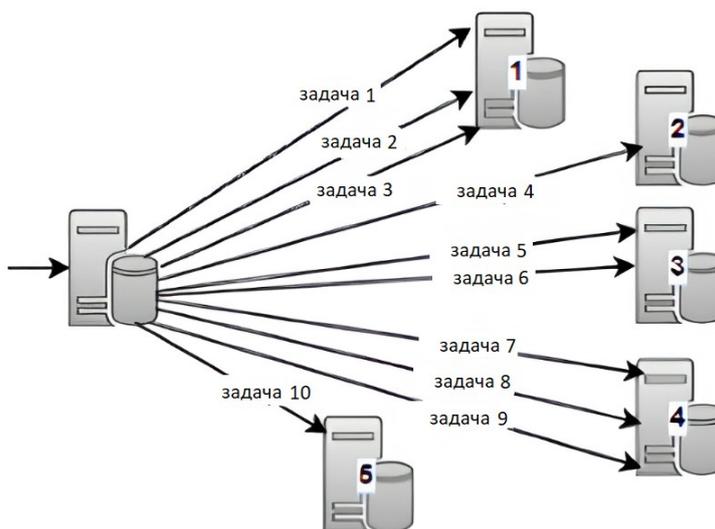


Рисунок 3 - Пример централизованной схемы работы вычислительного комплекса (циклический алгоритм)  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67.3>

Примечание: источник [7]

По сравнению с централизованной в распределенной вычислительной системе отсутствуют обозначенные выше слабые стороны. Вместе с тем операции по распределенной схеме могут осуществляться при применении таких

подходов, как: кооперативный (коллективное решение об осуществлении процесса балансировки нагрузки) и некооперативный (индивидуальное решение узла о том, как в вычислительном комплексе распределить потенциальную нагрузку). В отличие от кооперативного подхода к распределению элементов в вычислительном комплексе, по некооперативному методу можно минимизировать затраты на взаимодействие между узлами, использовать достоинства распределения элементов, в частности, рациональное применение ресурсов процессора, отказоустойчивость прикладной системы.

Альтернативным вариантом по отношению к централизованной и распределенной средам балансировки нагрузки выступает смешанный вид. В данном случае частично применяется распределение элементов для осуществления процесса балансировки нагрузки. Несмотря на то, что все узлы сгруппированы по кластерам, их работа подчиняется централизованной схеме управления. Подобный вид балансировки нагрузки объединяет сильные стороны централизованного функционирования компонентов и распределенной схемы вычислительного комплекса.

### Методы балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы

Для гетерогенной среды вычислительного комплекса зачастую в качестве методов используются зондирование, модель переговоров и реализация задач кластеризации. В контексте зондирования имеется несколько стратегий, применимых в гетерогенной среде вычислительного комплекса: жадная стратегия, предельное значение и стратегия кратчайшего пути. Жадная стратегия – это подтип пороговой стратегии, который в ходе зондирования узлов применяет циклический алгоритм. При распределенной схеме работы вычислительного комплекса в соответствии с жадной стратегией порог – нагрузка владельца системы, максимальный объем пользовательских оценок – 3 (см. рис. 4).

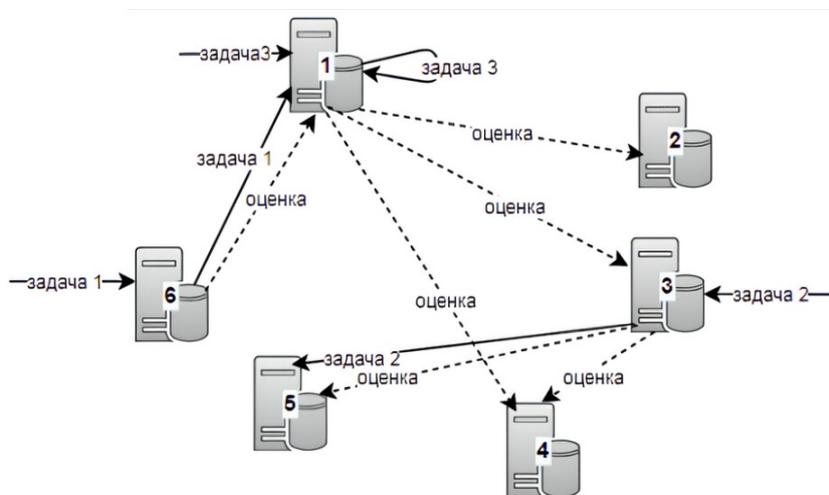


Рисунок 4 - Пример распределенной схемы работы вычислительного комплекса в соответствии с жадной стратегией  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67.4>

Примечание: источник [7]

Исходя из модели переговоров, узел, где сконцентрированы данные, отправляет заявку с характеристикой нагрузки и передаваемых задач. Узел, находящийся на определенном расстоянии от него, осуществляет проверку поступившей заявки, проводит сравнение нагрузки (своей и инициатора). Если собственная нагрузка узла ниже аналогичного параметра инициатора, то ему отправляется запрос на принятие задачи к решению. В противном случае поступивший от инициатора запрос игнорируется.

Ключевая проблема использования модели переговоров состоит в том, что при одновременном поступлении нескольких заявок и обработке их одним узлом он может стать перегруженным в вычислительном комплексе. Данная проблема может быть минимизирована при установлении ограничения на объем поступивших одному узлу запросов.

Пример практического использования распределенной схемы в вычислительном комплексе на базе модели переговоров представлен на рисунке 5. Инициатор заявки – исполнитель.

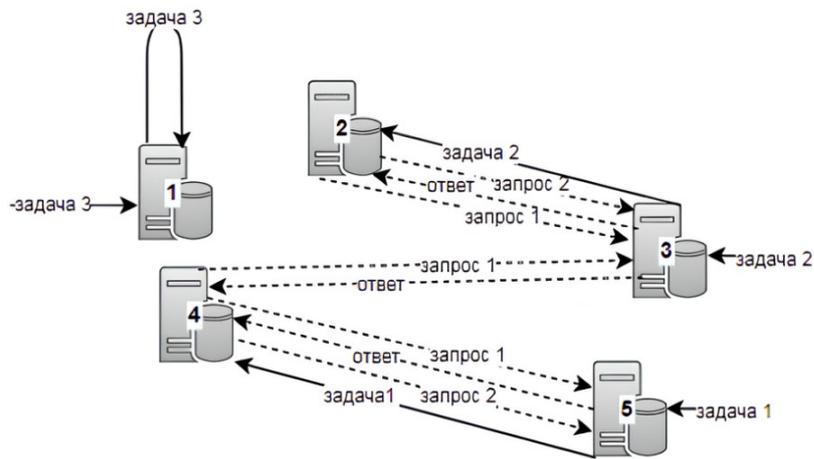


Рисунок 5 - Пример практического использования распределенной схемы в вычислительном комплексе на базе модели переговоров

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67.5>

Примечание: источник [7]

В соответствии с приведенными примерами была уточнена начальная нагрузка в среде вычислительной системы (см. табл. 1). В централизованной схеме работы вычислительного комплекса по циклическому алгоритму распределение решаемых задач осуществляется по круговому методу. Как правило, циклический алгоритм используется, когда по структуре и уровню сложности решаемые задачи похожи. Впоследствии начальная нагрузка централизованной схемы, работающей по циклическому алгоритму, изменяется, так как множество задач определяется итеративно.

Таблица 1 - Начальная нагрузка в среде вычислительной системы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67.6>

Порядковый номер узла	Начальная нагрузка распределенной схемы работы вычислительного комплекса в соответствии с жадной стратегией	Начальная нагрузка распределенной схемы в вычислительном комплексе на базе модели переговоров	Начальная нагрузка централизованной схемы (циклический алгоритм)	Начальная нагрузка централизованной схемы (минимизация нагрузки на вычислительную систему)
1	10	40	100	0
2	40	10	20	90
3	90	90	70	40
4	100	0	100	100
5	20	100	20	40
6	60	-	-	-

Помимо обозначенных выше методов балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительном комплексе, можно применить кластеризацию узлов, которые обладают похожими параметрами, например, пропускной способностью, объемом и частотой работы ресурсов процессора, дисковым пространством. Подобная кластеризация узлов может быть применена в целях отображения решаемых задач по группам в разрезе узлов, которые будут их выполнять. Метод кластеризации наиболее эффективно работает при смешанном подходе к балансировке нагрузки в гетерогенной среде.

## Достоинства и недостатки существующих методов балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы

Рассмотренные методы балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительного комплекса обладают определенными достоинствами и недостатками (см. табл. 2).

Таблица 2 - Достоинства и недостатки существующих методов балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67.7>

Метод балансировки нагрузки	Преимущества	Недостатки	Количественные данные для оценки эффективности
Зондирование (жадная стратегия, предельное значение, стратегия кратчайшего пути)	Текущая нагрузка узлов в вычислительном комплексе учитывается; крайне высокий уровень эффективности в применении; можно учитывать параметр производительности работы узлов в вычислительном комплексе; больше подходит для распределенной схемы	В процессе динамического сбора данных увеличиваются затраты на взаимодействие между узлами вычислительного комплекса	<ul style="list-style-type: none"> <li>- объём издержек;</li> <li>- пропускная способность системы;</li> <li>- объём используемых ресурсов;</li> <li>- отказоустойчивость;</li> <li>- время отклика</li> </ul>
Модель переговоров	Текущая нагрузка узлов в вычислительном комплексе учитывается; крайне высокий уровень эффективности в применении; присутствуют различные сценарии работы инициаторов; можно учитывать параметр производительности работы узлов в вычислительном комплексе; больше подходит для распределенной схемы	В процессе динамического сбора данных увеличиваются затраты на взаимодействие между узлами вычислительного комплекса; достаточно трудная практическая реализация данной модели	<ul style="list-style-type: none"> <li>- объём издержек;</li> <li>- объём используемых ресурсов;</li> <li>- отказоустойчивость;</li> <li>- время отклика</li> </ul>
Кластеризация	Удобство управления за выполнением задач; можно учитывать параметр производительности работы узлов в вычислительном комплексе по кластерам; крайне высокий уровень надёжности вычислительного комплекса	В процессе динамического сбора данных увеличиваются затраты на взаимодействие между узлами вычислительного комплекса; трудности запуска и остановки вычислительного комплекса при существенном объёме узлов	<ul style="list-style-type: none"> <li>- объём издержек;</li> <li>- пропускная способность системы;</li> <li>- объём используемых ресурсов;</li> <li>- масштабируемость</li> </ul>

Исходя из достоинств и недостатков существующих методов балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы, приведенных в таблице 2, присутствует потребность в разработке алгоритма балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы на основе платформы "DIET".

### Разработка алгоритма балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы на основе платформы «DIET»

Одной из платформ проектирования вычислительных комплексов выступает "DIET". Её функциональное предназначение – организация вычислительной системы в условиях гетерогенной среды, распределения элементов в системе. Архитектура платформы "DIET" проиллюстрирована на рисунке 6.

Компоненты архитектуры:

1. Client – мобильное приложение клиента, предназначенное для осуществления конкретных задач.
2. MA – управляющий агент, который обрабатывает пользовательские запросы от клиента в вычислительной системе, получает информацию о тех ресурсах, которые свободны на текущий момент времени, позволяет подобрать наиболее эффективный узел и направляет характеристику о нём клиенту.
3. LA – местный агент, который обеспечивает передачу данных и поступивших заявок MA и узлов, реализует операции по локальному планированию работы узлов.
4. SeD – серверная служба, которая работает на конечных узлах в вычислительном комплексе, нужна, для того, чтобы получить данные о гетерогенной среде, объёме ресурсов, степени загруженности на конкретный момент времени.

Когда появляется новая задача к выполнению SeD оценивают свойства и принципы работы распределенной схемы узлов. Результат подобной оценки передаётся RA (родительскому агенту), где происходит упорядочивание узлов по определенному параметру оптимизации. Как правило, им становится время последних динамических изменений и использования узлов.

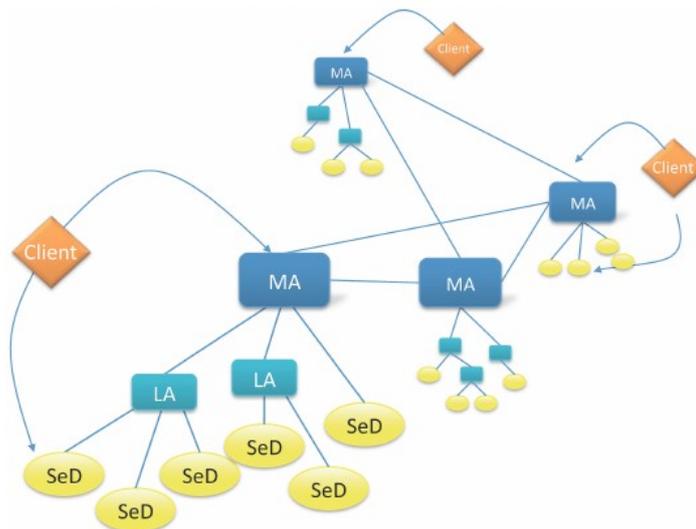


Рисунок 6 - Архитектура платформы «DIET»  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67.8>

Примечание: составлено на основании [8], [9], [10]

Преимущества платформы «DIET»:

- достаточно простой алгоритм автоматического подбора ресурсов: технических устройств, баз данных, оперативной памяти;
- осуществление наблюдения за текущим состоянием элементов вычислительного комплекса;
- можно скорректировать работу планировщика при помощи добавления необходимых модульных блоков;
- можно добавить новые прикладные критерии, позволяющие упорядочить работу узлов в ходе решения возникшей задачи;
- сложности планирования, возникающие в вычислительной системе, решаются владельцем.

Вместе с тем практическое использование данной платформы подразумевает соблюдение требований к осуществлению планирования с применением программно-аппаратных средств в новых приложениях клиента.

Аналогичными платформенными решениями являются:

- VOINC (работает только на операционных системах Windows и Linux, что является существенным ограничением для применения алгоритма балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы);
- HFM-NET (подразумевает соблюдение требований и мониторинг работы вычислительной системы только в клиентских приложениях);
- PelicanHPC (гибридный образ платформы, запускается только с внешнего носителя информационных данных).

В отличие от обозначенных выше платформенных решений, технология «DIET» не обладает указанными ограничениями, что является значимым преимуществом для работы вычислительных комплексов.

Алгоритм балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы на основе платформы «DIET» подразумевает последовательное осуществление перечисленных ниже стадий:

1. Построение вычислительной системы.

Сформирована мультипроцессорная вычислительная система с применением архитектуры и функциональных блоков платформы. Свойства мультипроцессорной вычислительной системы – ресурсы взаимного исключения, число процессов, используемая политика планирования решаемых задач. Архитектура платформы сформирована на базе дискретно-событийного языка программирования.

2. Выявление асинхронных событий вычислительной системы.

В блоке планировщика в неявном виде определяется задача, которую нужно осуществить в режиме реального времени. Её атрибутивные характеристики: временной период, буквенный или числовой идентификатор, приоритет решения, наличие подзадач.

3. Практическое применение функциональных блоков платформы:

- отметка времени в процессе динамического изменения нагрузки на узлы;
- выявление общей продолжительности решения одной задачи;
- определение атрибутивных характеристик узлов;
- передача информации управляющим агентам;
- обработка информации управляющими агентами;
- получение клиентом ответа от управляющего агента.

Приведенная модель проиллюстрирована на рисунке 7.

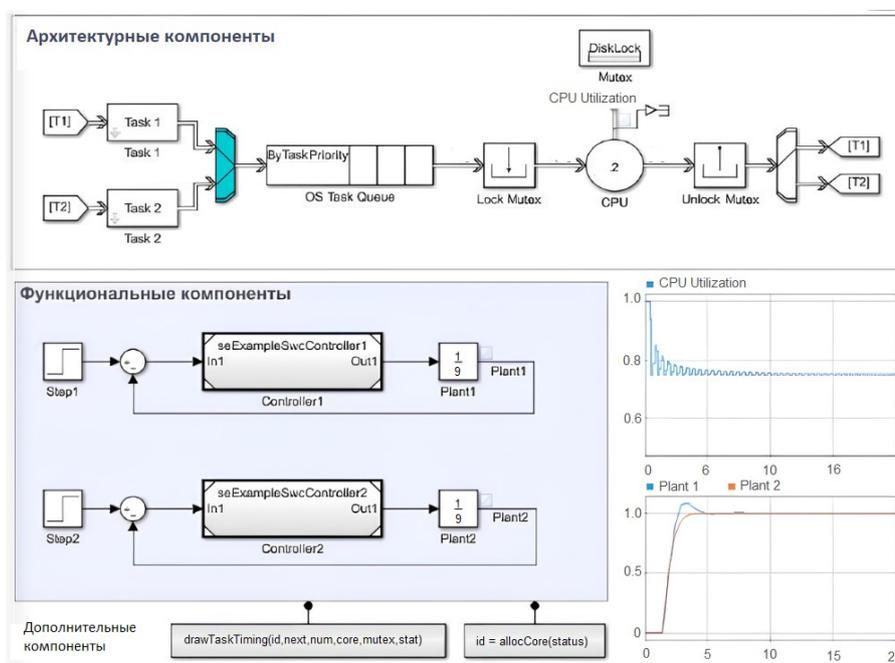


Рисунок 7 - Модель балансировки нагрузки в гетерогенной среде мультипроцессорной вычислительной системы на основе платформы «DIET»

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.67.9>

В соответствии с рисунком 7 модель балансировки нагрузки в гетерогенной среде мультипроцессорной вычислительной системы на основе платформы "DIET" даёт возможность сократить эффект чрезмерной осцилляции на фоне избыточного применения буфера импорта данных внутри кластера узлов.

Несмотря на достоинства алгоритма балансировки нагрузки в гетерогенной среде мультипроцессорной вычислительной системы на основе платформы "DIET", присутствуют некоторые ограничения в его использовании:

1. Каждый рабочий сервер должен обладать одинаковым перечнем и объёмом ресурсов.
2. Пользовательские запросы – исключительно независимые и атомарные.
3. Нет автоматизации планирования ресурсных требований к решению поставленных задач.

### Заключение

На основании результатов проведенного научного исследования и вышеизложенного материала были сделаны следующие ключевые выводы в работе:

1. Актуальная проблема исследования: результативность гетерогенной среды вычислительной системы обусловлена выбранным методом распределения информации по нескольким узлам. Оптимальный метод распределения способствует сокращению временного периода простоя в использовании технических устройств,

общего объёма передаваемой информации между техническими устройствами, промежутка времени, в течение которого данные доступны для пользователей, увеличению масштабируемости.

2. Распределенные схемы балансировки нагрузки в вычислительном комплексе выступают одним из видов осуществления рассматриваемого процесса. Подобная балансировка нагрузки нужна для совершенствования качества клиентского обслуживания, увеличения параметра производительности вычислительного комплекса, оптимального применения ресурсов.

3. Исходя из достоинств и недостатков существующих методов балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы, присутствует потребность в разработке алгоритма балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы на основе платформы "DIET".

4. Алгоритм балансировки нагрузки в гетерогенной среде вычислительной системы на основе платформы "DIET" подразумевает последовательное осуществление перечисленных ниже стадий:

- построение вычислительной системы;
- выявление асинхронных событий вычислительной системы;
- практическое применение функциональных блоков платформы (отметка времени в процессе динамического изменения нагрузки на узлы);
- выявление общей продолжительности решения одной задачи;
- определение атрибутивных характеристик узлов;
- передача информации управляющим агентам;
- обработка информации управляющими агентами;
- получение клиентом ответа от управляющего агента.

5. Модель балансировки нагрузки в гетерогенной среде мультипроцессорной вычислительной системы на основе платформы "DIET" даёт возможность сократить эффект чрезмерной осцилляции на фоне избыточного применения буфера импорта данных внутри кластера узлов.

6. Несмотря на достоинства алгоритма балансировки нагрузки в гетерогенной среде мультипроцессорной вычислительной системы на основе платформы "DIET", присутствуют некоторые ограничения в его использовании: каждый рабочий сервер должен обладать одинаковым перечнем и объёмом ресурсов; пользовательские запросы – исключительно независимые и атомарные; нет автоматизации планирования ресурсных требований к решению поставленных задач.

7. Перспективные направления дальнейших исследований: возможность формирования прогностических стратегий балансировки нагрузки в гетерогенной среде, использование смешанных методов к балансировке нагрузки (например, стандартного генетического и циклического алгоритма одновременно), создание гибридных методов планирования ресурсных требований к решению поставленных задач; возможность использования алгоритма балансировки нагрузки при решении задач с абсолютными и относительными приоритетами.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

#### Список литературы / References

1. Алексеева Д.В. Оптимизация нагрузки мультифрактального трафика между гетерогенными узлами распределенной вычислительной системы / Д.В. Алексеева // Современные технологии в теории и практике программирования. — 2021. — С. 135–136.
2. Балабаев С.А. Система мониторинга для балансировки нагрузки узлов распределенной вычислительной системы на основе смартфонов. / С.А. Балабаев, С.А. Лупин, А.М. Тайк // International Journal of Open Information Technologies. — 2024. — 10. — С. 78–85.
3. Альбертьян А.М. Оптимизация производительности гетерогенного вычислительного узла ГРИД-системы при решении задачи поиска ортогональных диагональных латинских квадратов. / А.М. Альбертьян, И.И. Курочкин, Э.И. Ватутин // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. — 2021. — 1. — С. 20–25.
4. Богданов А.В. Разработка виртуальной вычислительной системы с поддержкой балансировки нагрузки ДЛЯ повышения эффективности расчета. / А.В. Богданов // Современные наукоемкие технологии. — 2020. — 6-2. — С. 214–219.
5. Клименко А.Б. Формирование комплектов эффективных алгоритмов распределения вычислительных ресурсов в гетерогенных динамичных вычислительных средах на основе онтологии. / А.Б. Клименко, Э.М. Алиева, А.Е. Сальников // Известия Юго-Западного государственного университета. — 2024. — 4. — С. 25–43.
6. Кхаинг М. Оценка эффективности методов балансировки нагрузки в распределенных вычислительных системах. / М. Кхаинг, С.А. Лупин, А. Тху // International Journal of Open Information Technologies. — 2021. — 11. — С. 30–36.
7. Алексеев И.А. Методы и средства балансировки нагрузки в неоднородных вычислительных системах. / И.А. Алексеев // Инженерный вестник Дона. — 2020. — 11. — С. 160–168.

8. Гуненков М.Ю. Классификация намерений пользователей интеллектуальной диалоговой системы с использованием трансформера и комбинированных векторных представлений. / М.Ю. Гуненков, О.Н. Канева // Прикладная математика и фундаментальная информатика. — 2022. — 84–85.
9. Тху К.М. Оценка эффективности методов балансировки нагрузки в распределенных вычислительных системах / К.М. Тху, С.А. Лупин, Т. Аунг. — 2021. — 11. — С. 30–36.
10. Исахов А.А. Применение метода балансировки нагрузки на высокопараллельных вычислительных кластерных системах. / А.А. Исахов, А.Б. Абылкасымова, М.Е. Мансурова // Вестник Казахстано-Британского технического университета. — 2021. — 2. — С. 59–66.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Alekseeva D.V. Optimizatsiya nagruzki multifraktalnogo trafika mezhdu geterogennimi uzlami raspredelennoi vichislitelnoi sistemi [Optimization of the load of multifractal traffic between heterogeneous nodes of a distributed computing system] / D.V. Alekseeva // *Sovremennie tekhnologii v teorii i praktike programmirovaniya* [Modern Technologies in the Theory and Practice of Programming]. — 2021. — P. 135–136. [in Russian]
2. Balabaev S.A. Sistema monitoringa dlya balansirovki nagruzki uzlov raspredelennoj vy'chislitel'noj sistemy' na osnove smartfonov [Monitoring system for load balancing of nodes of a distributed computing system based on smartphones]. / S.A. Balabaev, S.A. Lupin, A.M. Tajk // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2024. — 10. — P. 78–85. [in Russian]
3. Al'bert'yan A.M. Optimizatsiya proizvoditel'nosti geterogennogo vy'chislitel'nogo uzla GRID-sistemy' pri reshenii zadachi poiska ortogonal'ny'x diagonal'ny'x latinskix kvadratov [Optimization of the performance of a heterogeneous computing node of a GRID system when solving the problem of searching for orthogonal diagonal Latin squares]. / A.M. Al'bert'yan, I.I. Kurochkin, E'.I. Vatutin // *High-performance Computing Systems and Technologies*. — 2021. — 1. — P. 20–25. [in Russian]
4. Bogdanov A.V. Razrabotka virtual'noj vy'chislitel'noj sistemy' s podderzhkoj balansirovki nagruzki DLYa povy'sheniya e'ffektivnosti rascheta [Development of a virtual computing system with load balancing support TO improve calculation efficiency]. / A.V. Bogdanov // *Modern High-tech Technologies*. — 2020. — 6-2. — P. 214–219. [in Russian]
5. Klimenko A.B. Formirovanie komplektov e'ffektivny'x algoritmov raspredeleniya vy'chislitel'ny'x resursov v geterogenny'x dinamichny'x vy'chislitel'ny'x sredax na osnove ontologii [Formation of sets of effective algorithms for the allocation of computing resources in heterogeneous dynamic computing environments based on ontology]. / A.B. Klimenko, E'.M. Alieva, A.E. Sal'nikov // *Proceedings of the Southwestern State University*. — 2024. — 4. — P. 25–43. [in Russian]
6. Kxaing M. Ocenka e'ffektivnosti metodov balansirovki nagruzki v raspredelenny'x vy'chislitel'ny'x sistemax [Evaluation of the effectiveness of load balancing methods in distributed computing systems]. / M. Kxaing, S.A. Lupin, A. Txu // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2021. — 11. — P. 30–36. [in Russian]
7. Alekseev I.A. Metody' i sredstva balansirovki nagruzki v neodnorodny'x vy'chislitel'ny'x sistemax [Methods and means of load balancing in heterogeneous computing systems]. / I.A. Alekseev // *Engineering Bulletin of the Don*. — 2020. — 11. — P. 160–168. [in Russian]
8. Gunenkov M.Yu. Klassifikatsiya namerenij pol'zovatelej intellektual'noj dialogovoj sistemy' s ispol'zovaniem transformera i kombinirovanny'x vektorny'x predstavlenij [Classification of the intentions of users of an intelligent dialog system using a transformer and combined vector representations]. / M.Yu. Gunenkov, O.N. Kaneva // *Applied Mathematics and Fundamental Computer Science*. — 2022. — 84–85. [in Russian]
9. Tkhu K.M. Otsenka effektivnosti metodov balansirovki nagruzki v raspredelenny'x vichislitel'ny'x sistemakh [Evaluation of the effectiveness of load balancing methods in distributed computing systems] / K.M. Tkhu, S.A. Lupin, T. Aung. — 2021. — 11. — P. 30–36. [in Russian]
10. Isaxov A.A. Primenenie metoda balansirovki nagruzki na vy'sokoparallel'ny'x vy'chislitel'ny'x klasterny'x sistemax [Application of the load balancing method on highly parallel computing cluster systems]. / A.A. Isaxov, A.B. Abylkasy'mova, M.E. Mansurova // *Bulletin of the Kazakh-British Technical University*. — 2021. — 2. — P. 59–66. [in Russian]