



На правах рукописи

Онтужева Галина Александровна

**МОДЕЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
МНОГОУРОВНЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫМИ
РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Антамошкин Олеслав Александрович

Официальные оппоненты: **Дулесов Александр Сергеевич**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова», профессор
кафедры информационных технологий и систем

Кривов Максим Викторович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», заведующий
кафедрой вычислительных машин и комплексов

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Защита состоится «08» октября 2021 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 24.2.403.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» по адресу: 660037, г. Красноярск, проспект имени газеты Красноярский рабочий, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» и на сайте: <https://www.sibsau.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Панфилов Илья Александрович

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Одним из инструментов автоматизации принятия решений являются гетерогенные распределенные системы обработки информации (ГРСОИ). Как следует из названия, подобные системы объединяют в себе вычислительные узлы (ВУ) и источники данных различных типов, что позволяет провести весь процесс вычислений: от получения сырых оперативных данных с одного или нескольких источников до доставки конечной информации лицам, принимающим решения (ЛПР). Поэтому подобные системы используются в областях, где необходимо в автоматическом или автоматизированном режиме получать и обрабатывать первичные данные различной природы. В силу гетерогенности и распределенности такие системы имеют сложную для управления (т. е. проектирования и модернизации) программно-техническую конфигурацию.

Важной задачей управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ является оптимизация распределения ресурсов вычислительной системы. Распределенный характер системы усугубляет проблему, так как в ГРСОИ могут появляться одновременно как простаивающие, так и перегруженные компоненты.

Из-за описанных особенностей процесс принятия решений в области управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ является сложным и его необходимо оптимизировать. Под оптимизацией процесса принятия решений понимается разработка методов и инструментов поддержки принятия решений, применение которых позволяет достичь требуемого результата управления.

Степень разработанности темы. Исследования в данной области проводили, в частности, Гавриш Д.А., Саранча С.Н., Клепиков А.К., Лемешко А.В., Вавенко Т.В., Литвинов К.А., Пасечников И.И., Тынченко В.С., Миков А.И., Замятина Е.Б., Козлов А.А., Минухин С.В., Пархоменко С.С., Леденёва Т.М., Покусин Н.В., Фраленко В.П., Агроник А.Ю., Хританков А.С., Bigham J., Du L., Chavez A., Moukas A., Maes P, Olfati-Saber R., Fax A., Murray R.M. В этих работах были предложены методы и алгоритмы распределения нагрузки в вычислительных системах различных типов, в том числе гетерогенных. Однако, результаты этих работ не позволяют учесть:

- 1) формирование задач обработки данных внутри самой ГРСОИ;
- 2) необходимость минимизации времени на выполнение задач, в том числе времени выполнения самого алгоритма распределения нагрузки;
- 3) возможность распределения большого числа задач низкой вычислительной сложности, одновременно поступающих в систему;
- 4) зависимость эффективности ГРСОИ от ее структурной конфигурации.

Целью диссертационной работы является оптимизация управления вычислительным ресурсом гетерогенных распределенных систем обработки информации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать существующие подходы к управлению программно-технической конфигурацией ГРСОИ.

2. Разработать технологию поддержки принятия решений в области управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ, позволяющую при помощи методов формального и имитационного моделирования описывать и анализировать альтернативные конфигурации ГРСОИ.

3. Модернизировать формальную модель ГРСОИ с учетом гетерогенного характера обрабатываемых в системе задач.

4. Разработать обобщенную имитационную модель ГРСОИ, позволяющую анализировать процесс распределения вычислительного ресурса в альтернативных конфигурациях систем в асинхронном режиме, и апробировать алгоритмы распределения вычислительного ресурса в режиме реального времени.

5. Разработать алгоритм распределения ресурсов ГРСОИ и исследовать его эффективность на имитационной модели.

6. Провести сравнение разработанного алгоритма с существующими аналогами.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Впервые предложена технология поддержки принятия решений в области управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ, которая позволяет выбрать квазиоптимальную конфигурацию ГРСОИ среди множества допустимых альтернатив при помощи методов формального и имитационного моделирования.

2. Модифицирована формальная модель ГРСОИ, дополненная с помощью аппарата теории массового обслуживания и агентного подхода и позволяющая однозначно описывать ГРСОИ различных современных программно-технических конфигураций, в том числе с большим разнообразием решаемых вычислительных задач.

3. Впервые разработана обобщенная имитационная модель ГРСОИ, объединяющая в себе данные о распределении вычислительного ресурса и информацию о программно-технической конфигурации ГРСОИ. Модель позволяет определить, удовлетворяет ли анализируемая конфигурация и алгоритм распределения ресурсов ГРСОИ множеству ограничений, выбранному ЛПР.

4. Разработан алгоритм поиска наименьшего времени для атомарных задач (ПНВДАЗ) для решения задачи управления ресурсами ГРСОИ как частного случая транспортной задачи с атомарными потребностями по критерию времени (ТЗсАППКВ).

5. Предложены модификации алгоритмов методов северо-западного угла, потенциалов, Фогеля, позволяющие учитывать условие атомарности при решении ТЗсАППКВ

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке формальной модели ГРСОИ, учитывающей гетерогенность решаемых задач, и обобщенной имитационной модели ГРСОИ. Для решения задачи распределения вычислительных ресурсов ГРСОИ впервые предложено использовать алгоритм решения ТЗсАППКВ. Для решения транспортной задачи этого типа разработан алгоритм ПНВДАЗ и

модифицированы метод северо-западного угла, метод потенциалов и метод Фогеля.

Практическая значимость результатов работы заключается в возможности применения разработанной технологии для поддержки принятия решений в области многоуровневого управления вычислительным ресурсом ГРСОИ. Технология была внедрена и используется в практике управления системами обработки информации единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций МЧС России на территории Сибирского федерального округа, в сети финансовых организаций Finvinci Volsor s.r.o. (Чешская Республика), в вычислительной сети компании Petrosoft inc. (США), что подтверждается актами внедрения.

Для проверки применимости имитационной модели как одного из шагов технологии, в ней был реализован метод решения задачи распределения ресурсов как частного случая решения ТЗсАПпКВ. В диссертации приведены результаты исследования работы программной реализации алгоритма и его сравнения с другими алгоритмами распределения нагрузки в имитационной модели ГРСОИ. Также в работе продемонстрированы возможности имитационной модели при выборе оптимальной конфигурации ГРСОИ для различных объемов решаемых задач, что позволяет повысить обоснованность принятия решений по выбору программно-технической конфигурации ГРСОИ.

Методы исследования. В работе были использованы методы: системного анализа, имитационного моделирования, теории графов, теории массового обслуживания, объектно-ориентированного и процедурного программирования, математической статистики.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Предложенная технология поддержки принятия решений в области управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ предоставляет комплекс методов и инструментов, обеспечивающих возможность анализа альтернативных конфигураций ГРСОИ и выбора программно-технической конфигурации и алгоритма распределения ресурсов ГРСОИ в реальном времени, удовлетворяющих требованиям ЛПР.

2. Модифицированная формальная модель ГРСОИ предлагает систему классификации разнородных компонентов ГРСОИ, возможность выбора множества ограничений и учитывает гетерогенный характер вычислительных задач, решаемых в ГРСОИ.

3. Впервые разработанная имитационная модель программно-технической конфигурации ГРСОИ позволяет сравнивать различные конфигурации, с точки зрения как балансировки нагрузки в системе, так и выбора допустимой конфигурации компонентов.

4. Разработанный алгоритм поиска наименьшего времени для атомарных задач для решения ТЗсАПпКВ применим в качестве алгоритма распределения ресурсов в ГРСОИ.

5. Модифицированные алгоритмы методов северо-западного угла, потенциалов и Фогеля учитывают условие атомарности при решении ТЗсАПпКВ.

Основные положения соответствуют пункту 4 (разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления,

принятия решений и обработки информации) и 5 (разработка специального математического и программного обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации) паспорта научной специальности «Системный анализ, управление и обработка информации».

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается корректным использованием аппарата теории идентификации и управления, а также успешным проведением численных и натурных экспериментов при различных параметрах модели.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на научной сессии международного семинара «Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации» - the Workshop «Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering» – «MIST: Aerospace» (Красноярск, 2018 год) и на седьмой международной конференции «Информационные технологии и математическое моделирование» – 7th International Conference «Information Technologies and Mathematical Modelling» (Томск, 2018).

Диссертация была представлена на расширенных семинарах кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (2019–2021).

Промежуточные результаты апробировались на конференции Международной научной школы Парадигма (Варна, 2015); XIII Международной научной конференции «Современная наука, техника и инновации» (Красноярск, 2014), VIII Всероссийской научно-практической конференции Актуальные проблемы авиации и космонавтики (Красноярск, 2012), Международной научной конференции «Решетневские чтения» (Красноярск, 2011, 2012), Международной научно-технической конференции, посвященной 40-летию образования МГТУГА (Москва, 2011).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 16 печатных работ, в том числе 5 статей в научных изданиях из перечня ВАК, 2 работы в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus и 9 публикаций в трудах всероссийских и международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы и приложений.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, методы исследования, практическая значимость работы, излагается краткое содержание глав диссертации.

В первой главе приведено исследование предметной области.

Проведён анализ особенностей ГРСОИ, значимых с точки зрения поставленной цели. Были выделены следующие особенности, большинство которых являются определяющими для ГРСОИ как для класса систем:

- 1) межведомственный характер организационной подчиненности;
- 2) территориальная распределённость;
- 3) направленность системы на решение функционально разнообразных задач;

4) принятие решений на различных организационных уровнях.

В результате изучения и анализа существующих подходов можно сделать вывод о том, что исследования не учитывают гетерогенный характер решаемых в ГРСОИ задач. Предлагается разработать технологию поддержки принятия решений в области управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ.

Во второй главе приведено описание разработанной формальной и обобщенной имитационной модели (ИМ) ГРСОИ – основных инструментов технологии поддержки принятия решений в области управления программно-технической конфигурацией (ПТК) ГРСОИ. На рисунке 1 представлена схема разработанной технологии.

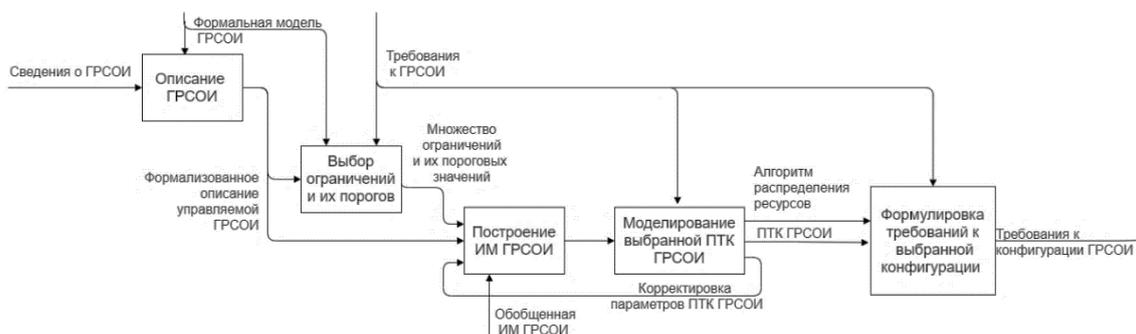


Рисунок 1. Схема технологии

Задача выбора оптимальной программно-технической конфигурации ГРСОИ является многокритериальной и может быть сведена методом ведущего критерия к однокритериальной задаче. Она может быть решена полным перебором допустимых конфигураций, но для применения в практике, как правило, достаточно квазиоптимального решения, поэтому в предложенной технологии однокритериальная задача переводится в задачу удовлетворения ограничений, в которой ведущий критерий также является ограничением, но его пороговое значение ближе к оптимальному, чем у других ограничений.

Технология поддержки принятия решений в области управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ предоставляет комплекс методов и инструментов, позволяющих анализировать альтернативные конфигурации ГРСОИ, и дает информацию для принятия решений об управлении ГРСОИ на двух уровнях: уровне программно-технической конфигурации и уровне управления вычислительным ресурсом в реальном времени. Рассмотрим подробнее основные инструменты технологии – формальную и обобщенную имитационную модель ГРСОИ.

Формальная модель ГРСОИ. Обозначим ГРСОИ как $N = \{P, E\}$, где P – множество узлов этой сети: вычислительные узлы, маршрутизаторы, источники задач, хранилища данных и каналы связи, а E – множество решаемых задач.

Множество всех узлов P по функциональному назначению можно разделить на пять непересекающихся подмножеств: P_1 – ВУ, P_2 – хранилища данных (БД), P_3 – каналы связи, P_4 – маршрутизаторы, P_5 – источники данных.

Каждый элемент p_1^i из P_1 характеризуется следующими параметрами:

q_t^i – свободная вычислительная мощность узла p_i в момент времени t ,

m_t^i – свободный объем постоянной памяти, выделенный под хранение

данных на узле p_i в момент времени t ,

r_t^i – свободный объем оперативной памяти, выделенный под хранение данных на узле p_i в момент времени t ,

s^i – коэффициент быстродействия узла p_i по сравнению с эталонным ВУ,

a_{serv}^i – список доступного программного обеспечения на узле p_i . Множество всех доступных программных конфигураций, обозначено как A_{serv} .

Каналы p_3^i из P_3 , характеризуются:

v_i – пропускная способность канала p_i^3 ,

z_t^i – загруженность p_i^3 в момент времени t ,

b_t^i – стоимость передачи единицы информации по p_i^3 в момент времени t .

Блоки управления нагрузкой p_4^i из P_4 , характеризуются:

n^i – минимальное количество задач для запуска алгоритма маршрутизации.

Источники задач p_5^i из P_5 , характеризуются:

g_t^{ij} – вероятность появления задачи j в момент времени t на источнике i .

Вычислительные задачи e_i из E , характеризуются:

q^i – требуемая вычислительная мощность для вычисления задачи e_i ,

m^i – необходимый объем постоянной памяти,

r_t^i – необходимый объем оперативной памяти,

a_{task}^i – список необходимого программного обеспечения, множество всех необходимых программных конфигураций обозначено как A_{task} .

Для оценки загруженности ВУ предлагается использовать коэффициент утилизации, определяемый по наиболее загруженному из вычислительных ресурсов, для которых коэффициент свободного ресурса выражен в процентах:

$$utilasid^i(t) = 1 - \min(k_{q_t^i}, k_{m_t^i}, k_{r_t^i}).$$

Задача выбора конфигурации ГРСОИ заключается в подборе такого множества компонентов P , которое обеспечивает удовлетворение множества ограничений C для решения множества вычислительных задач E . При этом множество ограничений C может отличаться в зависимости от назначения конкретной ГРСОИ. Такими ограничениями могут быть:

1) среднее значение коэффициента утилизации ресурса: $C^1 = \overline{utilasid}$;

2) суммарное время решения задач в системе: $C^2 = \sum_{i=1}^n T(e^i)$, где T – время, потраченное на решение задачи e^i , n – количество вычисленных задач;

3) вероятность возврата задачи с ВУ из-за нехватки вычислительного ресурса $C^3 = \sum_{i=1}^n p_{return}^i$.

ГРСОИ можно представить как сеть массового обслуживания, где каждый ВУ и блок управления маршрутом является системой массового обслуживания (СМО). ВУ представляют собой многоканальные СМО без очереди, которые возвращают заявки на вычисление задач в маршрутизирующий агент, если нет достаточного вычислительного ресурса на ее исполнение. Общая схема сети массового обслуживания ГРСОИ представлена на рисунке 2.

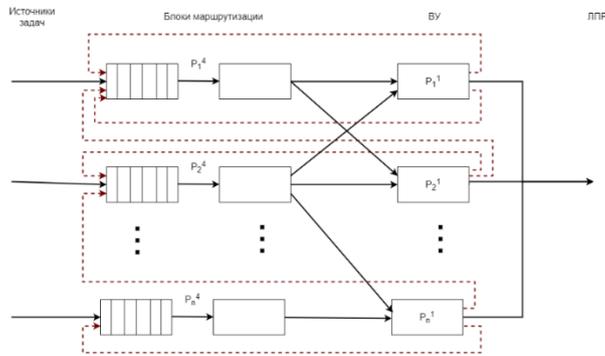


Рисунок 2. Общая схема сети массового обслуживания ГРСОИ

При этом вероятность перехода задачи с маршрутизатора p_i^4 на ВУ p_j^1 определяется как произведение вероятности отправки задачи на этот узел в соответствии с работой алгоритма маршрутизации и коэффициента наличия набора необходимого программного обеспечения (ПО) a_{task}^i в программной конфигурации ВУ a_{server}^j .

$$p_{ij} = p_{ij}^{routing} k_{ij}, \text{ где } k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если на ВУ } j \text{ есть необходимое ПО,} \\ 0, & \text{если на ВУ } j \text{ нет необходимого ПО.} \end{cases}$$

Для каждого подмножества задач, требующих одинаковый набор ПО, будет доступно только то подмножество ВУ, которое удовлетворяет условию наличия подходящего ПО.

Таким образом, для задачи из множества A_{task}^k будет доступна только часть элементов сети массового обслуживания, поэтому целесообразно для расчета среднего времени пребывания задач в системе использовать среднее взвешенное время пребывания в системе задач каждого типа ПО из подмножеств A_{task} , где весом будет являться вероятность появления задачи, требующей ПО A_{task}^k в системе. Следовательно, можно представить ограничение C^2 в формальной модели с применением аппарата теории массового обслуживания:

$$C^2 = \bar{T} = \frac{1}{\Lambda} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M w_i \lambda_j \bar{t}_{\Sigma_j}^i,$$

где N – количество СМО, M – количество задач, Λ – суммарная интенсивность входных потоков сети, \bar{t}_{Σ_j} – среднее время пребывания задачи в j -й СМО, λ_j – интенсивность входного потока j -й СМО, w_i – вес i -й задачи.

Значение функции, отражающей совокупное время решения задач обработки данных на любом конечном отрезке времени, может быть определено в результате решения ТЗсАППКВ.

Применение транспортной задачи для оптимизации распределения нагрузки в ГРСОИ. Транспортную задачу по критерию времени можно применить для подбора оптимального маршрута вычислений задач в ГРСОИ в момент времени t^0 следующим образом. Вычислительные узлы будут представлять собой пункты отправления A_1, \dots, A_m , а их свободный на момент t^0 вычислительный ресурс будет являться запасом в терминологии транспортных задач. При этом каждая задача будет представлять собой ПН с определенной потребностью в вычислительном ресурсе. Это вводит дополнительное условие на перевозки – каждый ПН должен быть обслужен одним пунктом отправления,

в дальнейшем такой тип транспортной задачи будем называть транспортной задачей по критерию времени с атомарными потребностями или ТЗсАПпКВ.

Постановка ТЗсАПпКВ далее будет использована для разработки алгоритма распределения вычислительного ресурса ГРСОИ.

Обобщенная имитационная модель ГРСОИ. Распределенный и межведомственный характер ГРСОИ делает практически невозможным проведение экспериментов на реальных системах, поэтому для исследования и разработки систем управления ресурсами ГРСОИ необходимо применять методы моделирования. Стохастический характер многих процессов (таких как появление задач в системе или возможность отказа компонентов и каналов связи), а также их привязка ко времени делают имитационное моделирование подходящим методом моделирования ГРСОИ. Общая схема ИМ ГРСОИ представлена на рисунке 3.



Рисунок 3. Общая схема ИМ ГРСОИ

Структурно имитационная модель представляет собой сеть из элементов нескольких типов, соединенных каналами связи и обменивающихся информацией с помощью сообщений.

Количество элементов различных типов задается пользователем ИМ ГРСОИ. На рисунке 4 показана сгенерированная структура сети, состоящей из 10 генераторов входных данных (① на рисунке) и их реактивных агентов ②, вместе составляющие источники задач, 10 управляющих агентов ③, 1 БД нагрузки ④, 20 вычислительных узлов ⑤, и 1 ЛПР ⑥.

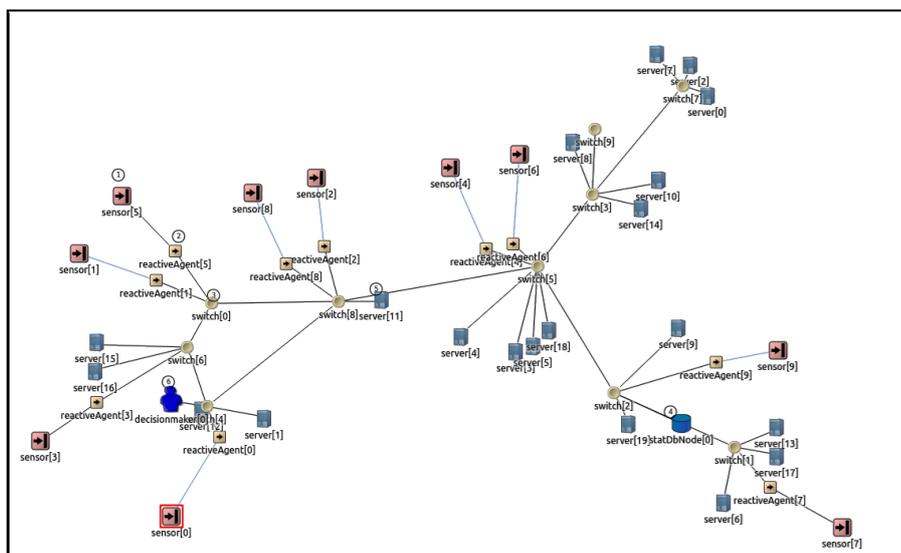


Рисунок 4. Сгенерированная структура сети

При исследовании и разработке новых алгоритмов управления ресурсами их можно легко встроить в блок расчета маршрута вычислений ИМ. Схема работы этого блока представлена на рисунке 5 в виде диаграммы состояний.



Рисунок 5. Диаграмма состояний блока выбора маршрута

Для одной ГРСОИ может быть смоделировано множество допустимых программно-технических конфигураций, максимальное количество которых определяются как:

$$N = n_p \cdot n_{p^{soft}} \cdot n_{p^{hard}} + n_e \cdot n_{e^{type}},$$

где n_p – количество вычислительных узлов в системе; $n_{p^{soft}}$ – количество типовых программных конфигураций ВУ; $n_{p^{hard}}$ – количество типовых аппаратных конфигураций ВУ; n_e – количество источников задач в системе; $n_{e^{type}}$ – количество типовых программно-аппаратных требований для обработки задачи.

Вычислительные узлы и задачи в ИМ ГРСОИ настраиваются при помощи параметров, соответствующих параметрам элементов формальной модели. Выходные показатели, получаемые в результате работы модели, представлены в таблице 1, на основе этих данных рассчитываются более сложные показатели, например, значение выбранного ограничения.

Таблица 1. Выходные показатели модели

Параметр	Тип	Область видимости
Индекс производительности ВУ во времени	Вектор	Для ВУ
Средняя производительность ВУ	Скаляр	Для ВУ
Количество обработанных задач	Скаляр	Для ВУ
Количество задач, возвращенных из-за перегрузки	Скаляр	Для ВУ
Время пребывания задачи в ГРСОИ	Скаляр	Для задачи
Среднее время пребывания задачи определенного типа в ГРСОИ	Скаляр	Для типа задачи
Среднее время пребывания задач в ГРСОИ	Скаляр	Для всех задач

Разработанная модель позволяет моделировать ГРСОИ с количеством ВУ порядка 1000 на персональном компьютере с процессором Intel Core i7 870 2,93 GHz и 8 Гб оперативной памяти.

ИМ позволяет сравнивать программно-технические конфигурации ГРСОИ и выбрать из них допустимую.

В третьей главе приведена апробация работы ИМ ГРСОИ для решения задачи выбора программно-технической конфигурации с ограничением по времени решения задач. Для того, чтобы получить более широкий спектр решений, задача решалась как с точки зрения подбора алгоритма распределения ресурсов, так и с точки зрения выбора конфигурации ВУ.

Алгоритм поиска наименьшего времени для атомарных задач. Проблема выбора маршрута вычисления задач в момент времени t^0 представлена в виде ТЗсАПпКВ, описанной во второй главе.

В разработанном для решения этого типа задач алгоритме ПНВДАЗ необходимо выбрать пару ПН и пункта отправления с наименьшим временем вычисления задачи t_{ij} , при условии, что пункт отправления имеет все необходимые ресурсы для обслуживания ПН, после чего скорректировать запас ресурса на пункте отправления на величину потребности ПН и повторять выбор до тех пор, пока не будут обслужены все ПН, либо пока ни один пункт отправления не сможет обслужить оставшиеся ПН. В этом случае задачи, для которых определен подходящий ВУ, отправляются на вычисления, а оставшиеся задачи ожидают следующей итерации алгоритма. Данный алгоритм можно представить в виде схемы на рисунке 6.

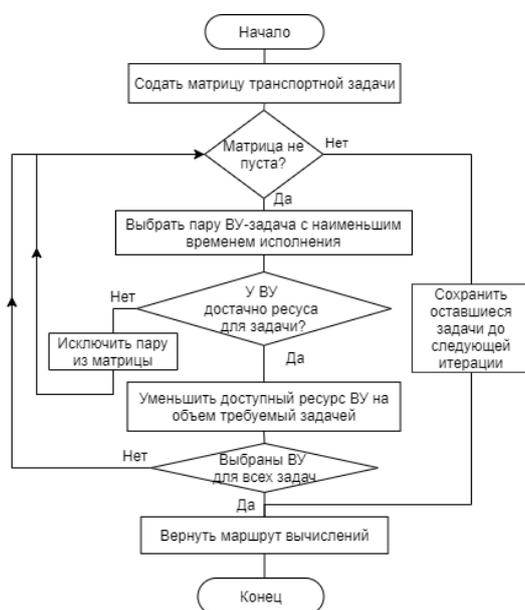


Рисунок 6. Блок-схема алгоритма распределения ресурсов решением ТЗсАПпКВ алгоритмом ПНВДАЗ

Сравнение алгоритма ПНВДАЗ с другими алгоритмами маршрутизации. Сравним эффективность работы разработанного алгоритма ПНВДАЗ с наивным алгоритмом, отправляющим задачи на случайные ВУ и широко применяемым взвешенным циклическим алгоритмом диспетчеризации (weighted round robin). В вычислительном эксперименте сравнение проводилось по таким выходным показателям ИМ, как коэффициент утилизации вычислительного ресурса и среднее время обработки задач. В левой части рисунка 9 представлен график коэффициента утилизации ресурсов ВУ для конфигурации из 20 маршрутизирующих агентов, 100 источников задач и переменного числа серверов.

Похожий наклон графиков утилизации вызван тем, что в данном эксперименте вычислительная мощность растет, а вычислительная нагрузка не изменяется, при этом алгоритм ПНВДАЗ, более эффективно использует ресурсы ГРСОИ. Результаты моделирования показывают не высокую эффективность разработанного алгоритма с точки зрения экономии вычислительных ресурсов,

так как алгоритм разрабатывался с целью минимизации времени выполнения задач, что повлекло дополнительную нагрузку на ВУ в ГРСОИ. В правой части рисунка 7 представлено сравнение среднего времени обработки задачи.

Подход с использованием алгоритма ПНВДАЗ обеспечивает минимальное среднее время выполнения. Таким образом, разработанный алгоритм рекомендуется использовать в случае, если необходимо уменьшить время расчета задач в ГРСОИ.

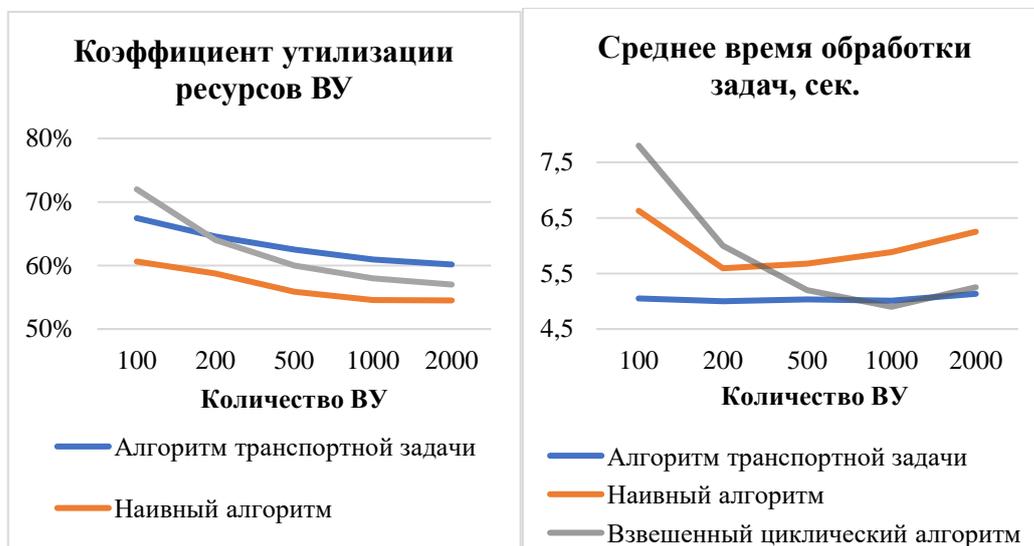


Рисунок 7. Сравнение результата работы алгоритмов

Сравнение алгоритма ПНВДАЗ с другими алгоритмами решения ТЗсАППКВ в качестве маршрутизирующих алгоритмов ГРСОИ. Для оценки эффективности разработанного алгоритма ПНВДАЗ необходимо провести его сравнение с другими методами решения транспортной задачи. Чтобы применить общие решения для ТЗсАППКВ, необходимо внести в алгоритмы решений дополнения, учитывающие специфику задачи. К используемым алгоритмам было добавлено условие атомарности потребностей. Таким образом, для применения в ТЗсАППКВ с атомарными потребностями были модифицированы метод северо-западного угла, метод потенциалов и метод Фогеля.

Было проведено исследование применимости описанных алгоритмов решения ТЗсАППКВ с атомарными потребностями для решения задачи распределения вычислительных ресурсов ГРСОИ. Результаты этого сравнения применимы и для других случаев решения ТЗсАППКВ, но в зависимости от целей применения выбор критериев эффективности алгоритмов может быть различным. Для каждого алгоритма были исследованы зависимости среднего времени выполнения задач от структуры ГРСОИ, графики которых представлены на рисунке 8. На них можно видеть зависимость эффективности работы алгоритма от размеров ГРСОИ. Для наглядности оси количества ВУ и количества источников задач на графиках инвертированы.

На сравнительных графиках отношение числа источников задач к числу ВУ в ГРСОИ представлено как коэффициент загруженности ГРСОИ, чем выше этот показатель, тем больше задач приходится на каждый вычислительный узел.

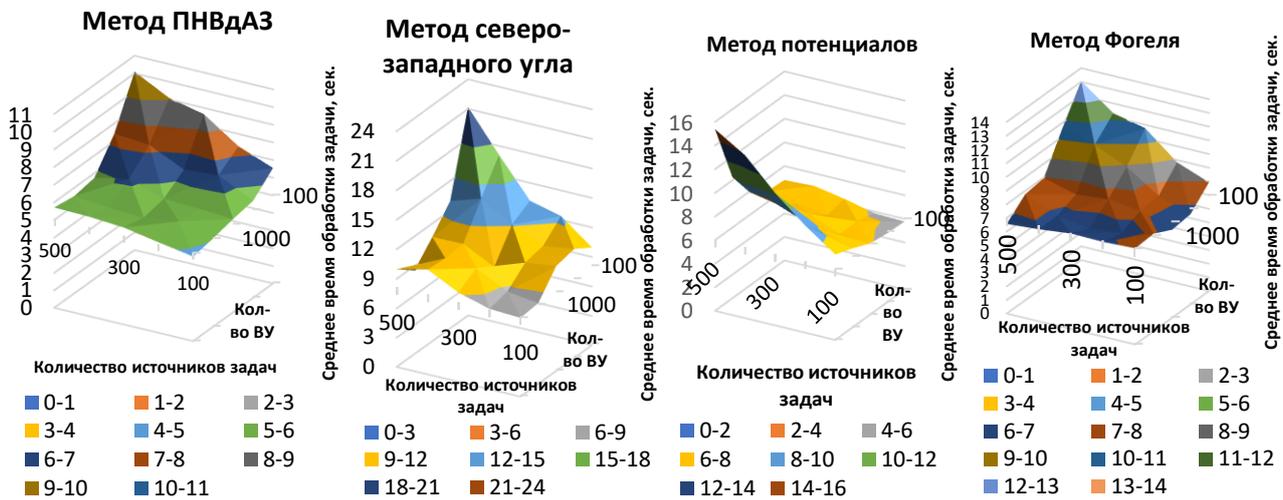


Рисунок 8. Время обработки задач при использовании алгоритмов методов решения ТЗсАПпКВ для распределения ресурсов ГРСОИ

В левой части рисунка 11 представлено среднее время нахождения задачи в ГРСОИ для алгоритмов распределения вычислительного ресурса, которые основаны на решении ТЗсАПпКВ. Рассматривалась модель сети с 2000 ВУ и количеством источников задач в зависимости от коэффициента загрузки. По данным моделирования видно, что алгоритм ПНВДАЗ обеспечивает наименьшее время выполнения, обладает небольшой вычислительной сложностью и дает незначительное количество «отложенных» задач.

В правой части рисунка 11 представлено количество отложенных задач для рассматриваемых алгоритмов. Алгоритм ПНВДАЗ дает наименьшее количество отложенных задач, так как он был изначально разработан с целью уменьшить количество задач, которые невозможно выполнить на одном ВУ из-за их загрузки. Сравнение данных на рисунке 9 подтверждает влияние количества отложенных задач на среднее время обработки заявки на вычисление в ГРСОИ.

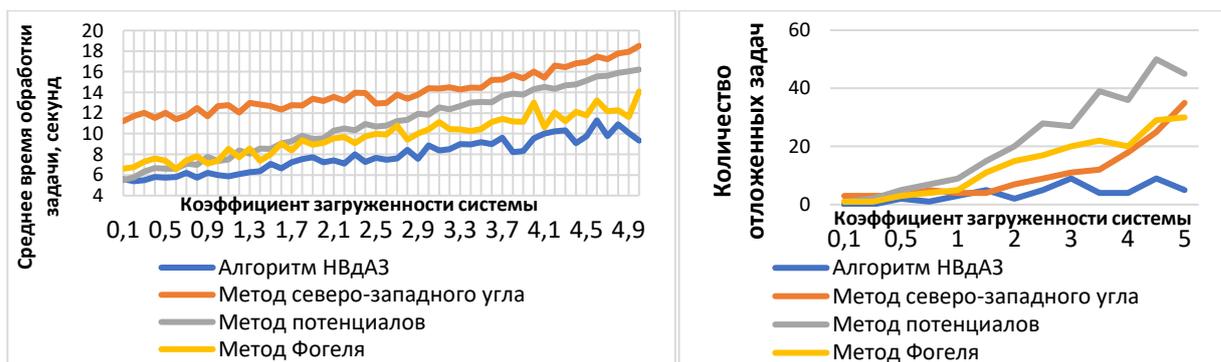


Рисунок 9. Результаты сравнения алгоритмов

Алгоритм ПНВДАЗ обеспечивает минимальное среднее время выполнения задач и это время достаточно стабильно (стандартное отклонение 1,6) относительно числа ВУ. Его рекомендуется использовать в случае, если требуется уменьшить время, за которое ЛПР получает результаты вычислений.

Выбор конфигурации ГРСОИ для заданного алгоритма маршрутизации. Рассмотрим обратную задачу: выбор конфигурации ГРСОИ

(количества управляющих агентов и ВУ) для приведенного алгоритма распределения нагрузки при количестве источников задач $|P_5| = 100$, генерирующих задачи в среднем каждые 30 секунд.

В качестве целевых измерений был выбран средний процент загрузки ВУ $\overline{utilasid}$, который должен быть приближен к максимальному, и процент отказа ВУ от обработки задачи из-за перегрузки, эта величина должна быть минимизирована, так как отказ ВУ означает возврат задачи на управляющий агент, и повторное ожидание построения маршрута, что увеличивает время выполнения задачи. В ИМ ГРСОИ были получены результаты измерений, представленные в таблице 2.

Как видно из таблицы, при малом числе ВУ средняя производительность максимальна, но доля отказов превышает 50%, что говорит о том, что система перегружена. При этом большое количество маршрутизирующих агентов увеличивает долю отказов, так как увеличивает вероятность коллизий, когда два маршрутизатора одновременно отправляют задачи на один и тот же ВУ, и нагрузка на него резко возрастает. Эти зависимости показывают графики на рисунке 10.

Таблица 2 – результаты измерений производительности при разной структуре ИМ ГРСОИ

Число маршрутизаторов, $ P_4 $	Число ВУ, $ P_1 $	Средняя производительность $\overline{utilasid}$, %	Доля отказов, %
3	15	80,08	55,05
5	15	79,92	55,82
10	15	79,94	55,55
15	15	79,53	56,21
20	15	79,65	57,32
5	20	79,03	40,74
15	20	78,85	46,58
5	30	75,04	21,37
15	30	75,01	22,58
5	40	73,30	12,93
15	40	71,99	14,87
5	50	72,38	9,01
15	50	72,50	10,29
20	50	66,54	17,65

Для рассмотренных конфигураций квазиоптимальной можно назвать ГРСОИ с $|P_4|=5$ и $|P_1|=50$, так как она обеспечивает минимальный процент отказов с высоким процентом использования ресурсов.

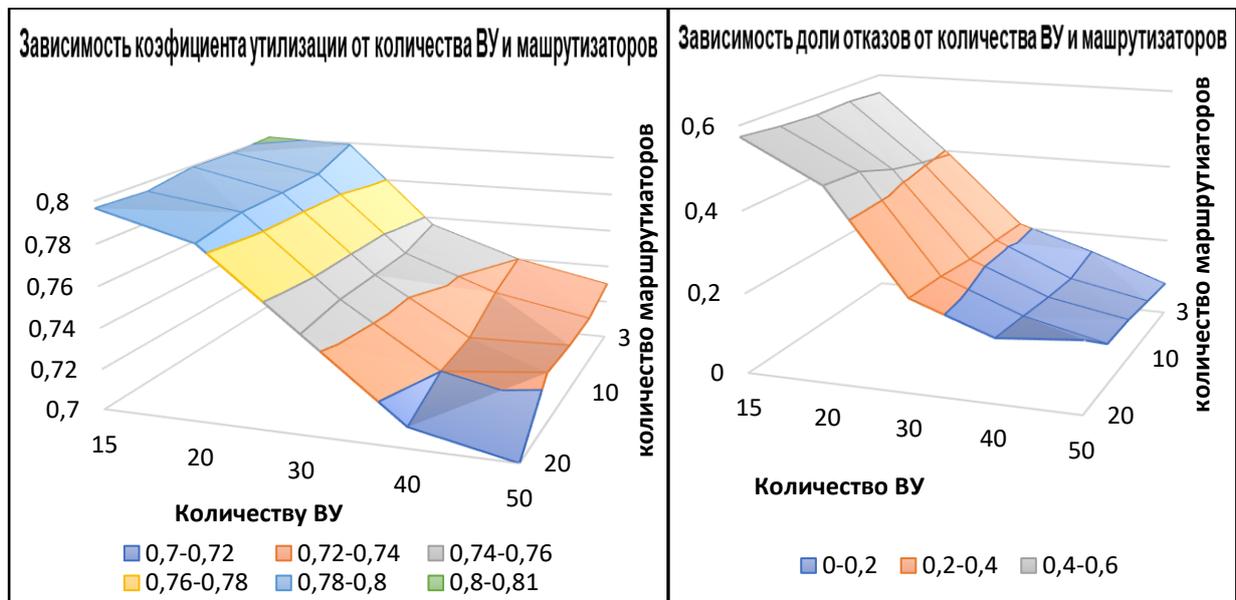


Рисунок 10. Зависимость производительности ГРСОИ от конфигурации оборудования

Разработанная ИМ ГРСОИ позволяет выбрать вариант конфигурации программно-технических ресурсов ГРСОИ, соответствующий требованиям ЛПР. Анализ допустимых конфигураций в ИМ и выбор из них той, которая обеспечивает удовлетворение ограничений, являются заключительными этапами технологии управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ.

Показано, что с помощью ИМ ГРСОИ можно выбрать программно-техническую конфигурацию с учетом ограничений, что верифицирует успешность применения технологии управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ. Таким образом, применение разработанной технологии поддерживает процесс принятия решений при управлении ГРСОИ.

Заключение. В результате проведенного научного исследования были получены следующие результаты:

1. Анализ существующих подходов и методов управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ показал, что они не учитывают следующие особенности ГРСОИ: формирование задач обработки данных внутри самой ГРСОИ; необходимость минимизации времени на выполнение задач, в том числе времени выполнения самого алгоритма распределения нагрузки; возможность распределения большого числа задач низкой вычислительной сложности, одновременно поступающих в систему; зависимость эффективности ГРСОИ от ее структурной конфигурации. Для устранения этих недостатков было решено разработать технологию поддержки принятия решений в области управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ, которая будет учитывать эти особенности ГРСОИ.

2. Разработана технология поддержки принятия решений в области управления программно-технической конфигурацией ГРСОИ, которая предоставляет комплекс методов и инструментов для анализа альтернативных конфигураций ГРСОИ и последующего выбора программно-технической конфигурации и алгоритма распределения ресурсов ГРСОИ в реальном времени, обеспечивающих распределение вычислительного ресурса ГРСОИ,

удовлетворяющее ограничениям. За счет использования аппарата имитационного моделирования технология повышает обоснованность принятия решений при управлении программно-технической конфигурацией системы.

3. Модифицирована формальная модель ГРСОИ, предлагающая систему классификации разнородных компонентов ГРСОИ. Модель учитывает гетерогенный характер решаемых в системе задач и позволяет использовать единую технологию поддержки принятия решений в области управления вычислительным ресурсом для ГРСОИ различных современных программно-технических конфигураций.

4. Обобщенная имитационная модель ГРСОИ позволяет анализировать работу таких систем как на уровне программно-технической конфигурации, так и на уровне управления вычислительным ресурсом в реальном времени. В работе показана применимость модели как для решения задачи выбора алгоритма балансировки вычислительного ресурса ГРСОИ, так и для решения обратной задачи подбора программно-технической конфигурации с заданными параметрами. Успешная апробация имитационной модели при принятии решения о выборе программно-технической конфигурации системы на реальных задачах доказывает возможность ее дальнейшего применения в практике системного анализа, управления сложными системами и для повышения эффективности обработки информации в гетерогенных распределенных системах.

5. Предложен алгоритм поиска наименьшего времени для атомарных задач. Вычислительный эксперимент на базе обобщенной имитационной модели показал преимущества предложенного алгоритма для решения задачи распределения нагрузки перед взвешенным циклическим алгоритмом и наивным алгоритмом распределения ресурсов.

6. Для сравнения алгоритма ПНВДАЗ с существующими методами решения транспортной задачи были модифицированы алгоритмы методов северо-западного угла, метода потенциалов и метода Фогеля. Модифицированные алгоритмы указанных методов учитывают условие атомарности потребностей, но они оказались менее эффективны в качестве алгоритмов распределения ресурсов, чем алгоритм ПНВДАЗ.

Разработанная технология, модели и алгоритм распределения ресурса ГРСОИ позволяют снизить среднее время обработки задач в ГРСОИ, уменьшить количество отказов вычислительных узлов от обработки задач из-за перегрузки, увеличить утилизацию вычислительного ресурса ГРСОИ, что оптимизирует управление вычислительным ресурсом ГРСОИ и на уровне программно-технической конфигурации, и на уровне управления вычислительным ресурсом в реальном времени.

Основные публикации по теме диссертации

В изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Пузанова Г.А.* Система оценки эффективности процесса управления информационными активами организации / О.А. Антамошкин, Г.А. Пузанова // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – № 3(53). – С. 73-76.

2. Пузанова Г.А. Особенности проектирования автоматизированной системы экспертной оценки информационной безопасности организаций / О.А. Антамошкин, Г.А. Пузанова, В.В. Онтужев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2013. – № 3(49). – С. 4-9.

3. Онтужева, Г.А. Моделирование системы управления ресурсами гетерогенной распределенной системы обработки информации на основе мультиагентного подхода / Г.А. Онтужева, О.А. Антамошкин // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2016. – Т. 17. – № 3. – С. 602-610.

4. Онтужева Г. А. Модели и методы оптимального управления программно-технической конфигурацией гетерогенных распределенных систем обработки информации / Г.А. Онтужева // Сибирский журнал науки и технологий. – 2020. – Т. 21. – № 4. – С. 492–498.

5. Онтужева, Г.А. Применимость транспортной задачи по критерию времени с атомарными потребностями для оптимизации управления вычислительными ресурсами в гетерогенных распределенных системах обработки информации / Г.А. Онтужева // Системы управления и информационные технологии. – 2021. – № 1(83). – С. 8-14.

В изданиях, индексируемых в базе Scopus:

6. Ontuzheva, G. A. Multicriterion problem of allocation of resources in the heterogeneous distributed information processing systems / O. A. Antamoshkin, T. R. Kilochitskaya, G. A. Ontuzheva [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk, 17–20 января 2018 года. – Tomsk, 2018. – P. 032162. – DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032162.

7. Ontuzheva, G. A. Simulation modelling of the heterogeneous distributed information processing systems / G. A. Ontuzheva, E. R. Bruchanova, I. N. Rudov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : electronic edition, Krasnoyarsk, 20–28 октября 2018 года. – Krasnoyarsk: IOP science, 2018. – P. 052018.

Публикации в сборниках трудов конференций:

8. Puzanova, G.A. Determining deficiencies in the management of information assets / G.A. Puzanova, O.A. Antamoshkin, M.V. Savelyeva // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации: материалы XIII Междунар. науч. конф. бакалавров, магистрантов и аспирантов, СибГАУ. 2014. – С. 210-211.

9. Using fuzzy logic to analyze an organizational measures impact and its tendency / A.G. Piatkov, G.A. Puzanova, O.A. Antamoshkin, M.V. Saveleva // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации: материалы XIII Междунар. науч. конф. бакалавров, магистрантов и аспирантов, СибГАУ. 2014. – С. 206-208.

10. Онтужева, Г.А. Методы оптимизации распределения ресурсов территориально распределенной многоуровневой вычислительной сети / Г.А. Онтужева // Международна научна школа "Парадигма". Лято-2015: сборник научни статии в 8 томах, Варна, 20–23 августа 2015 года. – Варна: ЦЕНТЪР ЗА НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ИНФОРМАЦИЯ "ПАРАДИГМА", 2015. – С. 185-190.

11. Онтужев, В.В. Проектирование системы управления проектами при неформальной организации разработки / В.В. Онтужев, Г.А. Пузанова, О.А. Антамошкин // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. творческой молодежи, посвященной 55-летию запуска первого искусственного спутника Земли. СибГАУ, 2012. – Ч. 1. – С. 402-403.

12. Пузанова, Г.А. Выявление наиболее эффективной автоматизированной методики оценки информационной безопасности / Г.А. Пузанова, В.В. Онтужев // Решетневские чтения: Материалы XVI междунар. науч.-практ. конф. в 2-х частях. Красноярск: СибГАУ, 2012– Т. 2. – С. 676-677.

13. Пузанова Г.А., Управление проектированием прикладных программных продуктов на базе системного подхода / Пузанова Г.А., Иконников О. А., Костянов М. С. // МГТУГА Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов участников Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 40-летию образования МГТУГА (26 мая 2011 года), Москва. – 2011. – С. 229.

14. Пузанова, Г.А. Применение нечеткой логики в системе расстановки приоритетов / В.В. Кукарцев, К.В. Кайлиулин, Г.А. Пузанова // Решетневские чтения: Материалы XV междунар. науч.-практ. конф. в 2-х частях. Красноярск: СибГАУ, 2011– Т. 2. – С. 621-622.

15. Пузанова Г.А., Анализ результатов поведения вирусов как часть поведенческого анализа. / Пузанова Г.А., Онтужев В.В. // Инновационные технологии в государственном и муниципальном управлении: материалы V Школы-семинара с международным участием, г. Красноярск – 2012. – С. 123

16. Пузанова Г.А., Применение нечеткой логики при проведении SWOT-анализа / Пузанова Г.А., Костянов М.С., Сычева Е. М. // Сборник трудов Научно-экономической конференции имени академика П. П. Маслова. 2011. — М.: НПУ «Федеративная информационная система». – 2011. – С. 121-129.

Зарегистрированные программные системы:

17. Антамошкин О.А. Программа, реализующая алгоритм определения значимых атрибутов информационных активов автоматизированных систем управления / О.А. Антамошкин, А.Н. Антамошкин, Г.А. Пузанова - М.: РОСПАТЕНТ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615061 от 15.05.14.

18. Онтужева Г.А. Имитационная модель гетерогенных распределенных систем обработки информации / Г.А. Онтужева - М.: РОСПАТЕНТ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020665275 от 25.11.2020.

* Пузанова Г.А. – фамилия соискателя до вступления в брак.