

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»



На правах рукописи

АУАД МАКСИМ САМИ

АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ПРОЦЕДУРНЫЕ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
РЕСУРСОВ В СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С
РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ

Специальность 05.25.05 – Информационные системы и процессы

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Ю.Ю. Громов

ТАМБОВ - 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ современного состояния и вопросов распределения ресурсов в сетевой информационной системе при ее синтезе	12
1.1 Современное состояние вопроса распределения ресурсов в сложных системах	12
1.2 Современное состояние и вопросы распределения ресурсов в СИС	15
1.3 Применение информационных систем для решения задач распределения ресурсов в СИС	20
1.4 Выводы по главе 1	27
2 Аналитические модели распределения ресурсов сетевых информационных систем с различной структурой	28
2.1 Аналитические модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево»	28
2.1.1 Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков	28
2.1.2 Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» (общий случай)	32
2.2 Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево»	36
2.3 Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево - дерево»	39
2.4 Выводы по главе 2	43
3 Процедурные модели распределения ресурсов в сетевых информационных системах с различной структурой	45
3.1 Процедурные модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево»	45
3.1.1 Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой	

«звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков	45
3.1.2 Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» (общий случай)	51
3.2 Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево»	57
3.3 Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево»	61
3.4 Выводы по главе 3	68
4. Вычислительный эксперимент на разработанных моделях	70
4.1 Описание моделей и схем информационной системы распределения ресурсов в СИС с различной структурой	70
4.2 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево»	74
4.2.1 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков	74
4.2.2 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» (общий случай)	80
4.3 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево»	85
4.4 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево»	89
4.5 Выводы по главе 4	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	94
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	97
Приложение А. Акты об использовании результатов исследования	109

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В современных условиях для обеспечения качественного анализа информационных процессов для принятия управленческих решений неминуемо приходится рассматривать вопросы, связанные с их организацией. Одним из важнейших звеньев системы поддержки принятия решений сетевая информационная система (СИС), которая представляет собой совокупность информационных центров (центральных узлов СИС), систем обработки, хранения и передачи информации. Интенсивное развитие информационных процессов привело к значительному усложнению СИС. Увеличивается количество конечных узлов СИС и узлов концентрирующих информационные потоки, происходит повышение их производительности, повышаются требования к пропускной способности каналов передачи информации в СИС.

В современных условиях одним из основных требований к СИС является требование ее эффективности, под которой понимается степень удовлетворения ею информационных потребностей необходимых для поддержки принятия решений в различных ситуациях, обусловленных как влиянием внешней среды, так и изменением внутренних параметров.

Анализ предметной области показывает, что в большинстве случаев при разработке СИС используется лишь накопленный инженерами опыт для получения наиболее подходящей структуры СИС. Такой подход не позволяет определить качественные характеристики функционирования СИС и обеспечить в полной мере выполнение требований ее эффективности.

Это определяет актуальность распределения ресурсов в СИС, под которым понимается определение связей между элементами СИС, при которых минимизируется стоимость ее синтеза и повышается качество ее функционирования.

Применение аппарата математического программирования для распределения ресурсов в СИС является трудно вычисляемой задачей, т.к.

принадлежит классу NP-полных задач. Это позволяет сделать вывод о необходимости разработки аналитических моделей распределения ресурсов в СИС и процедур, позволяющих получить решения за приемлемое время.

Степень разработанности темы исследования. Вопросам оценки качества функционирования сложных систем, к которым относятся СИС, посвящены работы В.Ф. Крапивина, И.А. Рябикина, Б.С. Флейшмана, Ю.М. Парфенова, Д.В. Ландэ, А.Г. Додонова, И.Ю. Стекольников, Ю.Ю. Громова, М.Х. Cheng, Y. Li, D.-Z. Du и др.

Анализ отечественных и зарубежных исследований в области анализа и синтеза СИС, а также распределения ресурсов в ней, включают три основных направления: определение количества узлов, концентрирующих информационные потоки в СИС; расположение таких узлов в СИС; определение структуры связи конечных узлов с узлами концентрации.

Анализ структур СИС, а также определение методов ее синтеза рассмотрены в работах Р. Бесслера, А. Дойча, Г.Т. Артамонова, В.Д. Тюрина. В работах В.Г. Лазарева, Г.Г. Савина, Г.Ф. Янбых, Б.А. Столярова, В.С. Лукьянова, L.R. Bahl и D.T. Tang, A. W. Neebe и M. R. Rao, H.G. Dysart и N.D. Georganas представлены эвристические методы синтеза структуры систем на основе заданного местоположения узлов.

Таким образом, **практическая задача** заключается в необходимости повышения качества и эффективности функционирования СИС, за счет распределения ее ресурсов

Научная задача исследования заключается в разработке аналитических и процедурных моделей распределения ресурсов в СИС, минимизирующих стоимость синтеза и обуславливающих повышение качества ее функционирования.

Объект исследования: сетевая информационная система с различной структурой.

Предмет исследования: аналитические и процедурные модели распределения ресурсов в СИС.

Цели и задачи исследования. Целью исследования является минимизация стоимости синтеза СИС и повышение качества функционирования за счет распределения ресурсов в ней с помощью построенных аналитических и процедурных моделей.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Анализ существующих подходов к распределению ресурсов в СИС при ее синтезе и оценке качества функционирования СИС.
2. Построение аналитических моделей распределения ресурсов в СИС с различной структурой, позволяющих минимизировать стоимость синтеза и повысить качество функционирования СИС.
3. Построение процедурных моделей распределения ресурсов в СИС с различной структурой, позволяющих минимизировать стоимость синтеза и повысить качество функционирования СИС.
4. Проведение вычислительных экспериментов на разработанных моделях.

Методология и методы исследования. Методология исследования основывается на принципах системного анализа и общей теории систем. При решении поставленных задач в работе были использованы методы: системного анализа, теории систем, теории графов, математического программирования, имитационного моделирования.

Результаты, выносимые на защиту, и их научная новизна:

1. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.
2. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», отличающаяся применением эвристического подхода, приводящего к сокращению вычислительных затрат.
3. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, при

которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.

4. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми информационными потоками, отличающаяся применением низкоскоростными информационными потоками при взаимодействии конечных узлов СИС и эвристического подхода, приводящего к сокращению вычислительных затрат.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость исследования обоснована разработанными моделями распределения ресурсов в СИС, при которых достигается повышение качества функционирования при минимальной стоимости ее синтеза.

Практическая значимость работы заключается в использовании программных реализаций разработанных аналитических и процедурных моделей для анализа и синтеза СИС с минимальными затратами, а также для исследования существующих с целью повышения качества и эффективности их функционирования.

Степень достоверности и апробация результатов.

Для подтверждения достоверности научных выводов в работе проведена сравнительная оценка результатов, полученных с использованием разработанных моделей, с результатами, представленными в научных исследованиях других авторов. Достоверность научных результатов обеспечивается полнотой системного анализа проблемы синтеза и повышения качества функционирования СИС и подтверждается корректным применением математического аппарата: теории систем, теории графов, математического программирования.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы-2011» (г. Воронеж, 2011г.); Международной научно-технической конференции «Современные

информационные технологии» (г.Пенза, 2014г.), XIV Международной научной конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» (г.Воронеж, 2014г.); а также на семинарах кафедры «Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК.

Внедрение результатов исследования. Основные положения работы диссертации использованы при обучении студентов кафедры «Информационные системы и защита информации» в Институте автоматизации и информационных технологий ФГБОУ ВПО «ТГТУ». Результаты диссертационной работы приняты к внедрению на кафедре «Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВПО «ТГТУ», в ООО «Медтехника», ООО «КОНУС-ИТ», Центрально-черноземном региональном учебно-научном центре при ФГБОУ ВПО «ТГТУ» по проблемам информационной безопасности, что подтверждено актами о внедрении результатов исследований.

Объем и структура работы.

Диссертация, общий объем которой составляет 114 страниц, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной научной литературы, включающего 155 наименований научных трудов на русском и иностранных языках, и приложения. Диссертация содержит 16 иллюстраций и 18 таблиц.

Работа соответствует п. 1 «Методы и модели описания, оценки, оптимизации информационных процессов и информационных ресурсов, а также средства анализа и выявления закономерностей в информационных потоках» Паспорта специальности 05.25.05 «Информационные системы и процессы».

Работа выполнена в рамках приоритетных научных направлений программы стратегического развития Института автоматизации и информационных технологий ФГБОУ ВПО «ТГТУ» и исследований научно-образовательного центра моделирования и управления информационными процессами и системами, и информационной безопасности в рамках научных школ ФГБОУ ВПО «ТГТУ» и ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова» РАН.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулирована цель работы, поставлены задачи, решение которых позволит достичь цели исследования.

В **первой главе** проведен обзор научных литературных источников, отечественных и зарубежных авторов, в которых рассматриваются вопросы анализа СИС, а также распределения ресурсов в СИС при ее синтезе.

Вторая глава посвящена разработке аналитических моделей распределения ресурсов в СИС в зависимости от ее информационной структуры, которая представляется одним из следующих типов: «звезда-дерево», «дерево», «дерево-дерево».

Третья глава посвящена разработке процедурных моделей распределения ресурсов в СИС с различной структурой, а также решения задач Лагранжа в аналитических моделях распределения ресурсов в СИС с различной структурой.

В **четвертой главе** описаны структуры информационной системы распределения ресурсов в СИС, проведен выбор среды реализации, представлены формы интерфейса пользователя, результаты проведенного вычислительного эксперимента и проверки разработанных аналитических и процедурных моделей.

В **заключении** сформулированы результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.
2. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.
3. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», отличающаяся применением эвристического подхода, позволившая получить результаты с отклонением в пределах 7-14 % от нижней границы.

4. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.

5. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

6. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», отличающаяся применением эвристического подхода, позволившая получить результаты с отклонением в пределах 5% от нижней границы за время в 2 раза меньшее.

7. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.

8. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

9. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми информационными потоками, отличающаяся применением низкоскоростных линий передачи информации при взаимосвязи конечных узлов СИС и эвристического подхода, позволившая получить результаты с отклонением в пределах 8-15 % от нижней границы для больших СИС и 3-5.5% для более простых случаев

В диссертации решена научная задача – построены аналитические и процедурные модели: определения параметров СИС со структурами «звезда-дерево» и «дерево-дерево» при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, что позволяет сделать вывод о выполнении цели исследования.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.
Разработанные модели целесообразно применять в организациях и учреждениях, разрабатывающих или обслуживающих разветвленную сетевую структуру с необходимостью хранения, обработки и передачи значительных информационных потоков.

1 Анализ современного состояния и вопросов распределения ресурсов в сетевой информационной системе при ее синтезе

Сетевая информационная система является многоуровневой иерархической структурой, включающей множество узлов, связанных между собой определенным образом. Таким узлами являются конечные узлы СИС, благодаря которым обеспечиваются процессы ввода/вывода информации и ее использования; узлы концентрации информационных потоков, благодаря которым осуществляется большая часть обработки, хранения и передачи информационных потоков в СИС. В ряде случаев один из узлов концентрации информационных потоков может назначаться центральным узлом СИС, исполняя роль информационно-управляющего центра.

В большинстве случаев при разработке СИС используется лишь накопленный инженерами опыт для получения наиболее подходящей структуры СИС и распределение в ней ресурсов, под которыми понимаются узлы СИС и связи, их связывающие. Такой подход не позволяет определить качественные характеристики функционирования СИС и обеспечить в полной мере выполнение требований ее эффективности. Это определяет актуальность распределения ресурсов в СИС, при которых минимизируется стоимость ее синтеза и повышается качество ее функционирования.

1.1 Современное состояние вопроса распределения ресурсов в сложных системах

В процессе моделирования сложных систем общепризнанно фундаментальное понятие «ресурсы» системы. В настоящее время многими авторами разработаны различные математические подходы для формализации описания данного понятия в контексте системы [1-8].

Выбор ресурсов и их распределение в системе это два наиболее часто встречающихся видов действий над ресурсами [9]. Следует отметить, что чаще

всего задачи, соответствующие этим видам действий над ресурсами, формируются независимо друг [2, 7]. В общем случае эти задачи совместимы так как логически вытекают одна из другой, а следовательно их требуется решать в рамках общей ресурсной модели [9].

Выбор ресурсов можно осуществлять различными способами. Самые простейшие из этих способов – на «глазок» [10] и использование априорной информации [11]. В классе подобных методов отметим таксономические методы [10-14]. Это методы развивают совокупность данных на непустые и непересекающиеся множества.

В случае использования нечеткой информации можно применить следующие методы: по степени разделения функций принадлежности [15], сравнение с эталоном [16], построение нечетких классификаций [17, 18] и др. [9].

В литературе уделяется достаточное внимание методам, благодаря которым происходит выявление признаков объектов [5,11-13,19-21]. Они делятся на две группы [11], которые основаны на редукции признаков, характеризующих изучаемый объект. Методы, дающие неполную редукцию, относятся к первой группе, а ко второй – полную [11,22]. Стоит отметить, что факторный анализ, также позволяет получить , так полную, так и неполную редукции [23,24]. К другим методам относят метод потенциалов [14] и метод центра тяжести [25,26].

Методы, используемые при решении задач распределения ресурсов в системах, разделяются на простые переборные методы, и методы математического программирования [9]. В связи с тем, что эффективность переборных методов крайне низка, поскольку задачи распределения ресурсов относятся к NP-полным задачам [27], то для ее решения используются в основном методы второго типа [1,2,4,8,10, 28-35].

В первые задачи распределения ресурсов, как элементы математической теории, были сформулированы Л.В. Канторовичем. Данный подход не нашел распространения и применения, чему послужили трудности проведения сложных вычислений, возникшие из-за отсутствия эффективных средств вычислений.

В 1947г. был разработан метод решения задачи линейного программирования с одним критерием, который получил широкое распространение и которому посвящено большое количество публикаций [9,36,37,38]. Следует отметить, что методы линейного программирования могут применяться только в ограниченной области решения задач распределения ресурсов, поскольку они требуют условия линейности критериальной функции и ограничений, чего во многих реальных задачах не наблюдается.

Существуют методы нелинейного программирования, которые подразделяются на методы условной и безусловной оптимизации [39, 38]. В [40] проведено сравнение методов безусловной оптимизации. В качестве основного метода, который базируется на градиентном подходе, остается метод наискорейшего спуска. Одними из самых эффективных методов безградиентного решения являются методы Зангвилла и Розенброка. Методы штрафных функций, барьеров и разного рода направлений применяются при решении задач нелинейного программирования, в которых ограничения имеют форму равенства и неравенства.

Указанные методы позволяют решать задачу распределения ресурсов в случае, использования непрерывных функций, но данная ситуация в реальной практике не настолько распространена как ситуация с распределением «дискретных» ресурсов. Эти задачи являются во многом другим классом задач распределения ресурсов, и следовательно требуют применения иных подходов к решению.

Решение подобных задач является более сложной проблемой, что и отмечается в [28], так как эта задача относится к NP-полной, являясь комбинаторной задачей дискретной оптимизации, чья сложность точного решения является экспоненциальной.

Точные методы дискретной оптимизации существуют лишь для отдельных классов задач [41]. Для задач целочисленного линейного программирования и нелинейного дискретного программирования используются приближенные методы и метод ветвей и границ [42, 9].

1.2 Современное состояние и вопросы распределения ресурсов в СИС

Синтез СИС требует ответов на следующие вопросы: каково число узлов концентрации информационных потоков в СИС и доступные места из расположения; какова структура взаимосвязей конечных (пользовательских) узлов с узлами концентрации информационных потоков в СИС; какова взаимосвязь между узлами концентрации информационных потоков и центральным узлом в СИС [43,44-62].

Так как общая задача относится к классу NP-полных задач, большинство исследований предлагает способ декомпозиции задачи на более простые составные части, которые тоже, в свою очередь, могут быть разбиты на подзадачи, пока удовлетворяющее решение не достигнуто [63-64, 65].

Задача соединения конечных узлов с центральным посредством использования узлов концентрации может быть разбита на две подзадачи. Одна подзадача включает выбор лучшего местоположения для узла концентрации информационного потока, вторая предполагает поиск оптимального способа соединения конечных узлов с ближайшим узлом концентрации. При многократном решении двух вышеупомянутых задач может быть получено адекватное решение общей задачи. Также разработаны алгоритмы жадных эвристик для решения этой задачи рекурсивно. Данные алгоритмы достаточно просты, но решение по ним далеко от оптимального при рассмотрении общей задачи [66,43].

Классическая задача о расположении узла концентрации была изучена Л. Балом и М. Тангом; А. Ниби и М. Рао; Г. Дисартом и Н. Георганасом [67-69]. МакГрегор, Шеен, Шнейдер и Застров представили различные эвристические алгоритмы для решения этой задачи [70-71], при том что, исследования проводимые до них не предполагали способа оценки качества решения (такие, как расстояние от нижней границы).

Э. Мирзаян разработал алгоритм, основанный на применении релаксаций Лагранжа, благодаря чему была получена нижняя граница при условии, что

каждый конечный узел имеет одинаковую коммуникационную нагрузку на СИС [72]. Подобный алгоритм представили Клиенцевиц и Луссв, и Ло и Кершенбаум [73-74]. Х. Пиркуль представил иную модель более эффективную и включающую в себя существенную оптимизацию по сравнению с ранее рассмотренными моделями [75]. Эту модель, позже, усовершенствовали в оригинальную модель Пиркуля с возможностью добавления возможности расширения покрытия, и поэтому в процессе проектирования появились задачи решения проблем надежности. Большинство перечисленных алгоритмов подразумевает соединение конечных узлов непосредственно с узлами концентрации или центральными узлами СИС [76-78].

В то время как эти методы требуют связи конечных узлов с узлом концентрации или центральным узлом СИС, уменьшение стоимости синтеза СИС может быть получено за счет разрешения множественных конечных узлов с целью использования низко- и среднескоростных линий связи и метода «опроса». Обычно эта задача решается независимо от задачи о расположении узла концентрации рекурсивно [79]. Большинство эвристик, разработанных для синтеза подобных систем, основано на фундаментальном решении, представленном Кляйнроком, который доказал, что при большом количестве запросов полная загрузка системы есть сумма средних загрузок ее подсистем [80]. Другой способ найти золотую середину, не загружая СИС запросами – корректировать мощность в формулировке задачи, снижая ее, для гарантирования стабильной работы в пиковые периоды, но при этом уровень загруженности СИС не будет максимальным. Таким образом, известный средний уровень загруженности может быть полезен при разработке большой локальной СИС. Именно поэтому проектирование доступа локальной СИС включает в себя задачу обхода дерева минимальной мощности (CMST) с одинаковыми значениями информационного потока на каждом конечном узле (рисунке 1.1). Х. Пападимитриу доказал, что эта задача NP-полная [81].

Решение задачи CMST было целью большого количества научно-исследовательских работ. Учитывая тот факт, что задача NP-полная, Гэвиш

заметил, что оптимальные алгоритмы, основанные на таких методах, как метод ветвей и границ, не являются эффективными для решения данной задачи, так как такие методы занимают слишком много вычислительного времени. Единственной логичной альтернативой может стать алгоритм, использующий эвристические методы с условием, что в функциональных значениях должна быть принята некая субоптимальность [82].

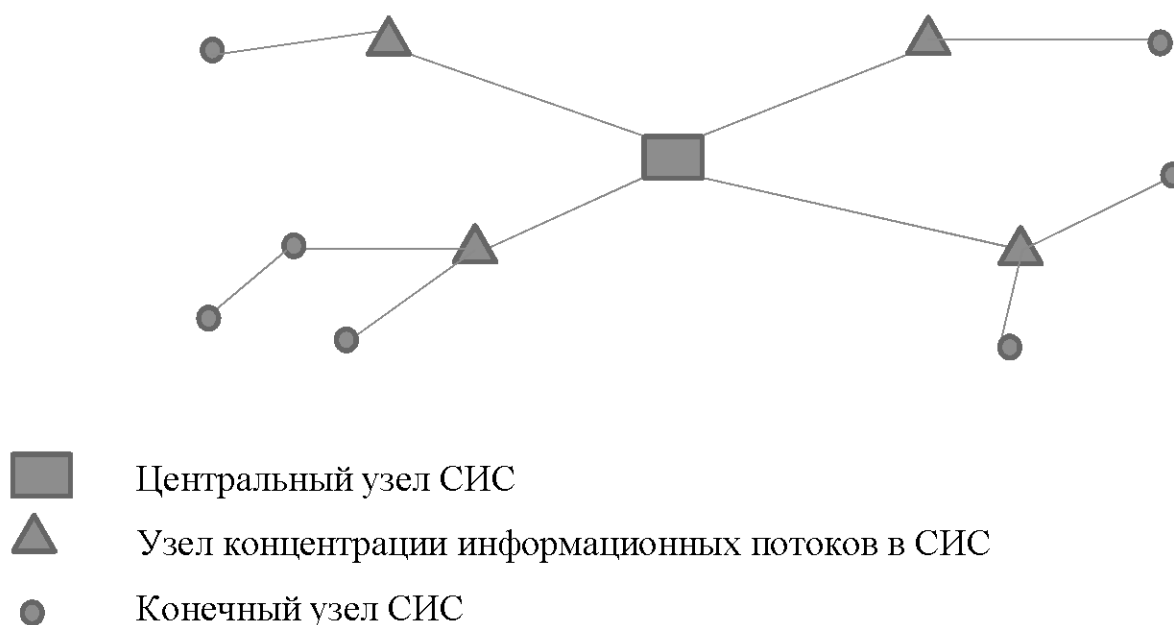


Рисунок 1.1 - Сетевая информационная система со структурой «звезда-дерево»

Учитывая тот факт, что задача CMST имеет много общего с задачей естественного минимального обхода дерева (но намного труднее для поиска оптимального решения), жадные алгоритмы решения этой задачи были представлены Крускалем и Примом, однако эти методы все равно дают решение, далекое от оптимального [83, 84]. Эссо и Уильямс представляют самую эффективную эвристику для этой задачи. Они заметили, что даже для больших СИС их алгоритм дает обоснованное решение за небольшое вычислительное время [85]. Подобные алгоритмы представили Шарма и Эль-Бардаи, Кершенбаум

и Слайк, Ченди и Рассел [86-90]. Однако, среди всех этих алгоритмов нет ни одного, который дает абсолютную гарантию правильности решения. Гэвиш и Эльтинкемер создали параллельно-вычисляющую эвристику, которая расходовала несколько больше времени, чем алгоритм Эссо и Уильямса, но давала худшую границу [85, 91, 92]. Паттерсон представил гибридную нейронную сетевую систему, основанную на алгоритмах для решения этой задачи [93]. Решения, полученные этим методом, успешно сравнились с полученными Каватрой при помощи эвристики, тестируемой на разреженной СИС [94].

Другой подход в получении эвристик для задачи CMST представлен в исследованиях Гэвиша, который представил различные формулировки и решения этой задачи, используя функции Лагранжа с переменными значениями эффективности. Такие методы дали преимущество в нахождении нижней границы с допустимым решением с таким условием, что качество решения может быть оценено за счет существенно большего вычислительного уровня [82,95-96]. Каватра представил множественную формулировку задачи CMST с использованием метода релаксаций Лагранжа, чтобы решить достаточно большую часть случаев задачи с отклонениями 2-12% от нижней границы. Каватра сравнил свою эвристику с работами Гэвиша, Прима, Кершенбаума и Чоу, Эссо и Уильямса и получил хорошие результаты относительно погрешности между решением и границей. Но все равно попытки поиска оптимального алгоритма не увенчались успехом из-за его сложности [84,85,94,95,97]. Последнюю попытку предпринимали Малик и Ю, используя метод ветвей и границ. Однако в исследуемых ими СИС максимум конечных узлов составлял 40 [98].

Другой способ соединения узлов концентрации подобен задаче Штайнера о графах [99, 100]. Задача Штайнера рассматривает объединение подмножества узлов СИС топологией дерева (рисунки 1.2, 1.3). Эта задача достаточно давно известна в теории графов и, как это известно, является NP-полной. Как утверждали Хуань и Ричардс, наиболее оптимальные алгоритмы из

существующих могут решать эту задачу для 30 узлов (всей системы целиком) [100].

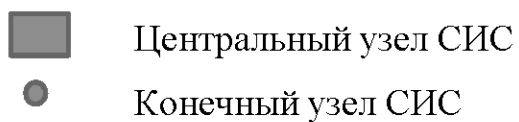
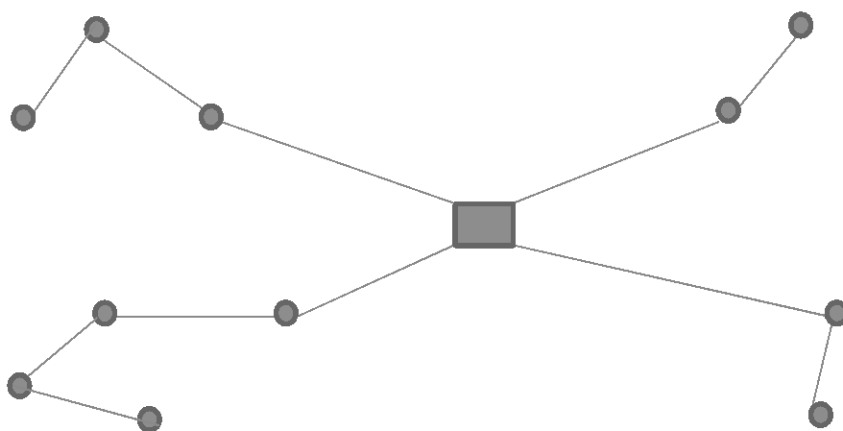


Рисунок 1.2 – Сетевая информационная система со структурой «дерево»

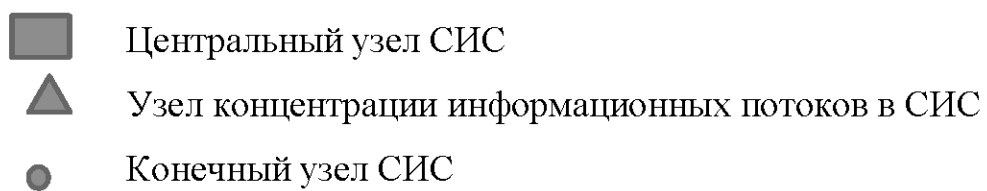
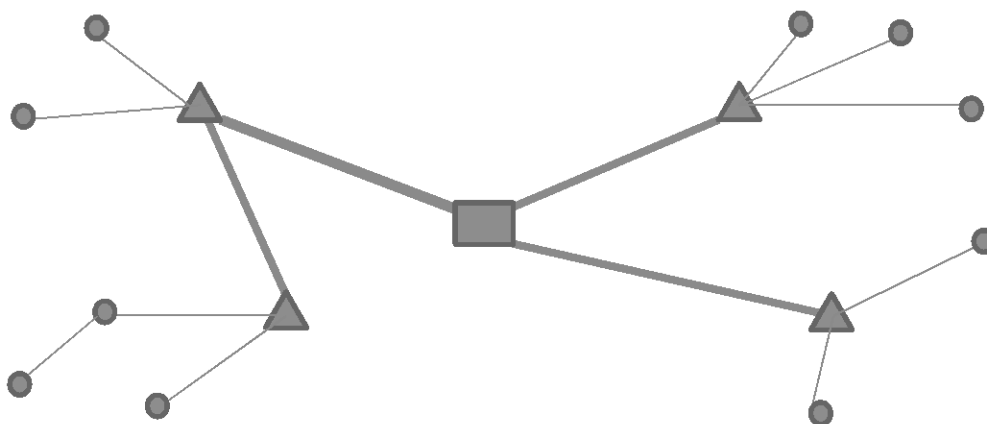


Рисунок 1.3 – Сетевая информационная система со структурой «дерево – дерево»

Пиркуль и Нагараян представили решение этой задачи для конкретного случая задачи – расположения узлов концентрации по топологии «звезда», где конечные узлы соединены с узлами концентрации с помощью выделенных связей, если есть путь от каждого узла концентрации до центрального узла СИС. Этот алгоритм, как выяснилось, очень эффективен, и обеспечивает очень небольшое отклонение от нижней границы. Но при этом во всех представленных моделях конечные узлы непосредственно соединены с центральным узлом СИС или узлами концентрации выделенными линиями [101].

1.3 Применение информационных систем для решения задач распределения ресурсов в СИС

В основном, решение задач состоит из двух основных этапов: представление и, собственно, решение. Представление включает преобразование описания задачи во внутреннее понимание исследователя. В этом случае система поддержки принятия решений (СППР) должна оказать помощь, представляя информацию в виде, наиболее близко соответствующему собственному представлению лица принимающего решения (ЛПР), а также предоставляя ему набор инструментов, которые могут оказать помощь в поиске оптимального решения. Эта информация должна содержать некоторую форму познавательного стимула, который даст ЛПР сигнал о том, какие идеи могут быть верными. ЛПР может затем создать собственные эвристики и затем выбрать из них наиболее подходящую по некоторым критериям. С того времени, как исследования показали, что стиль мышления, возраст, и т. д. ЛПР сильно влияют на эффективность всей системы, способ подачи этого стимула должен быть подходящим для среднего человека, чтобы снизить влияние индивидуальных различий на качество принятия решений [102-106]. Существует широко распространенное мнение, что большинство людей создает воображаемые образы и управляет ими во время структурирования и решения задач, как бы добавляет «графический режим» [107]. Более того проведенные исследования определяют,

что визуализация задачи расположения помогает в интуитивном понимании решения задачи [108-109].

Последние исследования подчеркивают важность влияния инструментов поддержки принятия решений на человеческое сознание. Чу и Элам изучили вопрос «вызванной системной ограниченности», из-за которой СППР может ограничить человеческое поведение при принятии решения до более узких рамок, нежели система физически позволяет [110]. Исследование Гэрлэйна показало, что человек, использующий инструмент поддержки принятия решений, должен четко понимать «стратегию» работы информационной системы и представление соответствующей модели в данной системе. Таким образом, если человек ясно представляет, с помощью каких средств информационная система выполняет определенные задачи, в этом случае задача принятия решения становится несколько проще. Также, пользователь не должен ограничивать себя в выборе эвристики для использования в решении поставленной задачи [111]. Следовательно, если инструмент поддержки принятия решений ограничен выполнением фундаментальных числовых операций (например, сортировка или поиск), а исследователь возлагает на себя образное представление проектируемой модели, в таком случае системная ограниченность из исследования Чу может быть преодолена в значительной степени [110].

Широко известен тот факт, что способность человека умственно охватывать комплексное представление задачи ограничена [112, 113]. Но в каком виде тогда должна быть подана задача для облегчения понимания? Многие исследователи оценивали использование графического представления задач.

Полич и Шварц показали, что графические средства делают задачу на использования дедуктивного мышления более понятной [78]. Также, визуальные методы дали более точное понимание задачи, улучшили производительность работы над задачей и более точное решение в некоторых областях [114]. Однако, Де Санктис в исследовании заметил, что конкретное решение зависит от эффективности использования графики в информационной системе [115]. Таким образом, важно учитывать и условия, при которых могут наиболее эффективно

использоваться графические средства. Использование графических возможностей информационных систем (по мнению большинства исследователей) может быть несколько избыточным [116]. Экспериментальные оценки эффективности использования графических средств для решения задач достаточно противоречивы и спорны [117-121]. Но важно учитывать, что виды графики, проанализированные Де Санктисом и Айвсом были в основном статическими (графики, таблицы, и т.д.) [115, 116]. До 1985 г. существовало техническое ограничение в использовании графических средств информационных систем, в современных же условиях хоть и возможно создать достаточно подробное представление модели (проектирование в трехмерном пространстве, и т. д.), нужно грамотно проработать систему отображения выполняющегося или выполненного процесса на устройстве вывода, и если такое отображение недостаточно ясно представлено, даже самая сложная графическая система передаст лишь необработанные данные.

Ларкин и Саймон подчеркивают, что диаграммы могут быть более наглядны, чем словесное описание, так как: на диаграмме вся уместная информация сгруппирована; помогает сделать легко воспринимаемые для людей выводы [122].

Однако для облегчения понимания информации диаграмма должна логически верно группировать информацию, дабы впоследствии она была способной привести к осмысленным выводам. Как утверждают многие исследователи этого вопроса, построение диаграмм без учета приведенных выше принципов приводит к тому, что диаграмма не является полезной. Следовательно, важно сохранить реального мира на экране таким образом, чтобы понимание конкретного примера задачи не занимало больших умственных усилий. Важность понимания отображения информации должна быть учтена [123, 124]. Кэррол, Томас и Малхотра обнаружили, что при решении изоморфной задачи объект, снабженный информацией о своем пространстве, нагляднее представлен, чем объект, снабженный только информацией о времени, иными словами, описание объекта в пространстве было более полезным, чем во времени [125]. Также, Весси

определил, что должно быть логичное соответствие между заданием и его представлением (в виде графика или таблицы). Отсюда можно сделать вывод, что работа над задачей будет улучшена, если это соответствие будет иметь место при графической реализации задачи [126].

Визуально-интерактивный подход к принятию решения следует логически из понятия СППР, сформулированного Кином и Мортонем [127]. Этот подход достаточно широко распространен в последнее время, ввиду повсеместного использования информационных систем, и, в частности, графических средств этих систем. Таким образом, применение графических средств в решении задач достаточно оправдано. Бэллоу и Мастерс в обзоре программной среды определения местоположения подчеркивают важность использования графических способностей, в особенности, их простоты в использовании [128]. Именно визуальная графическая система является посредником между исследователем и информационной системой, тем самым инструментом, который помогает установить связь между человеком и вычислительными ресурсами. Белл добавил, что существует много разногласий в вопросе, что должна содержать DSS. Поэтому в данной работе будут использованы визуальные системы поддержки принятия решений в областях непосредственно решения задач, структурирования и моделирования [129].

Касанен представил целостную систему не группированных многомерных профилей (профиль, обращенный к не группированному набору данных), которая предполагает визуализацию информации о системе посредством преобразования числовых данных в графические изображения. В таком представлении графика дает возможность более глубоко изучить условия задачи [127].

Визуальное интерактивное моделирование (ВИМ) – такое аналитическое представление модели, при котором исследователь может взаимодействовать с программой, используя свои знания [129-131]. Более того, существует возможность интеграции ВИМ с искусственным интеллектом [132]. Обзор строителей виртуальных моделей был выполнен Керкпэтриком и Бэллом.

Результаты обзора указывают на то, что, с практической точки зрения, разработка модели, существенно упрощает моделирование [133].

Задачи теории графов достаточно наглядно реализуемы визуально. Дао, Хабиб, Ричард и Тэллот разработали систему, позволяющую решать многие задачи теории графов объектно-ориентированным способом. Фактически, с увеличением производительности графических интерфейсов, было получено достаточно много инструментов для работы с графическим анализом задач [134]. В 1992 г. был разработан EDINET, сетевой редактор, отображающий и позволяющий редактировать настройки сетевой системы, тогда же появился NETPAD – программа для моделирования и оптимизации сетевых систем, имеющая интуитивно понятный пользовательский интерфейс [135]. Также существует инструмент под названием GIN – визуальная программа для моделирования сетевых информационных систем [136]. В 1992 г. Джонс представил визуальную программу для анализа чувствительности. В его работе приведено множество способов исследования такого рода задач [137].

Прайт использовал относительную модель семантической сетевой системы, чтобы графически представить результаты в GISMO, инструменте для организации визуализации и структурирования [138]. Позже, в 1990 г. Прайт использовал подход на основе кадров для этой же модели. Он сделал вывод, что визуальное представление представляет собой достаточно удобное средство для структурного подхода в моделировании, и такое представление удобно использовать для интерактивного представления фактов, концептуальных идей, которыми непосредственно может управлять пользователь. Это упрощает творческую часть моделирования, по сравнению с использованием традиционного языка моделирования [139].

Беккер, Эйк и Уилкс исследовали использование графических систем для моделирования крупных сетевых информационных систем и обнаружили значительные трудности в визуализации таких систем, как AT&T в США [140]. Домих, Хоффман, Джексон и МакКлэйн изобрели модель графического микрокомпьютера для моделирования сетевой системы фиксированного размера с

возможностями размещения узлов, минимизации расстояния и затрат. Создав графическое меню и сделав возможным отображение на экране почтового индекса ключевых районов, авторы применили эту систему для рассылки налоговых квитанций [141]. В 1983 г. Бхатнагар описал программу, использующую интерактивную оболочку для определения местонахождения центров социального обеспечения [142]. Диксон продемонстрировал полезность такого интерактивного подхода для моделирования сетевых информационных систем с использованием компромиссного программирования [143].

Географическая информационная система Tolomeo, разработанная Энджерном и Лутхи является ярким примером приложения, основанным на вышеупомянутой теории сетевой визуализации в контексте СППР. Эта система предполагает представление данных, основанное на знаниях, разрешая пользователю управлять настройками системы и использовать алгоритмы для решения задач местоположения [144].

Возможно, наиболее близкими к данной работе будут работы Харриона; Мака, Шрикантха, и Мортон; Скрябина и Верджина; Кролака, Фелтса и Нельсона [109, 145-147]. Харрион описал визуально-интерактивный метод для улучшения решения задачи о коммивояжере. Используя простой визуальный инструмент (в основном, только для отображения решений), он получил решение, отличное на 4 % от эвристического [145]. Мак, Шрикатх и Мортон привели экспериментальные данные для той же задачи, которые превзошли по точности эвристические данные [146]. Решая задачу о расположении завода, Скрябин и Верджин показали на примере, что человек без использования информационной системы может получить результаты лучшие, чем с ее использованием [109]. О подобных результатах сообщили Трайбус и Хопкинс при решении той же задачи [148]. Кролак, Фелтс и Нельсон использовали человеко-машинный подход к решению обобщенной задачи о парковке грузовика, и предоставили графическое представление промежуточных решений. Пользователь мог в интерактивном режиме самостоятельно изменять условия и использовать различные эвристики для полного решения задачи. Исходя из результатов, авторы программы

сообщили, что человеко-машинный инструмент привел к лучшим решениям, чем те, что были получены программами [147]. Подобным образом Фишер предложил интеграционное человеко-машинное устройство для того, чтобы человек мог вмешиваться в работу алгоритма, используя собственные особенности восприятия информации, которые вычислительная система не имеет [149].

Джонс в многостороннем обзоре визуализации и визуальных программ, отмечает, что решение задач требует большего, чем просто знания алгоритма, а также оно состоит из процесса преобразования различных представлений или, проще говоря, визуализации. Он считает, что если визуализация решения и/или процесс решения нуждается в улучшении, исследовании, то необходимые исследования и улучшения обязательно должны быть сделаны. Более того, если есть возможность улучшить визуализацию так же значительно, как некогда улучшались алгоритмы, обязательно необходимо моделировать и делать программы наиболее эффективными [150, 151].

Понятие совместного человеко-машинного решения задач является фундаментальным для большинства вышеупомянутых научно-исследовательских работ. Однако в достаточно далеком прошлом не было визуального представления для использования при решении задач. Основная идея организации данной работы такова – используя грамотное разделение рабочей силы (всю трудную вычислительную работу возлагая на информационную систему, а творческой занимаясь самостоятельно), можно значительно облегчить задачу. Такая совместная работа может быть более эффективной, чем при выполнении работы вручную, или же, наоборот, возлагая ее на компьютер, так как при логичном разделении обязанностей каждая сторона использует свои сильные стороны. В мире, где появляются все более и более сложные вычислительные системы, данное исследование подчеркивает важность решений именно человека и преимущества использования человеческого мозга, который Прахт назвал «человеческим процессором» [138].

1.4 Выводы по главе 1

Анализ научных публикаций позволяет сделать вывод о значимости следующих вопросов в процессе синтеза новой СИС или в совершенствовании существующей: определение числа узлов, входящих в СИС и концентрирующих информационные потоки в ней; доступные места размещения таких узлов; определение информационной структуры и связей пользовательских узлов с узлами концентрации информационных потоков; определение и установка связей между доступными узлами концентрации и центральным узлом СИС.

Так как рассматриваемые задачи NP-полные, то оптимальные алгоритмы, основанные на таких методах, как метод ветвей и границ, не являются эффективными, так как они требуют слишком много вычислительного времени.

Применение аппарата математического программирования для распределения ресурсов в СИС является трудно вычисляемой задачей. Это позволяет сделать вывод о необходимости разработки аналитических моделей распределения ресурсов в СИС и процедур, позволяющих получить решения за приемлемое время.

Таким образом, результаты исследований, проведенные на основе изучения предметной области, позволили сформулировать цель и задачи исследования.

Целью исследования является минимизация стоимости синтеза СИС и повышение качества функционирования за счет распределения ресурсов в ней с помощью построенных аналитических и процедурных моделей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Построить аналитические модели распределения ресурсов в СИС с различной структурой, позволяющих минимизировать стоимость синтеза и повысить качество функционирования СИС.
2. Построить процедурные модели распределения ресурсов в СИС с различной структурой.
3. Провести вычислительные эксперименты на разработанных моделях.

2 Аналитические модели распределения ресурсов сетевых информационных систем с различной структурой

В главе разрабатываются аналитические модели определения параметров СИС, минимизирующих стоимость синтеза и обуславливающих повышение качества функционирования.

2.1 Аналитические модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево»

Как показано в главе 1 одной из структур СИС является структура вида «звезда-дерево». При рассмотрении СИС такого типа существует два варианта ее синтеза. Первый вариант предусматривает следующие ограничения: используются узлы концентрации информационных потоков одного типа с одинаковыми характеристиками, а связи, соединяющие узлы концентрации с центральным узлом СИС, ограничены только одной разновидностью и обладают одинаковой мощностью. Вторым вариантом является общий случай СИС, на которую не наложены ограничения на идентичность узлов концентрации и связей.

2.1.1 Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков

Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии выполнения следующих ограничений: используются узлы, концентрирующие информационные потоки, одного типа с одинаковыми характеристиками; связи, соединяющие эти узлы концентрации с центральным узлом СИС, ограничены только одной разновидностью и обладают одинаковой мощностью, представлена следующим образом.

Необходимо минимизировать стоимость соединения конечных узлов СИС друг с другом или с узлом концентрации информационных потоков

$$\sum_{i \in W} \sum_{j \in W \cup C} C_{ij} X_{ij} + \sum_{j \in P} \hat{C}_j Y_j \rightarrow \min \quad (2.1)$$

при ограничениях:

(2.2)

(2.3)

(2.4)

(2.5)

(2.6)

(2.7)

(2.8)

(2.9)

(2.10)

(2.11)

(2.12)

(2.13)

(2.14)

где P – множество индексов расположений узлов концентрации информационных потоков СИС $|P| = m$; I – множество индексов расположений конечных узлов СИС $|I| = n$; W – множество индексов, где $W = I \cup P$; C – центральный узел; d – трафик конечного узла; Q – мощность каждого узла концентрации информационных потоков в СИС; K – мощность связи конечного узла СИС с другим конечным узлом; C_{ij} – стоимость подключения узла i к узлу j ; C_{kc} – стоимость подключения узла концентрации информационных потоков в СИС к центральному узлу СИС, где $C_{kc} = 0 \forall k \in P$; C_j – стоимость открытия узла концентрации информационных потоков j и подключения к центральному узлу. Значения C_{ij} и C_j определяются следующим образом $C_{ij} = C_{ij}^1$, если между узлами i и j существует связь; и $C_{ij} = C_{ij}^2$ в противном случае; $C_j = C_j^1$, если узел концентрации j активен и соединен с центральным узлом C , и $C_j = C_j^2$ в противном случае.

Ограничение (2.2) создает только одну инцидентную дугу для каждого узла. Ограничение (2.3) связывает переменные с дугами. Ограничения (2.4), (2.5)

и (2.6) – ограничения по объединенным мощностям. Сохранение информационного потока организовано ограничениями (2.7)–(2.10). Ограничение (2.11) гарантирует, что узел концентрации открыт, если у него есть некоторые поступающие в него дуги.

Оптимизационная задача, представленная аналитической моделью (2.1)–(2.14), принадлежит классу трудно вычисляемых задач.

Доказательство: NP-полнота задачи, которая представлена аналитической моделью (2.1)–(2.14), доказывается следующим образом. Рассмотрим частный случай данной задачи, при котором стоимость на всех дугах, соединяющих узлы концентрации информационных потоков в СИС с центральным узлом, одинакова. Тогда, пусть мощность связи k будет равна d (трафик в каждом конечном узле), и мощность всех узлов концентрации будет равна общей мощности системы (d^* число конечных узлов). В этом случае задача сводится к задаче о расположении завода. Поскольку эта задача относится к классу NP-полных задач [152], то и задача, представленная аналитической моделью (2.1)–(2.14), по аналогии является NP-полной.

Для получения более плотных нижних границ в модель (2.1)–(2.14) добавлены следующие ограничения:

$$\text{ограничение на выход из цикла на } X_{ij}, \quad (2.15)$$

$$f_{ijc} \leq Y_j d, \forall i \in I, \forall j \in P \quad (2.16)$$

Умножив ограничения (2.3), (2.4), (2.5), (2.6), (2.11) и (2.16) на неотрицательные множители $a_1, a_2, a_3, a, a_5, a_6$, которые также добавлены в функцию (2.1), получена задача Лагранжа

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in W} \sum_{j \in W \cup C} C_{ij} X_{ij} \\
& + \sum_{j \in P} \hat{C}_j Y_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{2ijk} \{f_{ijk} - dX_{jk}\} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijk} - (K - d)X_{jk} \right\} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijk} - KX_{jk} \right\} \\
& + \sum_{j \in P} a_{5j} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijc} - QY_j \right\} \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{j \in P} a_{3ij} \{X_{ij} - Y_j\} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in P} a_{ij} \{f_{ijc} - Y_j d\} \\
& \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.17}$$

при ограничениях (2.2), (2.7) - (2.10), (2.12) - (2.15) и

$$a_{2ijk} \geq 0, \forall i \in I, j \in W, k \in W \cup C \tag{2.18}$$

$$a_{4jk} \geq 0, \forall j, k \in I \tag{2.19}$$

$$a_{1jk} \geq 0, \forall j \in I, k \in P \cup C \tag{2.20}$$

$$a_{5j} \geq 0, \forall j \in P \tag{2.21}$$

$$a_{3ij} \geq 0, \forall i \in I, j \in P \tag{2.22}$$

$$a_{6ij} \geq 0, \forall i \in I, j \in P \tag{2.23}$$

Задача Лагранжа (2.17), (2.2), (2.7)-(2.10), (2.12)-(2.15), (2.18)-(2.23)

декомпозирована на три подзадачи.

Подзадача 1:

$$\sum_{j \in P} \{ \hat{C}_j - a_{5j} Q - \sum_{i \in I} a_{3ij} - \sum_{i \in I} a_{6ij} d \} Y_j \rightarrow \min \tag{2.24}$$

с ограничениями (2.13), (2.21) - (2.23).

Подзадача 2:

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in W} \sum_{j \in W \cup C} c_{ij} X_{ij} \\
& - \sum_{i \in I} \sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{ijk} d X_{jk} \\
& - \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} (K - d) X_{jk} \\
& - \sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} K X_{jk} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in P} a_{3ij} X_{ij} \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.25}$$

с ограничениями (2.2), (2.12), (2.18) - (2.22).

Подзадача 3:

Эта подзадача состоит из $|I|$ подзадач следующего типа:

Для каждого $i \in I$:

$$\begin{aligned}
& \sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{2ijk} f_{ijk} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} f_{ijk} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} f_{ijk} \\
& + \sum_{j \in P} a_{5j} f_{ijc} + \sum_{j \in P} a_{6ij} f_{ijc} \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.26}$$

с ограничениями (2.8) - (2.11), (2.19) - (2.23).

Обобщая решения трех подзадач: (2.24), (2.13), (2.21) - (2.23); (2.25), (2.2), (2.12), (2.18) - (2.22); (2.26), (2.8) - (2.11), (2.19) - (2.23); получим решение задачи Лагранжа (2.17), (2.2), (2.7) - (2.10), (2.12) - (2.15), (2.18) - (2.23).

2.1.2 Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» (общий случай)

В общем случае синтеза СИС со структурой «звезда-дерево» идентичность параметров узлов концентрации и связей в СИС не является обязательным условием, то аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» представлена следующим образом:

$$\sum_{j \in W} \sum_{j \in W \cup C} c_{ij} X_{ij} + \sum_{j \in P} \sum_{m \in R} \hat{c}_{jm} Y_{jm} \rightarrow \min \tag{2.27}$$

при ограничениях

$$\sum_{j \in W \cup C} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in W \quad (2.28)$$

$$f_{ijk} \leq dX_{jk}, \forall i \in I; \forall j \in W, \forall k \in W \cup C \quad (2.29)$$

$$\sum_{i \in I} f_{ijk} \leq (k - d)X_{jk}, \quad \forall j, k \in I \quad (2.30)$$

$$\sum_{i \in I} f_{ijk} \leq KX_{jk} \quad \forall j \in I, \forall k \in P \cup C \quad (2.31)$$

$$\sum_{i \in I} f_{ijc} \leq \sum_{m \in R} Q_{jm} X_{jm}, \forall j \in P, \quad (2.32)$$

$$\sum_{i \in W \cup C} f_{ikj} - \sum_{j \in W} f_{ijk} = \begin{cases} d, \forall i, k \in I, k \in i \\ 0, \forall k \neq i, k \in W \cup C, i \in I \\ -d, \forall i \in I, k = c \end{cases} \quad (2.33)$$

$$X_{il} \leq \sum_{m \in R} Y_{lm} \quad \forall l \in P, \forall i \in I \quad (2.34)$$

$$\sum_{m \in R} Y_{lm} \leq 1, \forall l \in P \quad (2.35)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \forall i \in W, j \in W \cup C \quad (2.36)$$

$$Y_{jm} \in \{0,1\}, \forall j \in P, m \in R \quad (2.37)$$

$$f_{ijk} \geq 0, \forall i \in I, j \in W, k \in W \cup C \quad (2.38)$$

где P – множество индексов, характеризующее расположения узлов, концентрирующих информационные потоки в СИС; I – множество индексов, характеризующее расположения конечных узлов СИС; W – множество индексов, где $W = I \cup P$; C – центральный узел СИС; d – трафик в каждом конечном узле; R – дискретное множество уровней мощностей, доступных для каждого узла концентрации; Q_{jm} – мощность каждого узла концентрации информационного

потока на узле j на уровне m ; K – мощность соединения конечных узлов друг с другом; C_{ij} – стоимость соединения узла i с узлом j ; $C_{kc} = 0$ ($\forall k \in P$) – стоимость соединения узла концентрации информационного потока с центральным узлом; C_{jm} – стоимость открытия узла концентрации информационного потока j емкости m и соединения его с центральным узлом; f_{ijk} – поток, идущий из конечного узла i по связи (j, k) , $i \in I, j \in W, k \in W \cup C$. Значения X_{ij} и Y_{jm} определяются следующим образом $X_{ij} = 1$, если между узлами i и j есть связь, $i \in W, j \in W$; и $X_{ij} = 0$ в противном случае; $Y_{jm} = 1$, если узел концентрации j активен и соединен с центральным узлом C , и $Y_{jm} = 0$ в противном случае.

Критерием оптимизации (2.27) является функция стоимости соединения конечных узлов СИС друг с другом или с узлом, концентрирующим информационные потоки, а также с центральным узлом СИС. Ограничение (2.28) выделяет только одну исходящую дугу для каждого узла. Набор ограничений (2.29) подтверждает, что поток между двумя узлами существует, т.е. имеется в наличии связь. Ограничения (2.30) - (2.32) непосредственно касаются мощности. Сохранение информационного потока обеспечивает ограничение (2.33). Ограничение (2.35) подтверждает, что узел, концентрирующий информационные потоки, открыт, если для него существуют исходящие дуги. Ограничение (2.36) допускает возможность установки только одного концентрирующего узла на каждом участке СИС.

Для получения значений, более близких к нижней границе добавлены следующие ограничения:

$$\text{ограничение на прерывание цикла } X_{ij}, \quad (2.39)$$

$$f_{ijc} \leq \sum_{m \in R} Y_{jm} d \quad \forall i \in I, \forall j \in P \quad (2.40)$$

Умножив ограничения (2.29)-(2.32), (2.36) и (2.40) на неотрицательные множители $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$, которые также добавлены в функцию (2.27), получена задача Лагранжа

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in W} \sum_{j \in W \cup C} C_{ij} X_{ij} + \sum_{j \in P} \sum_{m \in R} \hat{C}_{jm} Y_{jm} \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{2ijk} \{f_{ijk} - dX_{jk}\} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijk} - (K - d)X_{jk} \right\} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijk} - KX_{jk} \right\} \tag{2.41} \\
& + \sum_{j \in P} a_{5j} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijc} - \sum_{m \in R} Q_{jm} Y_{jm} \right\} \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{j \in P} a_{ij} \left\{ X_{ij} - \sum_{m \in R} Y_{jm} \right\} + \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{j \in P} a_{6ij} \left\{ f_{ijc} - \sum_{m \in R} Y_{jm} d \right\} \rightarrow \min
\end{aligned}$$

с ограничениями (2.28), (2.33), (2.35)-(2.39) и

$$a_{2ijk} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in W, k \in W \cup C \tag{2.42}$$

$$a_{4ik} \geq 0 \quad \forall j, k \in I \tag{2.43}$$

$$a_{1jk} \geq 0 \quad \forall j \in I, k \in P \cup C \tag{2.44}$$

$$a_{5j} \geq 0 \quad \forall j \in P \tag{2.45}$$

$$a_{4ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in P \tag{2.46}$$

$$a_{6ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in P \tag{2.47}$$

Задача Лагранжа (2.41), (2.28), (2.33), (2.35) - (2.39), (2.42)-(2.47)

декомпозирована на три подзадачи:

Подзадача 1:

$$\sum_{j \in P} \sum_{m \in R} \left\{ \hat{C}_{jm} - a_{5j} Q_{jm} - \sum_{i \in I} a_{3ij} - \sum_{i \in I} a_{6ij} d \right\} Y_{jm} \rightarrow \min \tag{2.48}$$

с ограничениями (2.35), (2.37), (2.42), (2.45)-(2.47).

Подзадача 2:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i \in W} \sum_{j \in W \cup C} C_{ij} X_{ij} - \sum_{i \in I} \sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{2ijk} d X_{jk} \\
 & - \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} (K - d) X_{jk} - \sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} K X_{jk} \\
 & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in P} a_{3ij} X_{ij} \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{2.49}$$

с ограничениями (2.28), (2.36), (2.42)-(2.44), (2.46).

Подзадача 3:

Для каждого $i \in I$:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{ijk} f_{ijk} + \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} f_{ijk} + \sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} f_{ijk} \\
 & + \sum_{j \in P} a_{5j} f_{ijc} \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{2.50}$$

с ограничениями (2.33), (2.38), (2.42)-(2.47).

Обобщая решения трех подзадач: (2.48), (2.35), (2.37), (2.42), (2.45)-(2.47); (2.49), (2.28), (2.36), (2.42)-(2.44), (2.46); (2.50), (2.33), (2.38), (2.42)-(2.47); получим решение задачи Лагранжа (2.41), (2.28), (2.33), (2.35) - (2.39), (2.42)-(2.47).

2.2 Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево»

Для распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево» разработана аналитическая модель, представленная следующим образом.

Необходимо минимизировать стоимость синтеза такой СИС с соединением отдаленных конечных узлов к центральному узлу СИС, что

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in I \cup C} C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min, \tag{2.51}$$

при ограничениях:

$$\sum_{j \in I \cup C} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.52)$$

$$f_{ijk} \leq dX_{jk} \quad \forall i \in I; \forall j \in I, \forall k \in I \cup C \quad (2.53)$$

$$\sum_{i \in I} f_{ijk} \leq (K - d)X_{jk} \quad \forall j; k \in I \quad (2.54)$$

$$\sum_{i \in I} f_{ijk} \leq KX_{jk} \quad \forall j \in I, k = C \quad (2.55)$$

$$\sum_{j \in I \cup C} f_{ikj} - \sum_{j \in I} f_{ijk} = \begin{cases} d, \forall i, k \in I, k = i \\ 0, \forall k \neq i, k \in I, i \in I \\ -d, \forall i \in I, k = C \end{cases} \quad (2.56)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in I \cup C \quad (2.57)$$

$$f_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in I, k \in I \cup C, \quad (2.58)$$

где I – множество индексов местоположений конечных узлов; C – центральный узел СИС; d – трафик каждого конечного узла СИС; K – мощность линии связи между двумя конечными узлами СИС; C_{ji} – стоимость подключения узла i к узлу j в СИС;

$X_{ij} = 1$, если связь существует между узлами i и j , $i \in I, j \in I \cup C$, в противном случае $X_{ij} = 0$; f_{ijk} – поток, из узла i на узел (j, k) , $i \in I, j \in I, k \in I \cup C$.

Ограничение (2.52) выделяет только одну исходящую дугу для каждого узла СИС. Ограничение (2.53) предназначено, для указания, что поток между двумя узлами СИС существует, т.е. имеется в наличии связь. Ограничения (2.54) и (2.55) непосредственно касаются мощности. Сохранение потока отражает ограничение (2.56). Наборы ограничений (2.57) и (2.58) обеспечивают целостность и неотрицательность переменных.

Введено дополнительное ограничение

$$\text{ограничение на прерывание цикла } X_{ij}. \quad (2.59)$$

Умножив ограничения (2.53)-(2.55) на неотрицательные множители a_2, a_4, a_1 которые также добавлены в функцию (2.51), получена задача Лагранжа

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in I} \sum_{j \in I \cup C} C_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} \sum_{k \in I \cup C} a_{2ijk} \{f_{ijk} - dX_{jk}\} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijk} - (K-d)X_{jk} \right\} \\
& + \sum_{j \in I} a_{1j} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijc} - KX_{jc} \right\} \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.60}$$

с ограничениями (2.52),(2.56),(2.57),(2.59) и

$$a_{2ijk} \geq 0 \forall i \in I, j \in I, k \in I \cup C, \tag{2.61}$$

$$a_{4jk} \geq 0 \forall j, k \in I, \tag{2.62}$$

$$a_{1j} \geq 0 \forall j \in I. \tag{2.63}$$

Задача Лагранжа (2.60), (2.52),(2.56),(2.57),(2.59) ,(2.61)-(2.63)

декомпозирована на две подзадачи.

Подзадача 1:

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in W} \sum_{j \in W \cup C} C_{ij} X_{ij} \\
& - \sum_{i \in I} \sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{2ijk} dX_{jk} \\
& - \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} (K-d)X_{jk} - \sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} KX_{jk} \\
& \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.64}$$

с ограничениями (2.52), (2.59), (2.61) - (2.63).

Подзадача 2:

Для каждого $i \in I$:

$$\begin{aligned}
& \sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{2ijk} f_{ijk} + \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4ijk} f_{ijk} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} f_{ijk} \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.65}$$

с ограничениями (2.56), (2.61)-(2.63).

Обобщая решения двух подзадач: (2.64), (2.52), (2.59), (2.61) - (2.63); (2.65), (2.56), (2.61)-(2.63); получим решение задачи Лагранжа (2.60), (2.52),(2.56),(2.57),(2.59),(2.61)-(2.63).

2.3 Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево - дерево»

Разработана аналитическая модель СИС со структурой типа «дерево» как в соединении конечных узлов, так и на местах расположений узлов концентрации информационных потоков в СИС. Как было отмечено в главе 1, ранее уже предлагались подходы для распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево» между конечными узлами, но разработанные алгоритмы исходили из условия обязательности применения выделенных линий для соединения конечных узлов и узлов концентрации (как в структуре «звезда»).

Подход предложенный в работе позволяет конечным узлам совместно использовать низкоскоростные многопунктовые линии для уменьшения затрат на соединение узлов друг с другом. Таким образом, каждый узел концентрации может быть одним из конечного типа доступных узлов.

Аналитическая модель распределения ресурсов, при которых стоимость синтеза СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, соединяющими конечные узлы с узлами, концентрирующими информационные потоки, будет минимальна, представлена в следующем виде

$$\sum_{i \in W} \sum_{j \in W \cup C} C_{ij} X_{ij} - \sum_{j \in P} \sum_{k \in P \cup C} \hat{C}_{jkm} Y_{jkm} \rightarrow \min \quad (2.66)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j \in W \cup C} X_{ij} = 1, \forall i \in W \quad (2.67)$$

$$f_{ijk} \leq d X_{jk} \quad \forall i \in I; \quad \forall j \in W, \quad \forall k \in W \cup C \quad (2.68)$$

$$\sum_{i \in I} f_{ijk} \leq (K-d) X_{jk} \quad \forall j, k \in I \quad (2.69)$$

$$\sum_{i \in I} f_{ijk} \leq KX_{jk} \quad \forall j \in I, \quad \forall k \in P \cup C \quad (2.70)$$

$$\sum_{i \in I} f_{ijk} \leq \sum_{m \in R} Q_{jm} Y_{jkm} \quad \forall j \in P, \quad k \in P \cup C \quad (2.71)$$

$$\sum_{j \in W \cup C} f_{ijk} - \sum_{j \in W} f_{ijk} = \begin{cases} d, \forall i, k \in I, k = i \\ 0, \forall k \neq i, k \in W \cup C, i \in I \\ -d, \forall i \in I, k = c \end{cases} \quad (2.72)$$

$$X_{ij} \leq \sum_{k \in P \cup C} \sum_{m \in R} Y_{jkm} \quad \forall j \in P, \quad \forall i \in I \quad (2.73)$$

$$\sum_{k \in P \cup C} \sum_{m \in R} Y_{jkm} \leq 1 \quad \forall j \in P \quad (2.74)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in W, \quad j \in W \cup C \quad (2.75)$$

$$Y_{jkm} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in P, \quad k \in P \cup C, \quad m \in R \quad (2.76)$$

$$f_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in I, \quad j \in W, \quad k \in W \cup C \quad (2.77)$$

где P – множество индексов, характеризующее расположения узлов, концентрирующих информационные потоки в СИС; I – множество индексов, характеризующее расположения конечных узлов СИС; W – множество индексов, где $W = I \cup P$; C – центральный узел СИС; d – трафик в каждом конечном узле; R – дискретное множество уровней мощностей, доступных для каждого узла концентрации; Q_{jm} – мощность каждого узла концентрации информационного потока на узле j на уровне m ; K – мощность соединения конечных узлов друг с другом; C_{ij} – стоимость соединения узла i с узлом j ; $C_{jk} = 0 \quad \forall k \in P$ – стоимость соединения узла концентрации СИС с любым конечным узлом или центральным узлом; \hat{C}_{jkm} – стоимость открытия узла концентрации j емкости m и соединения его с узлом k ; f_{ijk} – поток, идущий из конечного узла i по связи (j, k) , $i \in I$, $j \in W, k \in W \cup C$; $X_{ij} = 1$, если связь существует между узлами i и j , $i \in W, j \in W$, в противном случае $X_{ij} = 0$; $Y_{jm} = 1$, если узел концентрации j мощности m открыт и соединен узлом концентрации k связью мощности m , в противном случае $Y_{jm} = 0$.

Целевая функция (2.66) минимизирует затраты на соединение конечных узлов друг с другом или с узлом концентрации информационных потоков в СИС, а также направляет информационные потоки от узлов концентрации с центральным узлом СИС. Ограничение (2.67) выделяет только одну исходящую дугу для каждого узла. Набор ограничений (2.68) подтверждает, что поток между двумя узлами существует – имеется в наличии связь. Ограничения (2.69)-(2.71) непосредственно касаются мощности. Сохранение потока обеспечивает ограничение (2.72). Ограничение (2.73) подтверждает, что узел концентрации открыт, если для него существуют исходящие дуги. Ограничение (2.74) допускает возможность установки только одного узла концентрации с некоторой мощностью m на каждом участке СИС. Наборы ограничений (2.75) – (2.77) обеспечивают целостность и не отрицательность переменных.

Оптимизационная задача, представленная в аналитической модели (2.66)-(2.77), принадлежит классу вычислительно трудных задач.

Доказательство: Рассмотрим случай, где стоимости всех дуг равны, и мощность каждой дуги (K) равна « d », соответственно, мощность каждого узла концентрации равна общему трафику ($d \cdot \text{число конечных узлов}$). В этом случае задача сводится к задаче о расположении завода. Поскольку эта задача относится к классу NP-полных задач [152], то задача, представленная в аналитической модели (2.66)-(2.77), по аналогии является NP-полной.

Для получения значений, более близких к нижней границе добавлены следующие ограничения:

$$\text{ограничение на прерывание цикла } X_{ij} \quad (2.78)$$

$$f_{ijc} \leq \sum_{m \in R} Y_{jm} d \quad \forall i \in I, \forall j \in P, k \in P \cup C. \quad (2.79)$$

Умножив ограничения (2.68)-(2.71), (2.73) и (2.79) на неотрицательные множители $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$, которые также добавлены в функцию (2.66), получена задача Лагранжа

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in W} \sum_{j \in W \cup C} C_{ij} X_{ij} \\
& + \sum_{j \in P} \sum_{k \in P \cup C} \sum_{m \in R} \hat{C}_{jkm} Y_{jkm} \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{j \in W} \sum_{k \in W \cup C} a_{2ijk} \{f_{ijk} - dX_{jk}\} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} Y_{jk} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijk} - (K - d)X_{jk} \right\} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in P \cup C} a_{1jk} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijk} - KX_{jk} \right\} + \sum_{j \in P} \sum_{k \in P \cup C} a_{5jk} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijk} \right. \\
& - \left. \sum_{i \in I} f_{ijk} - \sum_{j \in P} \sum_{k \in P \cup C} a_{5jk} \left\{ \sum_{i \in I} f_{ijk} \right\} \right. \\
& + \left. \sum_{i \in I} \sum_{j \in P} a_{3ij} \{X_{ij} \right. \\
& - \left. \sum_{k \in P \cup C} \sum_{m \in R} Y_{jkm} \right\} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in P} \sum_{k \in P \cup C} a_{6ijk} \{f_{ijk} - \sum_{m \in R} Y_{jkm} \cdot d \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.80}$$

при ограничениях (2.67), (2.72), (2.74)-(2.78)

$$a_{2,ij} \geq 0, \forall i \in I, j \in W, \tag{2.81}$$

$$a_{4,jk} \geq 0, \forall j, k \in I, \tag{2.82}$$

$$a_{1,jk} \geq 0 \forall j \in I, k \in P \cup C, \tag{2.83}$$

$$a_{5,jk} \geq 0 \forall j \in P, k \in P \cup C, \tag{2.84}$$

$$a_{3,ij} \geq 0 \forall i \in I, j \in P, \tag{2.85}$$

$$a_{6,ij} \geq 0 \forall i \in I, j \in P, k \in P \cup C. \tag{2.86}$$

Задача Лагранжа (2.80), (2.67), (2.72), (2.74)-(2.78), (2.81)-(2.86)

декомпозирована на три подзадачи.

Подзадача 1:

$$\sum_{j \in P} \sum_{k \in P \cup C} \sum_{m \in R} \{ \hat{C}_{jkm} - a_{5jk} Q_{jm} - \sum_{i \in I} a_{3ijk} - \sum_{i \in I} a_{6ijk} d \} Y_{jkm} \rightarrow \min \tag{2.87}$$

с ограничениями (2.74), (2.76), (2.81), (2.84) - (2.86).

Подзадача 2:

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in W} \sum_{i \in WUC} C_{ij} X_{ij} - \sum_{i \in I} \sum_{j \in W} \sum_{k \in WUC} a_{2ijk} d X_{jk} \\
& - \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} (K - d) X_{jk} \\
& - \sum_{j \in I} \sum_{k \in PUC} a_{1jk} K X_{jk} \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{j \in P} a_{3ij} X_{ij} \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.88}$$

с ограничениями (2.67), (2.75), (2.81) - (2.83), (2.85).

Подзадача 3:

Эта подзадача состоит из $|I|$ подзадач следующего типа:

Для каждого $i \in I$:

$$\begin{aligned}
& \sum_{j \in W} \sum_{k \in WUC} a_{2ijk} f_{ijk} + \sum_{j \in I} \sum_{k \in I} a_{4jk} f_{ijk} \\
& + \sum_{j \in I} \sum_{k \in PUC} a_{1jk} f_{ijk} \\
& + \sum_{j \in P} \sum_{k \in PUC} a_{5jk} f_{ijk} \\
& + \sum_{j \in P} \sum_{k \in PUC} \varphi_{ijk} f_{ijk} \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{2.89}$$

с ограничениями (2.72), (2.77), (2.81)-(2.85).

Обобщая решения трех подзадач: (2.87), (2.74), (2.76), (2.81), (2.84) - (2.86); (2.88), (2.67), (2.75), (2.81) - (2.83), (2.85); (2.89), (2.72), (2.77), (2.81)-(2.85); получим решение задачи Лагранжа ((2.80), (2.67), (2.72), (2.74)-(2.78), (2.81)-(2.86)).

2.4 Выводы по главе 2

Для достижения цели исследования разработаны следующие аналитические модели:

- аналитическая модель распределения ресурсов СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков;

- аналитическая модель распределения ресурсов СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна (общий случай);

- аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна;

- аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

В каждой из разработанных аналитических моделей целевая функция преобразована к функции Лагранжа, которая в свою очередь разбита на подзадачи.

3 Процедурные модели распределения ресурсов в сетевых информационных системах с различной структурой

3.1 Процедурные модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево»

В п.2.1 главы 2 разработано две аналитические модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево». Первая аналитическая модель построена для определения связей между конечными узлами, узлами концентрации информационных потоков в СИС и центральным узлом СИС, при условии идентичности параметров узлов концентрации и связей в СИС. Вторая аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» является общим случаем поскольку в модели отсутствует требование на идентичность параметров узлов концентрации и связей в СИС.

3.1.1 Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков

На рисунке 3.1 изображена процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков, которая состоит из следующих этапов:

1. Задать счетчик итератора = 1.
2. Задать значение нижней границы и значение лучшего допустимого решения задачи (2.1)-(2.14).
3. Задать множители для задачи Лагранжа (2.17), (2.2), (2.7)-(2.10), (2.12)-(2.15), (2.18)-(2.23).
4. Решить подзадачи: (2.24), (2.13), (2.21) - (2.23); (2.25), (2.2), (2.12), (2.18) - (2.22); (2.26), (2.8) - (2.11), (2.19) - (2.23).

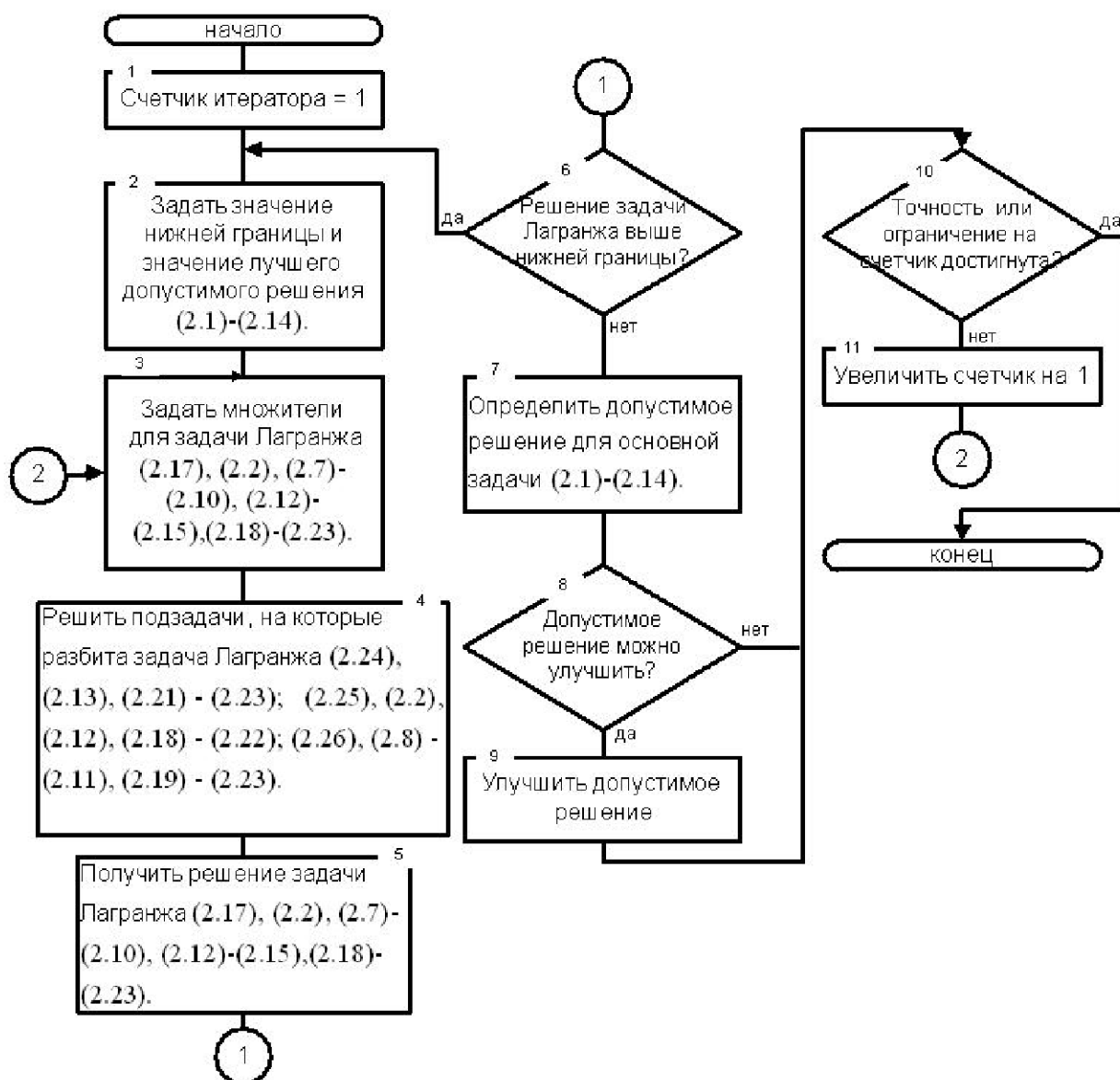


Рисунок 3.1 – Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков

5. Получить решение задачи Лагранжа (2.17), (2.2), (2.7)-(2.10), (2.12)-(2.15), (2.18)-(2.23).

6. Если результат решения задачи Лагранжа выше нижней границы, вернуться к п.2.

7. Получить допустимое решение задачи (2.1)-(2.14).

8. Если допустимое решение можно улучшить, то п.9, иначе п.10.

9. Улучшить допустимое решение.

10. Если разница между допустимым решением и нижней границей $< 1 \%$ или итерационный счетчик превышает 800, то остановить поиск решения, иначе п.11.

11. Увеличить счетчик на 1. Перейти к п. 2.

Задача Лагранжа (2.17), (2.2), (2.7)-(2.10), (2.12)-(2.15), (2.18)-(2.23) разбита на три подзадачи. Решение подзадачи (2.24), (2.13), (2.21) - (2.23) получено с использованием разработанной процедуры, блок-схема которой изображена на рисунке 3.2. Данная процедура состоит из следующих шагов:

1. Для каждого узла концентрации информационных потоков в СИС $j \in P$ вычислить:

$$V_j = C_j - a_{5j}Q - \sum_{i \in I} a_{3ij} - \sum_{i \in I} a_{6ij}d$$

и сохранить в вектор V .

2. Сортировать V в неубывающем порядке.

3. Продолжать заполнять вектор V , задавая $Y_j = 1$ до $Y_j > 0$.

Оптимальным решением второй подзадачи (2.25), (2.2), (2.12), (2.18) - (2.22) будет ориентированное дерево минимального охвата с корнем в центральном узле C , для получения которого использован метод представленный в [91].

Третья подзадача (2.8) - (2.11), (2.19) - (2.23) решена оптимально путем нахождения кратчайшего пути между определенным узлом i и центральным узлом C , для чего использован алгоритм Дейкстры для нахождения кратчайшего пути в графе [153].

Пусть $(a_1^*, a_2^*, a_3^*, a_4^*, a_5^*, a_6^*)$ является оптимальным решением задачи Лагранжа (2.17), (2.2), (2.7)-(2.10), (2.12)-(2.15), (2.18)-(2.23). Для получения значений близких к оптимальным значениям множителей использован алгоритм субградиентной оптимизации для получения нижних границ оптимального значения задачи [96].

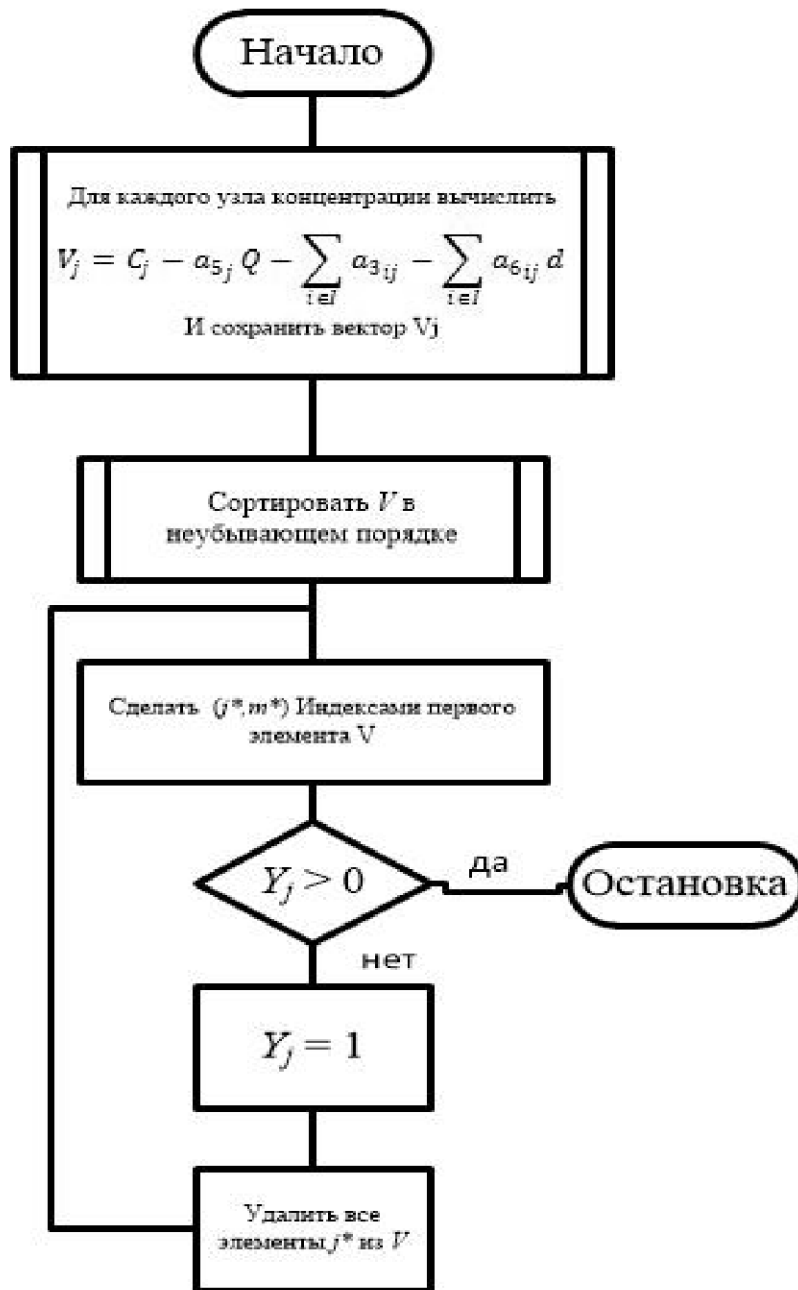


Рисунок 3.2 – Блок-схема процедуры решения подзадачи (2.24), (2.13), (2.21) - (2.23)

Искомые переменные Y_j^* и X_{ij}^* , полученные из подзадач (2.24), (2.13), (2.21)-(2.23) и (2.25), (2.2), (2.12), (2.18) - (2.22) используются следующим образом:

1. Задать $Y_j = 1$, при условии, что $Y_j^* = 1$.
2. Предварительно задать $X_{ij} = 1$, если $X_{ij}^* = 1$.

Согласно пунктам 1 и 2, наиболее вероятно, что результат не будет получен при одном или нескольких следующих условиях:

1. Некоторые конечные узлы присоединены к недоступному узлу концентрации j' . Таким образом, $X_{ji}' = 1$, но $Y_j' = 0$.

2. Мощность связи между конечными узлами может быть превышена. Таким образом, $|St(i)| > K-1$, где $i \in I$, $St(i)$ = множество узлов в поддереве с корнем i .

3. Некоторые узлы концентрации могут нарушать ограничение на мощность, то есть $|St(j)| > Q$, где $j \in P$.

По этим причинам для поиска допустимого решения на каждой итерации вычисления функции Лагранжа (2.17), (2.2), (2.7)-(2.10), (2.12)-(2.15), (2.18)-(2.23) используется разработанная процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа, отличающаяся применением эвристического подхода.

Введены следующие обозначения: $P(i)$ – определена как конечная точка направленной связи из узла i , то есть $X_{ip}(i) = 1$; D_{ik} – функция стоимости, определенная, как дополнительная стоимость удаления связи $(i, p(i))$ и добавления связи (i, k) . Если дополнение к связи (i, k) приводит к циклу или нарушению мощности, тогда $D_{jk} = \infty$.

Процурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков (рисунке 3.3), выполняется в 3 этапа. На первом этапе все конечные узлы, подключенные к недоступным узлам концентрации, подключаются к наименьшим по стоимости альтернативным дополнительным узлам концентрации. В конце первого этапа все используемые узлы концентрации доступны. Вторая часть подразумевает переключение конечных узлов с узлов концентрации текущей мощности на узлы концентрации с минимальной стоимостью. Поэтому при завершении второго этапа остаются лишь задачи организации связи конечных узлов с превышенной мощностью K . Третья часть работы включает в себя нахождение наибольшего поддерева и дальнейшее соединение конечного узла этого дерева с узлом концентрации наименьшей стоимости. Эти действия повторяются, пока имеют место неосуществимости.

Этап I:

$$1. \quad O = \{j \in P \mid Y_j = 1\}, \quad U = P - O, \quad V = \{j \in U \mid \exists i \in I: X_{jk} = 1\}$$

$$2. \quad \text{Для каждого } j \in V:$$

$$\text{Пока } St.(j) > 0 \{$$

$$D_{ik}^* = \min\{D_{ik}, \forall i \in St(j), \forall k \in I \cup O \cup C\}$$

задать

$$X_{ip(i)} = 0, \quad X_{ik}^* = 1$$

$$St(j) = St(j) - \{i\} \quad \}$$

Этап II:

$$1. \quad V = \{j \in O \mid St(j) > Q\}$$

$$2. \quad \forall j \in V:$$

$$\text{пока } |St.(j)| > Q \{$$

$$D_{ik}^* = \min\{D_{ik}\}, \quad \forall i \in St.(j), \quad \forall k \in I \cup O \cup C, \quad k \notin St.(j)$$

$$\text{Задать } X_{ip(i)} = 0, \quad X_{ik}^* = 1$$

$$St(j) = St(j) - \{i\} \quad \}$$

Этап III:

$$1. \quad \text{Пока } (\exists i \in I \mid |St.(j)| > K) \{$$

$$u^* = \min\{|St(u)|: u \in I, |St(u)| > K, p(u) \in P\}$$

$$D_{r^*q^*} = \min\{D_4 \mid q \in I \cup O \cup C, q \notin St(u^*), \quad r \in St(u^*)\}$$

$$X_{r^*p(r)^*} = 0, \quad X_{r^*q^*} = 1$$

$$St(u^*) = St(u^*) - \{r^*\} \quad \}$$

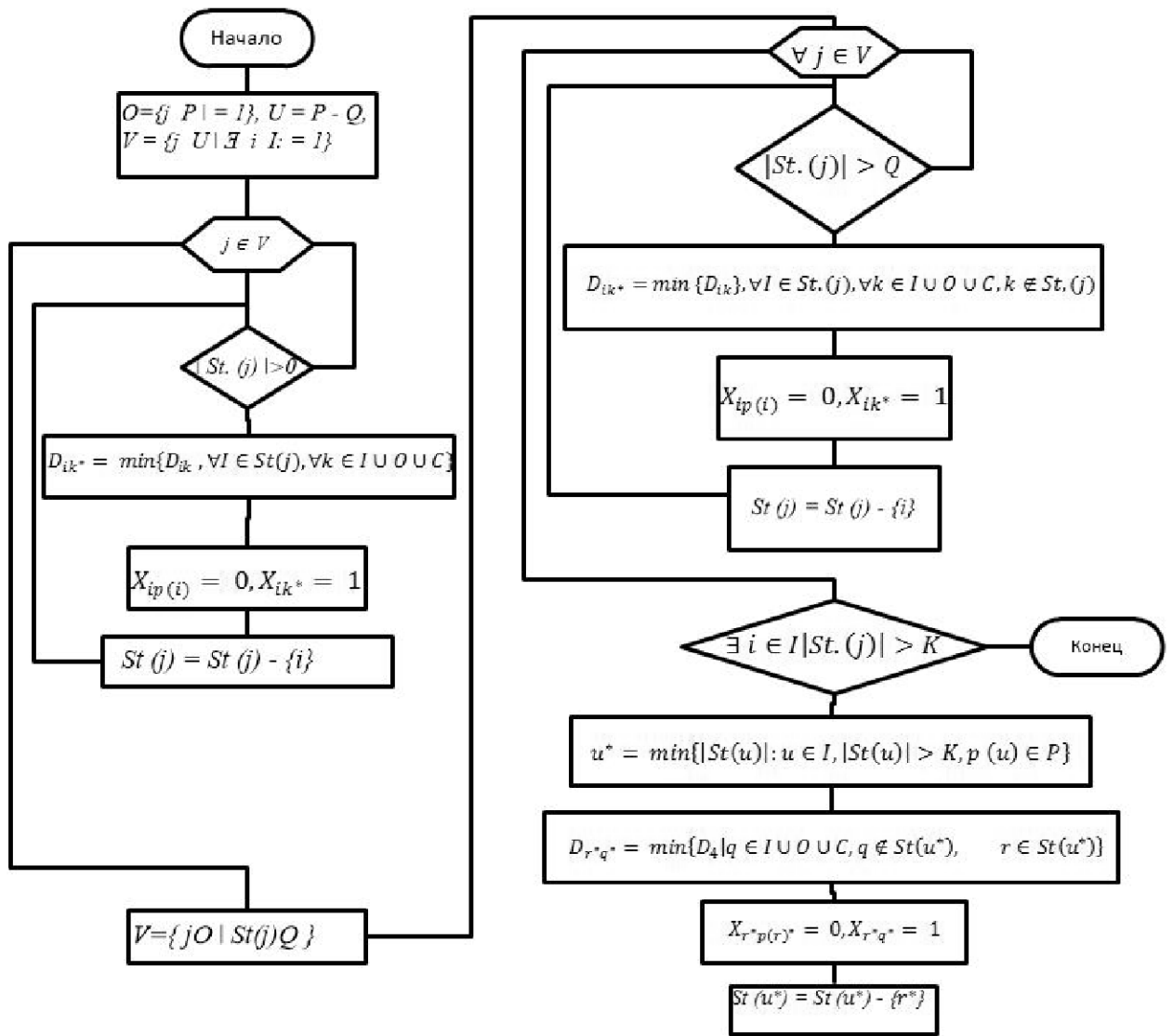


Рисунок 3.3 - Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков

3.1.2 Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» (общий случай)

На рисунке 3.4 изображена процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» без ограничения на идентичность параметров узлов концентрации информационных потоков (общий случай), которая состоит из следующих этапов:

1. Задать счетчик итератора = 1.
2. Задать значение нижней границы и значение лучшего допустимого решения задачи (2.27)-(2.38).
3. Задать множители для задачи Лагранжа (2.41), (2.28), (2.33), (2.35) - (2.39), (2.42)-(2.47).
4. Решить подзадачи: (2.48), (2.35), (2.37), (2.42), (2.45)-(2.47); (2.49), (2.28), (2.36), (2.42)-(2.44), (2.46); (2.50), (2.33), (2.38), (2.42)-(2.47).
5. Получить решение задачи Лагранжа (2.41), (2.28), (2.33), (2.35) - (2.39), (2.42)-(2.47).
6. Если результат решения задачи Лагранжа выше нижней границы, вернуться к п.2.
7. Получить допустимое решение задачи (2.27)-(2.38).
8. Если допустимое решение можно улучшить, то п.9, иначе п.10.
9. Улучшить допустимое решение.
10. Если разница между допустимым решением и нижней границей < 1 % или итерационный счетчик превышает 800, то остановить поиск решения, иначе п.11.
11. Увеличить счетчик на 1. Перейти к п. 2.

Задача Лагранжа (2.41), (2.28), (2.33), (2.35) - (2.39), (2.42)-(2.47) разбита на три подзадачи.

Процедура решения первой подзадачи (2.48), (2.35), (2.37), (2.42), (2.45)-(2.47) состоит из следующих шагов:

1. Для каждого узла концентрации с заданной мощностью (j,m): $j \in P, m \in R$ вычислить:

$$V_{jm} = C_{jm} - \sigma_j Q_{jm} - \sum_{i \in I} \sum_{i \in I} a_{6ij} d$$

и сохранить в вектор V.

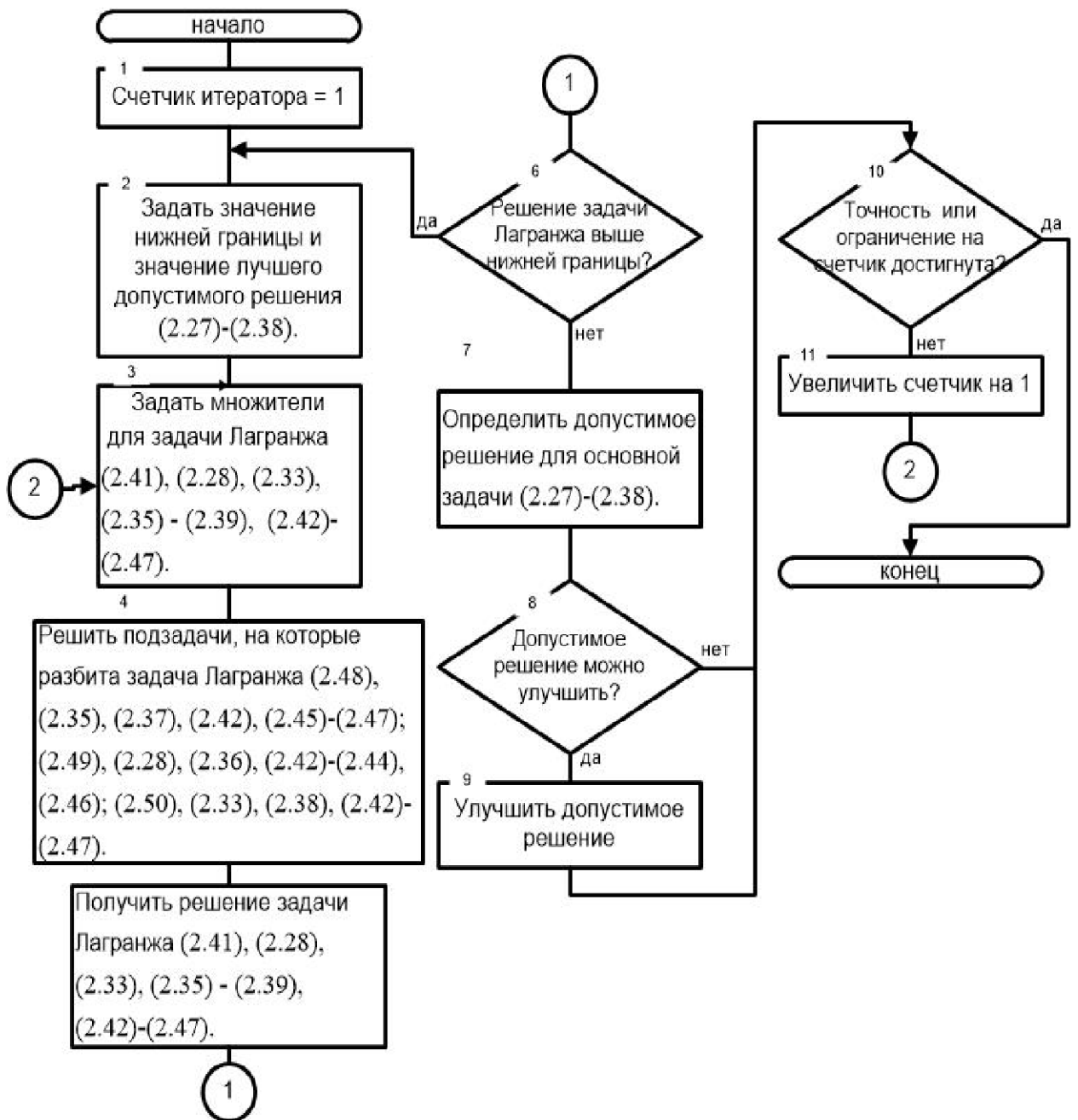


Рисунок 3.4 – Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» (общий случай)

2. Сортировать V в неубывающем порядке.
3. Сделать (j^*, m^*) индексами первого элемента V .
4. Если $V_{j^*m^*} > 0.0$ Остановить.
5. Задать $Y_{j^*m^*} = 1.0$
6. Удалить все элементы с индексом j^* из V
7. Перейти к пункту 3.

В конце вышеупомянутой процедуры оптимальное решение может сохраниться в векторе V^* .

Блок-схема этой процедуры представлена на рисунке 3.5

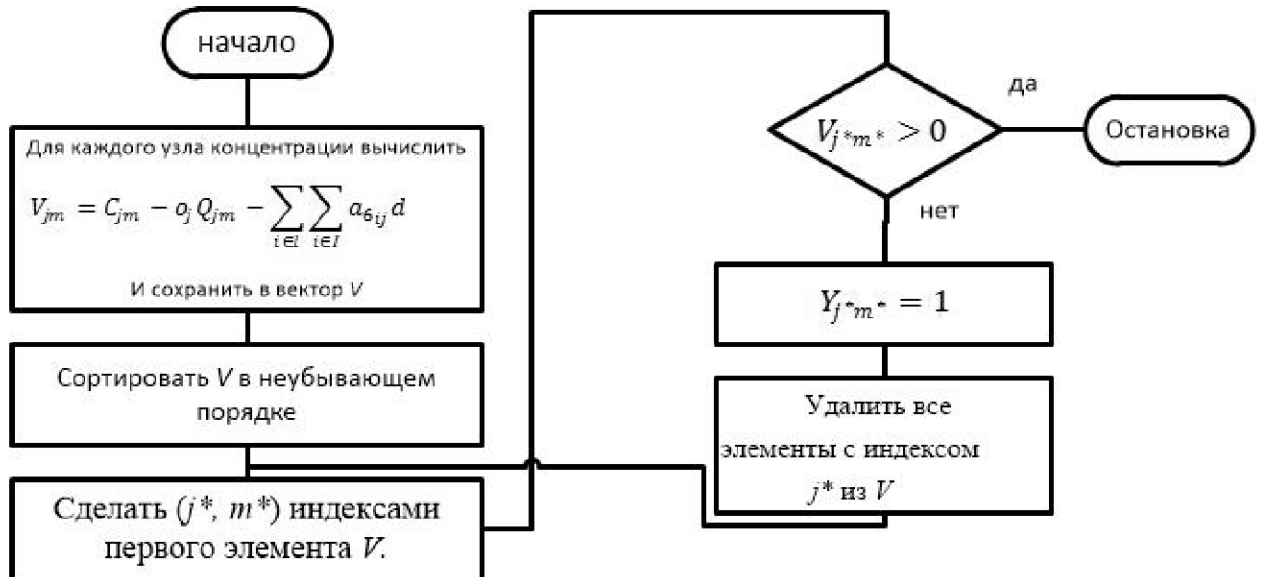


Рисунок 3.5 – Блок-схема процедуры решения подзадачи (2.48), (2.35), (2.37), (2.42), (2.45)-(2.47)

Оптимальным решением второй подзадачи (2.49), (2.28), (2.36), (2.42)-(2.44), (2.46) является ориентированное дерево минимального охвата с корнем в центральном узле C , полученное с применением алгоритма описанного в [154]. Оптимальный результат сохранен в векторе X^* .

Решение третьей подзадачи (2.50), (2.33), (2.38), (2.42)-(2.47) получена путем поиска нахождения кратчайшего пути между определенным требуемым узлом i и центральным узлом C , для чего был использован алгоритм Дейкстры для нахождения кратчайшего пути в графе [153].

Пусть $(a_1^*, a_2^*, a_3^*, a_4^*, a_5^*, a_6^*)$ является оптимальным решением задачи Лагранжа (2.41), (2.28), (2.33), (2.35) - (2.39). Для получения значений близких к оптимальным значениям множителей использован алгоритм субградиентной оптимизации для получения нижних границ оптимального значения задачи [155].

Искомые переменные Y^* и X^* , полученные из подзадач (2.48), (2.35), (2.37), (2.42), (2.45)-(2.47); (2.49), (2.28), (2.36), (2.42)-(2.44), (2.46); (2.50), (2.33), (2.38), (2.42)-(2.47), используются следующим образом:

1. Задать $Y_{jm}=1$, при условии, что $Y^*_{jm}=1$.
2. Предварительно задать $X_{ij}=1$, если $X^*_{ij}=1$.

Согласно пунктам 1 и 2, наиболее вероятно, что результат не будет получен при одном или нескольких следующих условиях:

1. Некоторые конечные узлы присоединены к недоступному узлу концентрации j' .

$$\{i \mid i \in I, j' \in P, m \in R, X_{ij} = 1, Y_{jm} = 0\} \neq \phi$$

2. Мощность связи между конечными узлами может быть превышена. $|St(i)| > K - 1$, где $i \in I, St(i)$ = множество узлов в поддереве с корнем i .

3. Некоторые узлы концентрации могут нарушать ограничение на мощность, то есть $|St(j)| > Q_{jm}$, где $j \in P, m \in R, Y_{jm} \in R$.

По этим причинам для нахождения допустимого решения разработана процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» (рисунке 3.6), которая выполняется в 3 этапа.

Этап I:

$$1. \quad O = \{j \mid j \in P, m \in R, Y_{jm} = 1\}, U = P - O, V = \{j \in U \mid \exists i \in I: X_{ij} = 1\}$$

2. Для каждого $j \in V$

пока $|St(j)| > 0$ делать

$$\{k^* = \operatorname{argmin}_{k \in I \cup O \cup C} \{D_{ik} \mid \forall i \in St(j)\}$$

Задать

$$X_{ip(i)} = 0, X_{ik^*} = 1$$

$$St(j) = St(j) - \{i\}$$

Обновить множество V }

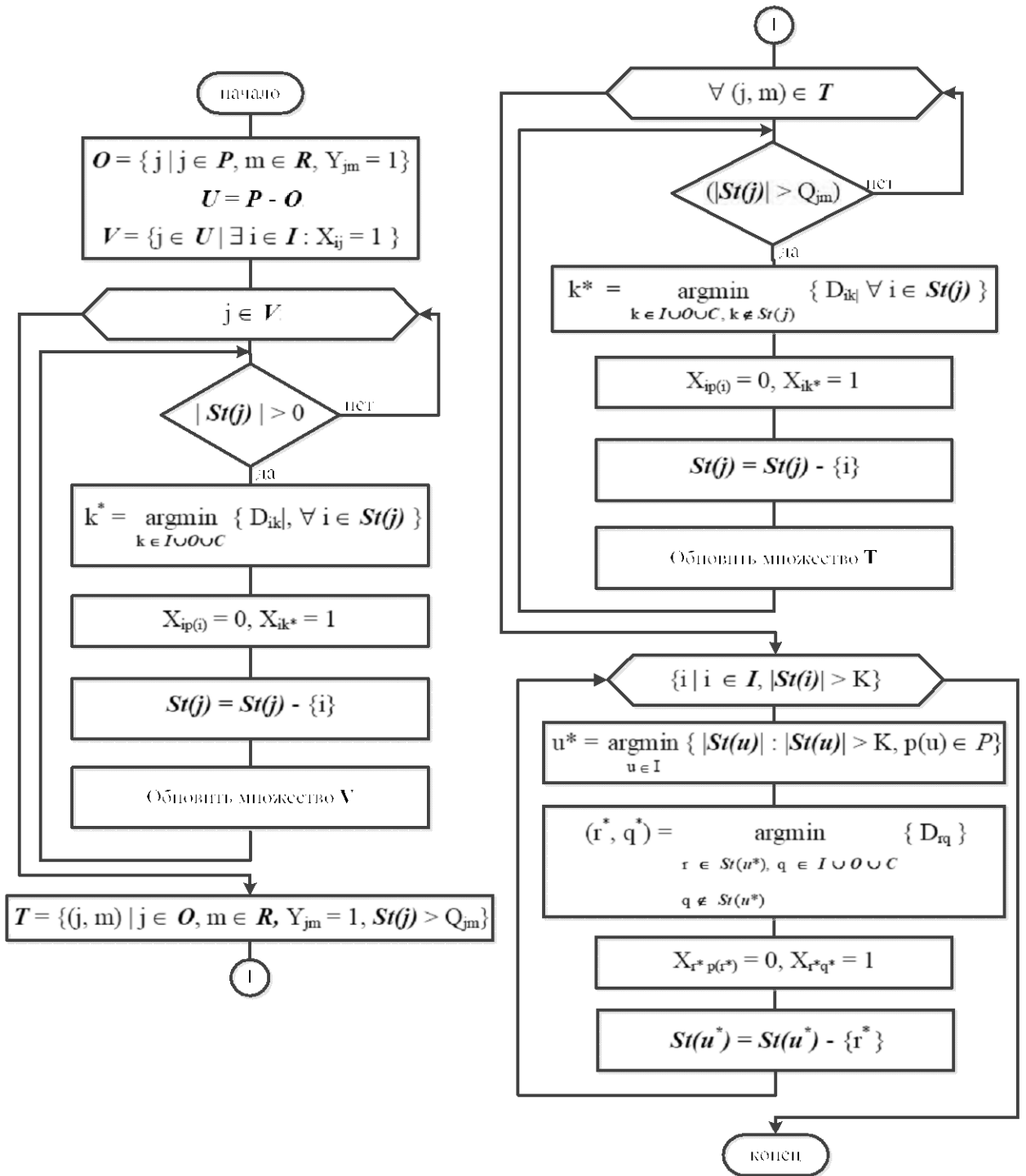


Рисунок 3.6 - Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» без ограничения на идентичность параметров узлов концентрации информационных потоков (общий случай)

Этап II:

$$1. \quad T = \{(j, m) \mid j \in O, m \in R, Y_{jm} = 1, St(j) > Q_{jm}\}$$

$$2. \quad V(j, m) \in T:$$

Пока $(|St(j)| > Q_{jm})$, делать {

$$k^* = \underset{k \in I \cup O \cup C, k \notin St(j)}{\operatorname{argmin}} \{D_{ik} \mid \forall i \in St(j)\}$$

Задать

$$X_{ip(i)} = 0, X_{ik^*} = 1$$

$$St(j) = St(j) - \{i\}$$

Обновить множество T }

Этап III:

$$1. \quad \text{Пока } \{i \mid i \in I, |St(i)| > K\} \text{ делать } \{$$

$$u^* = \underset{u \in I}{\operatorname{argmin}} \{|St(u)| \mid |St(u)| > K, p(u) \in P\}$$

$$(r^*, q^*) = \underset{\substack{r \in St(u^*), q \in I \cup O \cup C \\ q \notin St(u^*)}}{\operatorname{argmin}} \{Drq\}$$

$$X_{r^* p(r^*)} = 0, X_{r^* q^*} = 1,$$

$$St(u^*) = St(u^*) - \{r^*\}$$

3.2 Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево»

Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево» состоит из следующих этапов, а также представлена на рисунке 3.7:

1. Задать счетчик итератора = 1.

2. Задать значение нижней границы и значение лучшего допустимого решения задачи (2.51)-(2.58).

3. Задать множители для задачи Лагранжа (2.60), (2.52), (2.56),(2.57), (2.59),(2.61)-(2.63).

4. Решить подзадачи: (2.64), (2.52), (2.59), (2.61)- (2.63); (2.65), (2.56), (2.61) - (2.63).

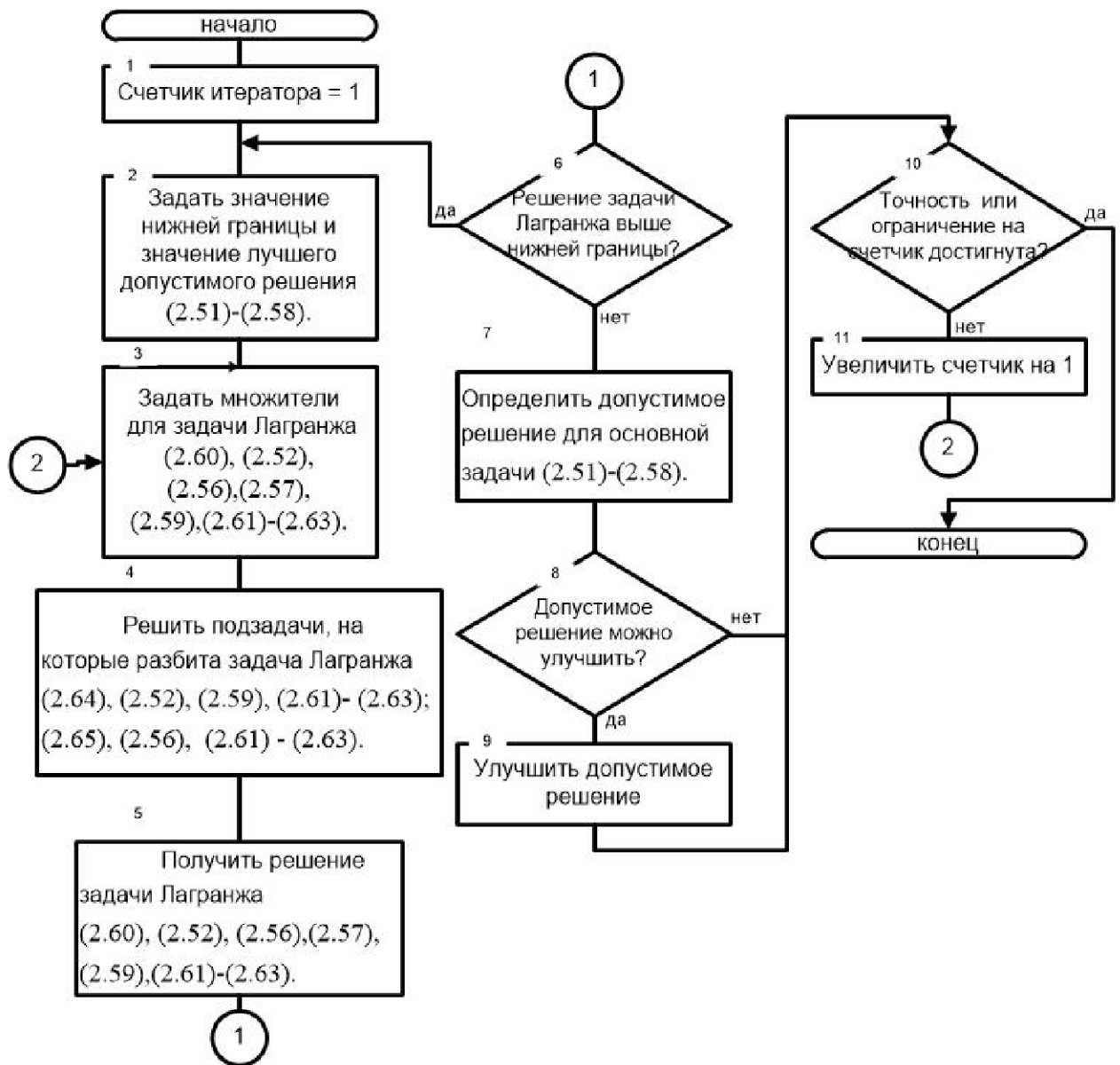


Рисунок 3.7 - Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево»

5. Получить решение задачи Лагранжа (2.60), (2.52), (2.56),(2.57), (2.59),(2.61)-(2.63).

6. Если результат решения задачи Лагранжа выше нижней границы, вернуться к п.2.

7. Получить допустимое решение задачи (2.51)-(2.58).

8. Если допустимое решение можно улучшить, то п.9, иначе п.10.

9. Улучшить допустимое решение.

10. Если разница между допустимым решением и нижней границей $< 1 \%$ или итерационный счетчик превышает 800, то остановить поиск решения, иначе п.11.

11. Увеличить счетчик на 1. Перейти к п. 2.

Задача Лагранжа (2.60), (2.52), (2.56),(2.57), (2.59),(2.61)-(2.63) разбита на две подзадачи.

Оптимальным решением первой подзадачи (2.64), (2.52), (2.59), (2.61)-(2.63) будет ориентированное дерево минимального охвата с корнем в центральном узле C , для получения решения был использован алгоритм из [154]. Результат сохранен в векторе X^* .

Оптимальным решением второй подзадачи (2.65), (2.56), (2.61) - (2.63) является кратчайший путь между определенным узлом i и центральным узлом C . Для поиска решения использован алгоритм Дейкстры для нахождения кратчайшего пути в графе [153].

Пусть (a_2^*, a_4^*, a_1^*) является оптимальным решением задачи Лагранжа (2.60), (2.52), (2.56),(2.57), (2.59),(2.61)-(2.63). Для получения значений близких к оптимальным значениям множителей использован алгоритм субградиентной оптимизации для получения нижних границ оптимального значения задачи [155].

Введены следующие параметры: $P(i)$ – определена как конечная точка направленной связи из узла I , то есть $X_{ip(i)} = 1$; D_{ik} – функция стоимости, определенная, как дополнительная стоимость удаления связи $(i, p(i))$ и добавления связи (i, k) . Если дополнение к связи (i, k) приводит к циклу или нарушению мощности, тогда $D_{jk} = \infty$.

Искомая переменная X^* используется следующим образом:

1. Задать $X_j = 1$, при условии, что $X_j^* = 1$.

Согласно пункту 1, наиболее вероятно, что результат не будет получен при одном или нескольких следующих условиях:

- мощность связи между конечными узлами может быть превышена: $|St(i)| > K - 1$, где $i \in I, St(i)$ – множество узлов поддерева с корнем i .

По этим причинам для нахождения допустимого решения разработана процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево» (рисунке 3.7), которая выполняется в 3 этапа.

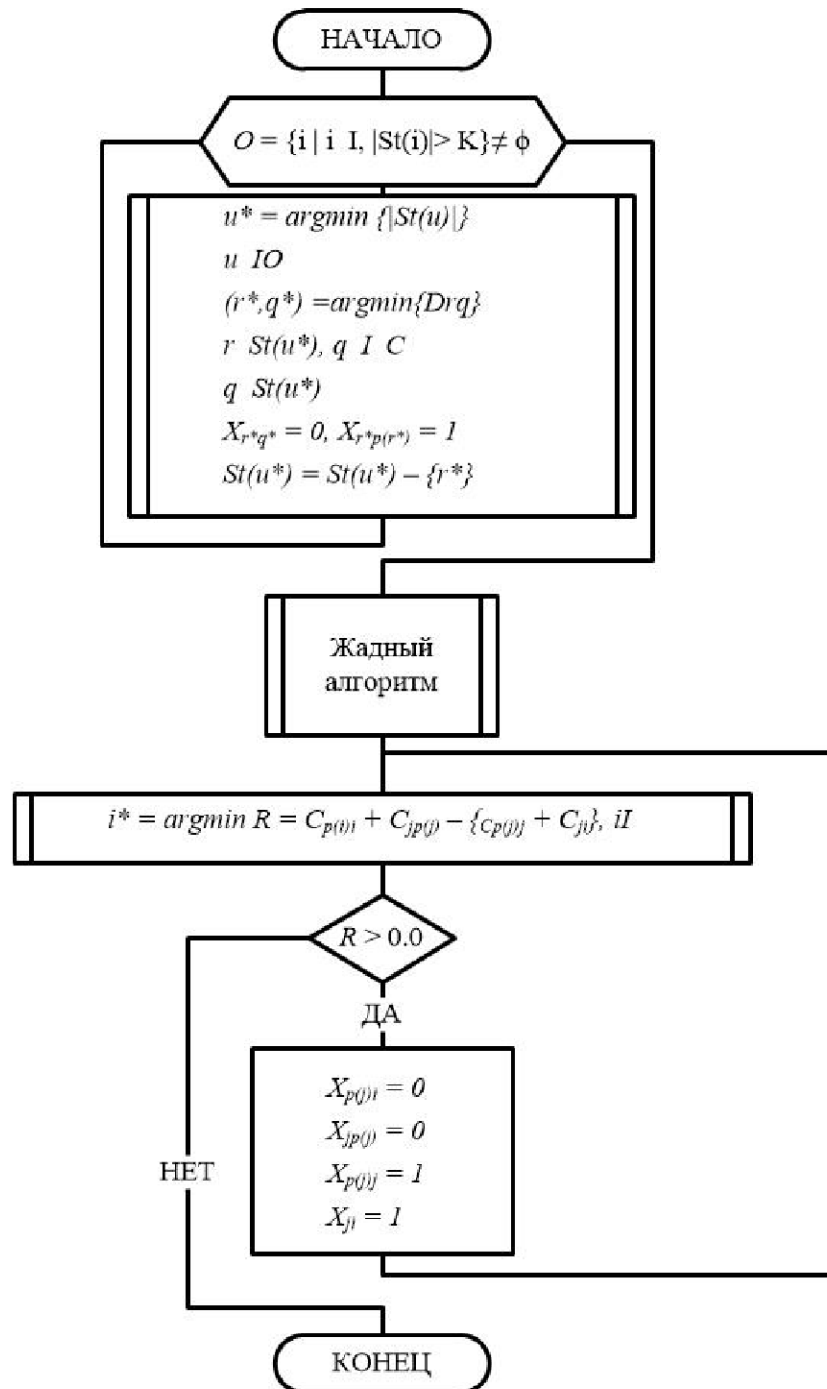


Рисунок 3.7 - Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево»

Этап I:

Пока $O = \{i \mid i \in I, |St(i)| > K\} \neq \emptyset$ делать {

$$u^* = \operatorname{argmin} \{|St(u)|\}$$

$$u \in I \cap O$$

$$(r^*, q^*) = \operatorname{argmin} \{Drq\}$$

$$r \in St(u^*), q \in I \cup C$$

$$q \notin St(u^*)$$

$$X_{r^*q^*} = 0, X_{r^*p(r^*)} = 1$$

$$St(u^*) = St(u^*) - \{r^*\}$$

}

Этап II:

Использовать жадный алгоритм замены ветвей для локальной оптимизации.

Этап III:

1. Найти $i^* = \operatorname{argmin} R = C_{p(i)i} + C_{jp(i)} - \{C_{p(i)j} + C_{ji}\}, i \in I$

2. Если $R > 0.0$ тогда

$$X_{p(i)i} = 0, X_{jp(i)} = 0$$

$$X_{p(i)j} = 1, X_{ji} = 1$$

Перейти к пункту 1.

3. Закончить

3.3 Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево»

Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» состоит из следующих этапов и представлена на рисунке 3.8:

1. Задать счетчик итератора = 1.

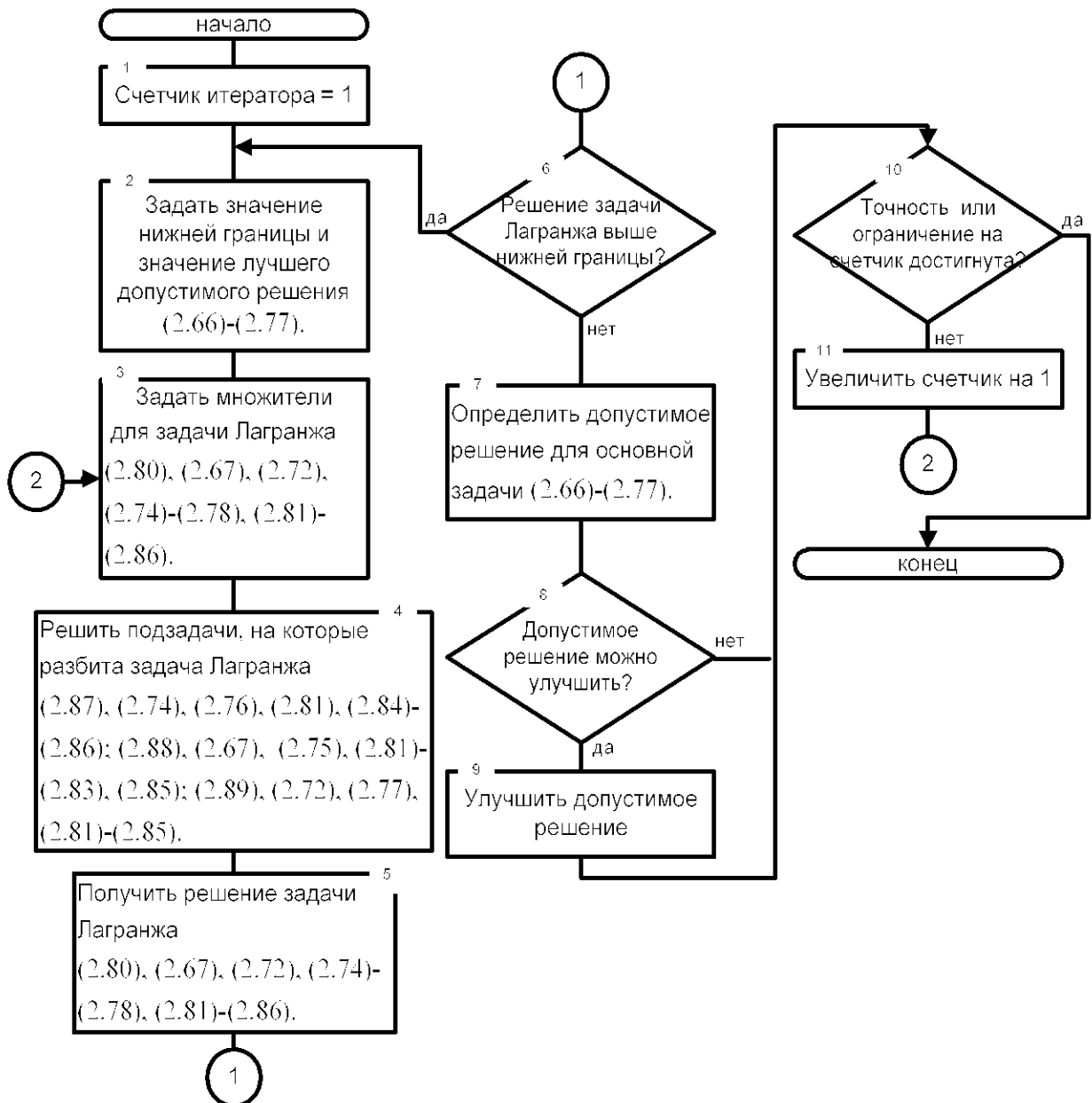


Рисунок 3.8 - Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево»

2. Задать значение нижней границы и значение лучшего допустимого решения задачи (2.66)-(2.77).

3. Задать множители для задачи Лагранжа (2.80), (2.67), (2.72), (2.74)-(2.78), (2.81)-(2.86).

4. Решить подзадачи: (2.87), (2.74), (2.76), (2.81), (2.84)-(2.86); (2.88), (2.67), (2.75), (2.81)-(2.83), (2.85); (2.89), (2.72), (2.77), (2.81)-(2.85).

5. Получить решение задачи Лагранжа (2.80), (2.67), (2.72), (2.74)-(2.78), (2.81)-(2.86).

6. Если результат решения задачи Лагранжа выше нижней границы, вернуться к п.2.

7. Получить допустимое решение задачи (2.66)-(2.77).

8. Если допустимое решение можно улучшить, то п.9, иначе п.10.

9. Улучшить допустимое решение.

10. Если разница между допустимым решением и нижней границей $< 1\%$ или итерационный счетчик превышает 800, то остановить поиск решения, иначе п.11.

11. Увеличить счетчик на 1. Перейти к п. 2.

Задача Лагранжа (2.80), (2.67), (2.72), (2.74)-(2.78), (2.81)-(2.86) разбита на три подзадачи.

Первая подзадача (2.87), (2.74), (2.76), (2.81), (2.84)-(2.86) решается с использованием разработанной процедуры, блок-схема которой представлена на рисунке 3.9, и состоит из следующих шагов:

1. Для каждого узла концентрации с заданной мощностью (j, k, m) : $j \in P, k \in PU, m \in R$ вычислить:

$$V_{jkm} = \hat{c}_{jkm} - a_{5jk} Q_{jm} - \sum_{i \in I} a_{3ij} - \sum_{i \in I} a_{6ijk} d$$

и сохранить в вектор V .

2. Сортировать V в неубывающем порядке.

3. Сделать (j^*, k^*, m^*) индексами первого элемента V .

4. Если $V_{j^*k^*m^*} > 0.0$ Остановить.

5. Задать $Y_{j^*k^*m^*} = 1.0$

6. Удалить все элементы с индексом j^* из V

7. Перейти к пункту 3.

В результате работы процедуры оптимальное решение будет содержаться в векторе Y^* .

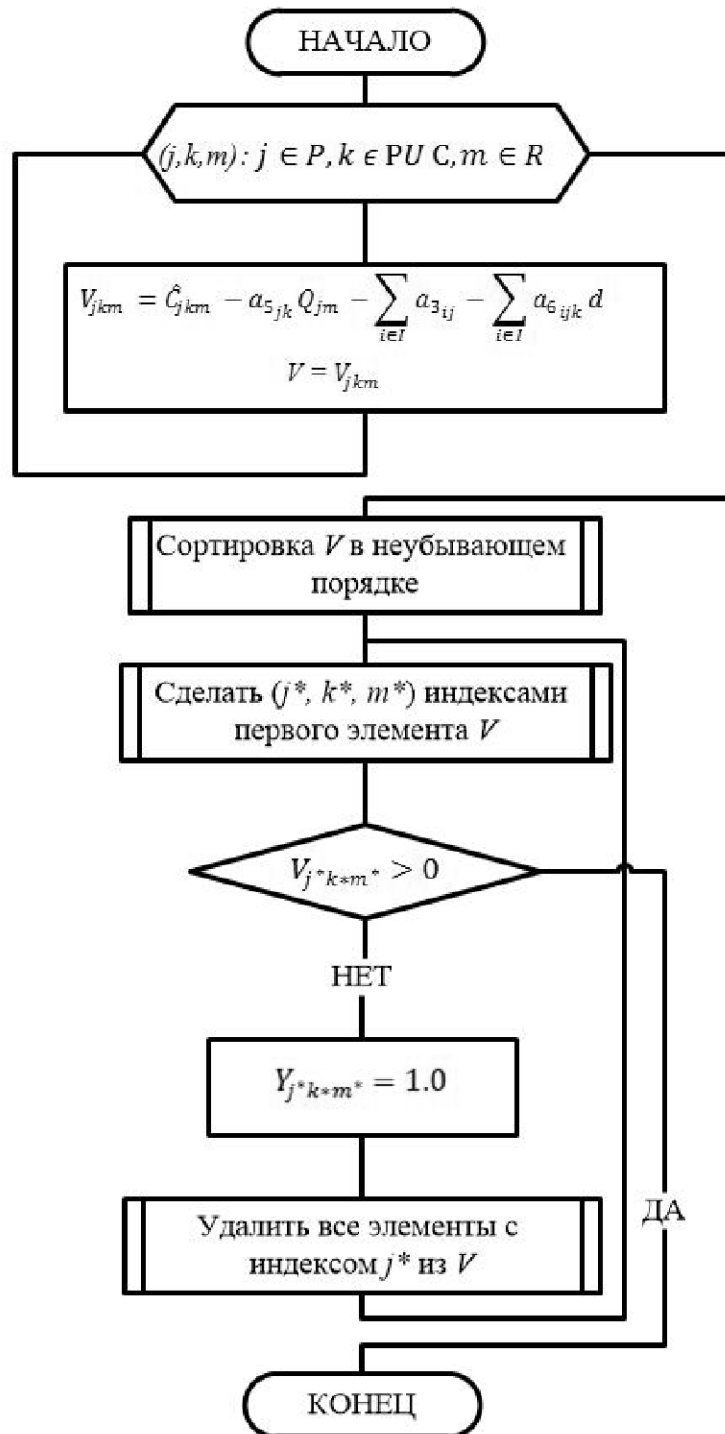


Рисунок 3.9 – Блок-схема процедуры решения подзадачи (2.87), (2.74), (2.76), (2.81), (2.84)-(2.86)

Оптимальным решением второй подзадачи (2.88), (2.67), (2.75), (2.81)-(2.83), (2.85) будет ориентированное дерево минимального охвата с корнем в центральном узле С. Для получения решения использован алгоритм из [154]. При этом оптимальный результат сохраняется в векторе X^* .

Третья подзадача (2.89), (2.72), (2.77), (2.81)-(2.85) решается нахождением кратчайшего пути между определенным требуемым узлом i и центральным узлом C . Для решения использован алгоритм Дейкстры для нахождения кратчайшего пути в графе [90].

Пусть $(a_1^*, a_2^*, a_3^*, a_4^*, a_5^*, a_6^*)$ является оптимальным решением задачи Лагранжа (2.60), (2.52), (2.56), (2.57), (2.59), (2.61)-(2.63). Для получения значений близких к оптимальным значениям множителей использован алгоритм субградиентной оптимизации для получения нижних границ оптимального значения задачи [155].

Переменные Y^* и X^* , полученные в ходе решения подзадач (2.87), (2.74), (2.76), (2.81), (2.84)-(2.86); (2.88), (2.67), (2.75), (2.81)-(2.83), (2.85); (2.89), (2.72), (2.77), (2.81)-(2.85) использованы следующим образом:

1. Задать $Y_{jm} = 1$, при условии, что $Y_{jm}^* = 1$, где $k \in P \cup C$.
2. Предварительно задать $X_{ij} = 1$, если $X_{ij}^* = 1$.

Согласно пунктам 1 и 2, наиболее вероятно, что результат не будет получен при одном или нескольких следующих условиях:

1. Некоторые открытые узлы концентрации присоединены к нераскрытому узлу концентрации j' .

$$U = \{k \in P | Y_{jkm} = 1, Y_{klm}^* \forall 1 \in P \cup C, \forall m \in R\} \neq \varnothing$$

2. В соединениях узлов концентрации могут быть циклы.
3. Некоторые конечные узлы могут быть присоединены к нераскрытому узлу концентрации j' :

$$\{i | i \in I, j' \in P, m \in R, X_{ij} = 1, Y_{jm} = 0\} \neq \varnothing$$

4. Мощность связи между конечными узлами может быть превышена. $|St(i)| > K - 1$, где $i \in I, St(i)$ = множество узлов в поддереве с корнем i .
5. Некоторые узлы концентрации могут нарушать ограничение на мощность, то есть $|St(j)| > Q_{jm}$ где $j \in P, m \in R, Y_{jm} = 1$.

Введены дополнительные обозначения: $P(i)$ – определена как конечная точка направленной связи из узла I , то есть $X_{ip(i)} = 1$; D_{ik} – функция стоимости, определенная, как дополнительная стоимость удаления связи $(i, p(i))$ и добавления

связи (i, k) . Если дополнение к связи (i, k) приводит к циклу или нарушению мощности, тогда $D_{jk} = \infty$; $PredC(j)$ – набор узлов концентрации - предшественников узла концентрации j в базовой СИС.

Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» представлена на рисунке 3.10 и состоит из следующих этапов.

Этап I:

1. Для каждого j , такого, что $\exists k \in U = \{k \in P | Y_{jkm} = 1, Y_{jkm'} = 0, \forall l \in P \cup$

$$C, \forall m' \in R\}$$

Найти $t^* = \operatorname{argmin}_{t \in P \cup C} \hat{C}_{jtm}$, где $t \notin U$

$$Y_{jkm} = 0$$

$$Y_{jtm} = 1$$

2. Если \exists узел (j, k) таким образом, что $j \in PredC(k)$, $k \in PredC(j)$, тогда

найти $l^* = \operatorname{argmin}_{l \in P \cup C} \hat{C}_{jlm}$.

Присвоить $Y_{jkm} = 0$, $Y_{jlm} = 1$.

Присвоить $X_{jk} = 0$, $X_{jl} = 1$.

Этап II:

1. $O = \{j | j \in P, k \in P \cup C, m \in R, Y_{jkm} = 1\}$, $U = P - O$, $V = \{j \in U | \exists i \in I: X_{ij} = 1\}$

2. Для каждого $j \in V$:

пока $|St(j)| > 0$ {

$$r^* = \operatorname{argmin}_{i \in I \cup O \cup C} \{D_{it} | \forall i \in St(j)\}$$

Присвоить $X_{ip(i)} = 0$, $X_{ir^*} = 1$,

$$St(j) = St(j) - \{i\}$$

Обновить множество V }

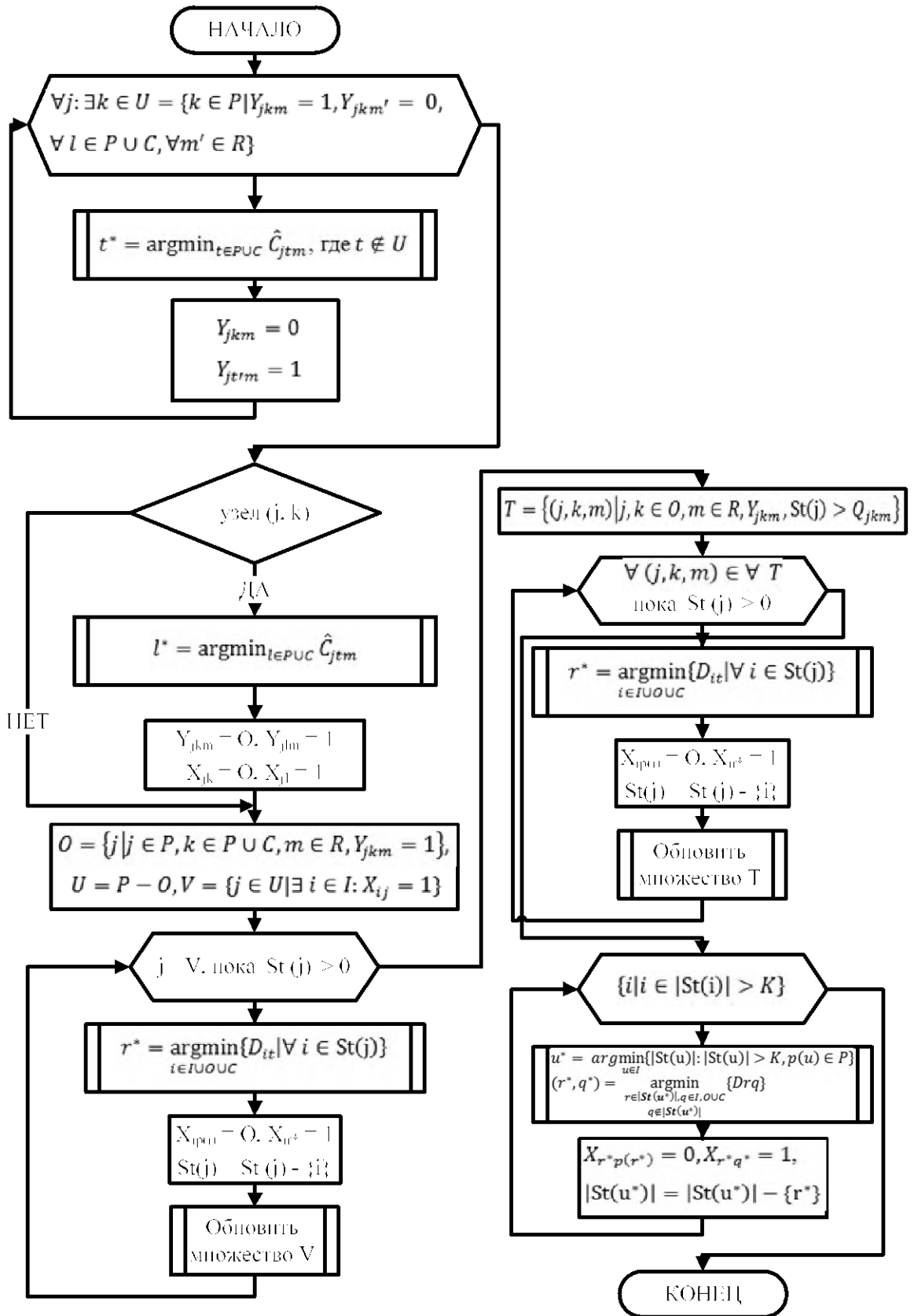


Рисунок 3.10 - Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево»

Этап III:

$$1. T = \{(j, k, m) | j, k \in O, m \in R, Y_{jkm}, St(j) > Q_{jkm}\}$$

2. $\forall (j, k, m) \in \forall T$:

пока $|St(j)| > 0$ {

$$r^* = \underset{i \in I \cup O \cup C}{\operatorname{argmin}} \{D_{it} | \forall i \in St(j)\}$$

Присвоить $X_{ip(i)} = 0, X_{ir^*} = 1,$

$$St(j) = St(j) - \{i\}$$

Обновить множество T }

Этап IV:

1. Пока $\{i | i \in |St(i)| > K\}$

$$u^* = \underset{u \in I}{\operatorname{argmin}} \{|St(u)| : |St(u)| > K, p(u) \in P\}$$

$$(r^*, q^*) = \underset{\substack{r \in |St(u^*)|, q \in I, O \cup C \\ q \notin |St(u^*)|}}{\operatorname{argmin}} \{Drq\}$$

$$X_{r^*p(r^*)} = 0, X_{r^*q^*} = 1,$$

$$|St(u^*)| = |St(u^*)| - \{r^*\}$$

На этапе I была создана низкая по стоимости сетевая система, охватывающая центральный узел и открытые узлы концентрации. На этапе II все конечные узлы, подключенные к узлам концентрации, смещаются в место, где добавочная стоимость ниже. На этапе III приведена последовательность действий, исключаящая превышение мощности узлов концентрации, а этап IV делает соединение конечных узлов разрешенным согласно ограничениям.

3.4 Выводы по главе 3

Для достижения цели исследования разработаны следующие модели:

- процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна;
- процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», отличающаяся применением эвристического подхода.

- процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

- процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», отличающаяся применением эвристического подхода;

- процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

- процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми информационными потоками, отличающаяся применением низкоскоростных линий передачи информации при взаимосвязи конечных узлов СИС и эвристического подхода.

4. Вычислительный эксперимент на разработанных моделях

В главе описаны структуры информационной системы поиска параметров СИС, проведен выбор среды реализации, представлены формы интерфейса пользователя, результаты проведенного вычислительного эксперимента и проверки разработанных аналитических и процедурных моделей.

4.1 Описание моделей и схем информационной системы распределения ресурсов в СИС с различной структурой

Для проверки адекватности разработанных моделей была выполнена программная реализация разработанных в главах 2,3 аналитических и процедурных моделей, структура которой приведена на рисунке 4. Посредством блоков 1.1-1.3 осуществляется взаимодействие с пользователем программного обеспечения, блок 2 реализует процедурную модель, приведенную на рисунке 4.1. База данных необходима для хранения информации о параметрах используемых моделей, промежуточные и окончательные результаты их работы.

Функционал программного обеспечения распределения ресурсов в СИС с различной структурой, представлен в виде диаграммы вариантов использования (рисунке 4.2). Рассмотрим более подробно каждый из представленных вариантов использования. Так вариант использования «ввод параметров» связан отношением «включение» с вариантами «ввод параметров связей в СИС», «ввод типа информационной структуры», а так же «ввод узлов и их параметров». С другой стороны он может решить задачу распределения ресурсов в СИС, с выводом результатов вычислений на экран в графическом или текстовом виде.

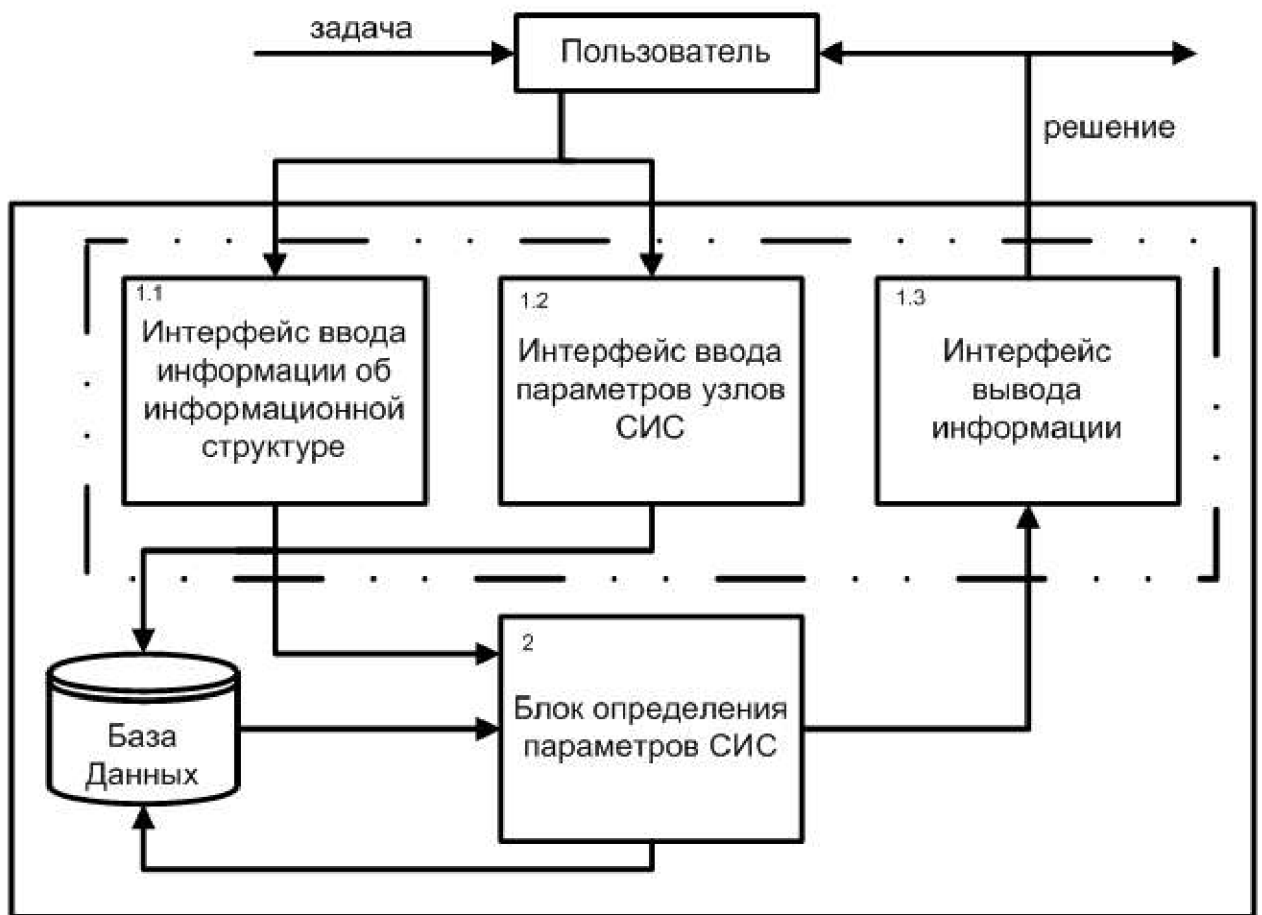
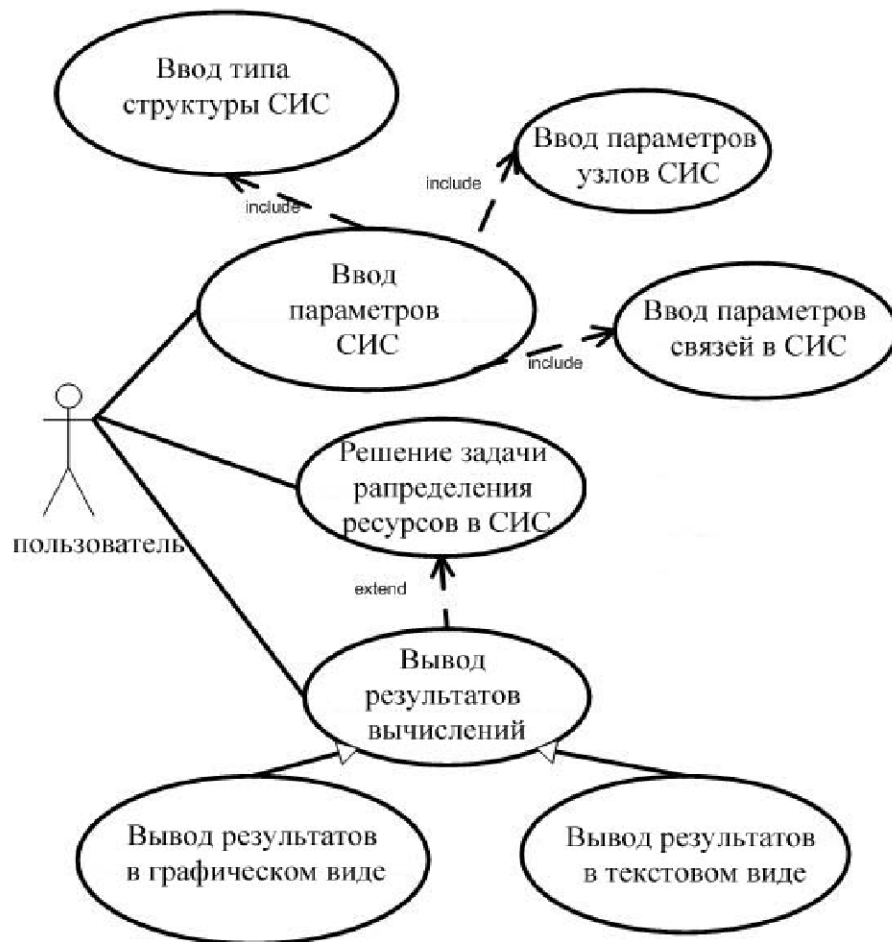


Рисунок 4.1 - Структура программного обеспечения распределения ресурсов в СИС с различной структурой

Статическая структура классов программного обеспечения и их отношения представлены на диаграмме классов (рисунке 4.3). Рассмотрим подробнее каждый из классов.

Класс NetworkIS представляет собой СИС, которая состоит из набора узлов и связей. Данный класс обладает функциями добавления узлов (addNode) и добавления связей между узлами (addLinkToNodes). Класс NetworkIS имеет потомков: NetworkIS_StarTree, NetworkIS_Tree, NetworkIS_TreeTree, которые представляют собой СИС со структурами «звезда-дерево», «дерево» и «дерево-дерево» соответственно. Каждый из этих классов обладает следующими функциями: search_RA - реализация процедурной модели распределения ресурсов в СИС с соответствующей структурой; decision_L – реализация решения задачи

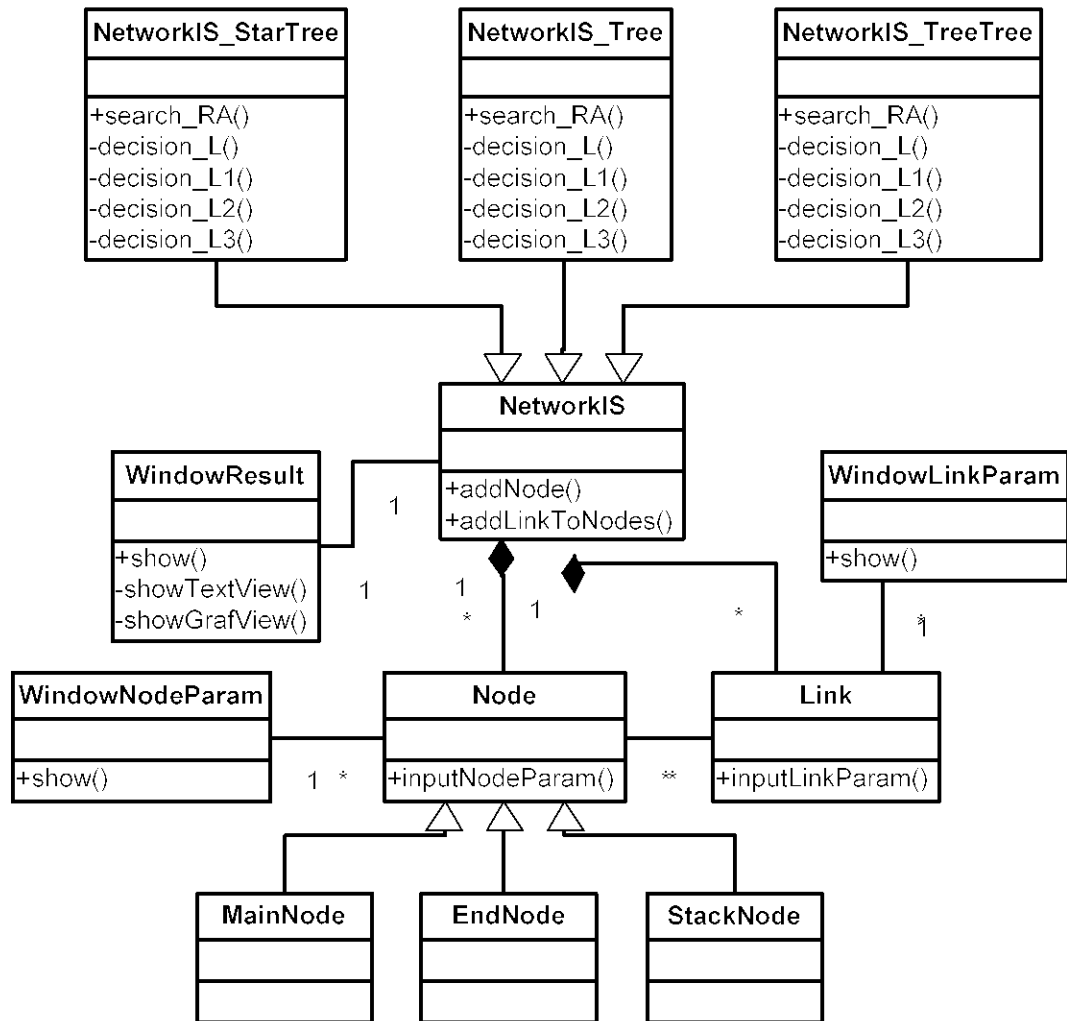
Лагранжа в соответствующей аналитической модели; decision_L1, decision_L2, decision_L3 – реализация решения подзадач на которые разбита задача Лагранжа.



Рисунке 4.2 - Диаграмма вариантов использования программного обеспечения распределения ресурсов в СИС с различной структурой

Класс NetworkIS композиционно связан с классами Node и Link эти классы обладают функциями inputNodeParam и inputLinkParam дающие возможность ввода параметров узлов и связей СИС.

Класс Node имеет потомков MainNode, EndNode, StackNode – представляющие собой центральный узел, конечный узел и узел концентрации СИС соответственно.



Рисунке 4.3 – Диаграмма классов программного обеспечения распределения ресурсов в СИС с различной структурой

Классы WindowNodeParam, WindowLinkParam и WindowResult реализуют графический интерфейс пользователя СИС. Классы WindowNodeParam и WindowLinkParam реализуют функции show, требующиеся для визуализации введенных параметров узлов и связей СИС. Класс WindowResult дает возможность визуализации результатов расчета СИС, имеет функции show – отображает общий результат, showTextView – отображает результат в текстовом виде, showGrafView - отображает результат в графическом виде.

4.2 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево»

4.2.1 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации информационных потоков

Результаты моделирования распределения ресурсов СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации и связей продемонстрированы на наборе из 80 примеров и указаны в таблицах 3.2, 3.3, 3.4 и 3.5.

Координаты узлов были сгенерированы с нормальным распределением в квадрате размером 100x100. Стоимости связи конечных узлов с конечными узлами и узлами концентрации равны евклидовому расстоянию между узлами. Управление затратами показано в таблице 3.1. Информационный поток каждого конечного узла задан 1 единице. Результаты показывают, что процедурная модель распределения ресурсов в СИС работает достаточно неплохо на относительно больших площадях.

Также результат подтверждает, что процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа работает относительно хорошо с СИС, состоящими из 100 конечных узлов и 15 узлов концентрации. Отклонение от верхней границы (границы допустимых параметров) составляет 7-13,5 %. Эффективность эвристики снижается вследствие падения мощности на связях.

Время на вычисление не связано в значительной мере с реализацией и заняло около 2,5 часов. Несмотря на то, что это значение времени выглядит большим, следует помнить о сложности решаемой задачи.

Таблица 4.1 - Структура затрат на узлы концентрации информационных потоков в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации и связей

Структура затрат на узлы концентрации			
Стоимость = $W1 * \text{эвклидово расстояние} + \text{фиксированная цена}$			
Мощность = $W2 * \text{мощность связи}$			
	W1	W2	Фиксированная стоимость
A1	1,2	4,0	10,0
A2	1,2	4,0	30,0
	W1	W2	Фиксированная стоимость
Б1	1,5	4,0	10,0
Б2	1,5	4,0	30,0

Таблица 4.2 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации и связей и числе конечных узлов – 100, потенциальных узлов концентрации – 15, структуре затрат - A1

Мощность связи	Количество узлов концентрации	Время (минуты)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонение, %
4	6	161,7	1119,67	1007,41	11,14
4	6	162,6	1135,72	1031,26	10,13
4	7	164,8167	1164,76	1041,32	11,85
4	5	162,3833	1029,92	938,39	9,75

Окончание таблицы 4.2

среднее	6	162,875			10,72
5	5	162,9833	1015,62	923,38	9,99
5	4	162,55	1038,58	947,38	9,64
5	5	165,4	1067,82	961,51	11,06
5	5	160,0333	947,52	874,16	8,39
среднее	4,75	162,7417			9,77
6	4	161,1167	954,47	870,76	9,61
6	3	128,2	951,61	881,11	8,00
6	5	160,496	1009,92	902,72	11,88
6	4	159,6333	899,50	830,49	8,31
среднее	4	152,3615			9,45
7	3	160,4	908,21	829,61	9,47
7	2	160,5667	931,34	841,08	10,73
7	3	163,2	926,42	846,75	9,41
7	2	164,3833	870,62	799,32	8,92
среднее	2,5	162,1275			9,63
8	2	162,9667	880,81	803,34	9,64
8	2	160,95	887,65	815,89	8,80
8	3	163,05	898,79	826,73	8,72
8	3	154,0833	846,02	770,84	9,75
среднее	2,5	160,2625			9,23

Таблица 4.3 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации и связей и числе конечных узлов – 100, потенциальных местоположений узлов концентрации – 15, структуре затрат Б1.

Мощность связи	Количество узлов концентрации	Время (мин.)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонение %
4	6	163.93	1181.71	1043.47	13.25
4	5	154.47	1191.52	1088.197	9.49
4	5	158.82	1213.35	1079.93	12.35
4	5	163.05	1248.36	1096.92	13.81
среднее	5.25	160.07			12.23
5	5	152.30	1062.25	957.3	10.96
5	4	161.55	1098.82	982.62	11.83
5	3	158.98	1066.3	978.23	9.00
5	3	162.32	1128.06	1000.9	12.70
среднее	3.75	158.79			11.12
6	3	157.05	987.82	893.84	10.51
6	3	162.10	1008.53	912.16	10.57
6	3	158.38	977.13	906.43	7.80
6	5	158.17	1047.76	931.04	12.54
среднее	3.5	158.93			10.35
7	2	163.83	927.96	845.4	9.77
7	2	158.15	963.05	861.59	11.78
7	2	159.17	932.99	862.97	8.11
7	3	154.17	965.62	879.67	9.77
среднее	2.25	158.95			9.86
8	2	163.20	898.82	815.44	10.23
8	2	160.65	892.83	826.45	8.03
8	1	162.13	893.35	827.88	7.91
8	1	161.50	888.64	824.34	7.80
Среднее	1.5	161.87			8.49

Таблица 4.4 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации и связей и количеством конечных узлов – 100, потенциальных местоположений узлов концентрации – 10, структуре затрат А2.

Мощность связи	Количество открытых узлов концентрации	Время (минуты)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонение, %
4	5	164.88	1229.29	1083.68	13.44
4	5	162.70	1150.00	1027.41	11.93
4	4	163.95	1241.32	1107.44	12.09
4	4	151.38	1193.69	1076.65	10.87
среднее	4.50	160.73			12.08
5	3	165.38	1081.91	992.68	8.99
5	3	156.48	1038.98	935.86	11.02
5	3	162.48	1100.39	1003.05	9.70
5	2	159.83	1088.47	981.74	10.87
среднее		161.05			10.15
6	2	161.48	992.02	921.91	7.60
6	2	163.82	961.75	882.52	8.98
6	3	158.37	1017.74	930.08	9.42
6	2	161.53	1000.98	906.72	10.40
среднее	2.25	161.30			9.10
7	2	161.73	943.32	871.38	8.26
7	1	162.17	904.98	836.43	8.20
7	1	163.83	953.08	876.16	8.78
7	2	156.50	944.76	860.83	9.75
среднее	1.15	161.06			8.75
8	1	162.15	909.68	831.45	9.41
8	1	164.70	882.44	805.6	9.54
8	1	164.27	908.88	839.95	8.21
8	0	165.45	925.34	832.47	11.16
среднее	0.75	164.14			9.58

Таблица 4.5 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при условии идентичности параметров узлов концентрации и связей и количестве конечных узлов – 100, потенциальных местоположений узлов концентрации – 15, структуре затрат Б2.

Мощность связи	Количество открытых узлов концентрации	Время (минуты)	Допустимое решение	Нижняя граница	Отклонение, %
4	4	163.98	1268.89	1115.21	13.78
4	4	160.50	1189.84	1062.88	11.94
4	2	162.47	1290.01	1140.04	13.15
4	4	165.67	1220.63	1100.95	10.87
среднее	3.50	163.15			12.44
5	3	164.05	1115.76	1011.62	10.29
5	2	162.07	1075.66	962.68	11.74
5	1	162.43	1131.90	1024.00	10.54
5	2	166.03	1104.63	998.26	10.66
среднее	2.00	163.65			10.81
6	2	164.55	1021.03	937.15	8.95
6	1	162.32	984.50	894.15	10.07
6	1	155.30	1020.82	940.36	8.56
6	2	165.63	1016.73	924.45	9.98
среднее	1.50	161.95			9.39
7	2	158.22	973.04	882.92	10.21
7	1	165.50	929.97	845.01	10.05
7	1	162.67	969.09	885.52	9.44
7	1	164.00	963.00	874.81	10.08
среднее	1.25	162.60			9.94
8	1	164.22	923.32	838.22	10.15
8	0	163.20	868.18	807.33	7.54
8	0	163.18	909.73	843.24	7.89
8	0	165.53	928.52	836.86	10.95
Среднее	0.25	164.03			9.13

4.2.2 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» (общий случай)

При проведении вычислительного эксперимента распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» при отсутствии требования идентичности параметров узлов концентрации координаты узлов были сгенерированы с нормальным распределением в квадрате размером 100x100. Стоимости связи конечных узлов с конечными узлами и узлами концентрации равны евклидовому расстоянию между узлами. Затраты на узлы концентрации с разными уровнями мощности представлены в таблице 4.6. Информационный поток в каждом конечном узле задан равным 1 единице. Результаты тестов, представленные в таблицах 4.7–4.10, показывают успешную работу процедурной модели на нахождения допустимого решения задачи Лагранжа на относительно больших заданных площадях.

Таблица 4.6 - Структура затрат на узлы концентрации информационных потоков в СИС с разными уровнями мощности

Структура затрат на узлы концентрации		
Стоимость = $W1 * \text{евклидово расстояние} + \text{фиксированная стоимость}$		
Емкость = $W2 * \text{пропускной способности канала}$		
Структура затрат A1		
W1	W2	Фиксированная стоимость
1.2	4.0	10.0
1.4	4.5	10.0
1.6	5.5	10.0
Структура затрат A2		
W1	W2	Фиксированная стоимость
1.2	4.0	30.0
1.4	4.5	30.0

Окончание таблицы 4.6

1.6	5.5	30.0
Структура затрат Б1		
W1	W2	фиксированная стоимость
1.5	4	10.0
2.1	5.55	10.0
3.8	7,5	10.0
Структура затрат Б2		
W1	W2	фиксированная стоимость
1.5	4	30.0
2.1	5.55	30.0
3.8	7.5	30.0

Таблица 4.7 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» без ограничения на идентичность параметров узлов концентрации и связей и числе конечных узлов – 100, потенциальных местоположений узлов концентрации – 15, структуре затрат А1.

Мощность связи	Количество открытых узлов концентрации	Время (минуты)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонени е, %
4	5	168.35	1163.47	1042.04	11.68
4	4	165.38	1136.15	1046.67	8.55
4	6	166.53	1145.17	1038.9	10.23
4	5	167.15	1102.14	1001.03	10.10
среднее	5.00	166.85			10.14
5	4	168.15	1073.51	957.55	14.11
5	4	169.32	1030.19	962.72	7.01
5	5	169.72	1066.21	953.83	11.78
5	4	169.83	1028.34	925.87	11.07
среднее	4.25	169.25			10.49
6	3	164.88	986.62	897.1	9.98
6	4	166.90	985.24	906.85	8.64
6	4	167.32	999.44	899.59	11.10

Окончание таблицы 4.7

6	2	168.82	954.08	874.82	9.06
среднее	3.25	166.98			9.70
7	2	170.02	932.96	856.68	8.90
7	3	165.47	947.69	859.3	10.29
7	3	166.40	964.12	857.06	12.49
7	2	164.83	923.33	833.53	10.77
среднее	2.50	166.68			10.61
8	2	166.63	890.63	821.86	8.37
8	2	164.17	901.45	833.5	8.15
8	3	170.50	906.45	826.27	9.70
8	2	169.63	905.34	801.42	12.97
среднее	2.25	167.73			9.80

Таблица 4.8 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» без ограничения на идентичность параметров узлов концентрации и связей и числе конечных узлов – 100, потенциальных местоположений узлов концентрации – 15, структуре затрат А2

Мощность связи	Количество открытых узлов концентрации	Время (минуты)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонени е, %
4	4	168.80	1252.55	1119.08	11.93
4	4	165.63	1218.85	1122.12	8.62
4	3	166.37	1280.41	1122.21	14.10
4	2	167.00	1217.34	1066.17	14.18
среднее	3.25	166.95			12.21
5	3	168.68	1138.43	1016.76	11.97
5	3	165.33	1146.13	1029.76	11.30
5	2	168.35	1136.83	1022.51	11.18
5	2	163.72	1094.35	978.7	11.82
среднее	2.50	166.52			11.57
6	2	166.52	1054.81	939.23	12.31
6	1	164.45	1074.84	958.86	12.10
6	2	165.03	1055.04	953.63	10.63
6	1	165.02	1010.51	906.8	11.44
среднее	1.50	165.25			11.62
7	0	166.42	979.16	891.08	9.88

Окончание таблицы 4.8

7	1	166.97	987.59	905.93	9.01
7	1	170.00	1013.25	901.83	12.35
7	1	168.40	972.24	863.12	12.64
среднее	0.725	167.95			10.97
8	1	168.20	931.31	850.63	9.48
8	1	168.47	936.13	865.28	8.19
8	1	163.83	966.78	858.59	12.60
8	0	162.02	936.77	824.8	13.58
среднее	0.75	166.38			10.96

Таблица 4.9 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» без ограничения на идентичность параметров узлов концентрации и связей и числе конечных узлов – 100, потенциальных местоположений узлов концентрации – 15, структуре затрат Б1

Мощность связи	Количество открытых узлов концентрации	Время (минуты)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонение, %
4	4	169.10	1229.26	1094.62	10.95
4	4	169.17	1205.86	1093.63	9.31
4	6	171.55	1193.27	1097.87	7.99
4	3	168.72	1163.00	1037.97	10.75
среднее	4.25	169.63			9.75
5	3	170.53	1127.69	992.34	12.00
5	4	167.80	1078.82	1002.82	7.04
5	4	170.70	1114.46	998.89	10.37
5	2	167.02	1061.13	956.83	9.83
среднее	3.25	169.01			9.81
6	3	168.93	1000.93	925.27	7.56
6	3	167.65	1015.15	934.37	7.96
6	4	169.35	1029.52	930.08	9.66
6	2	168.67	978.75	888.99	9.17
среднее	3	168.65			8.59
7	2	164.68	948.86	973.05	7.99
7	2	162.10	970.88	885.18	8.83
7	2	163.63	971.54	880.22	9.40
7	2	165.22	941.61	849.88	9.74

Окончание таблицы 4.9

среднее	2	163.9.1			8.99
8	2	167.93	902.74	851.91	5.63
8	1	164.63	917.47	839.85	8.46
8	2	159.53	926.98	844.93	8.85
8	2	167.02	917.33	810.33	11.37
среднее	1.75	164.78			8.58

Таблица 4.10 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево» без ограничения на идентичность параметров узлов концентрации и связей и числе конечных узлов – 100, потенциальных местоположений узлов концентрации – 15, структуре затрат Б2

Мощность связи	Количество открытых узлов концентрации	Время (минуты)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонени е,%
4	2	160.59	1320.24	1148.91	12.98
4	3	161.60	1296.68	1166.69	10.02
4	3	162.58	1311.14	1175.08	10.38
4	3	164.88	1238.74	1096.81	11.46
среднее	2.75	162.41			11.21
5	2	163.23	1171.90	1046.79	10.68
5	3	169.55	1160.43	1066.69	8.08
5	2	164.23	1176.21	1068.20	9.18
5	2	166.87	1104.63	997.36	9.71
среднее	2.25	165.97			9.41
6	2	165.20	1016.43	923.96	9.10
6	1	167.68	1070.27	982.61	8.19
6	2	162.97	1076.11	983.15	8.64
6	2	170.18	1013.29	920.95	9.11
среднее	1.75	166.51			8.76
7	1	164.90	983.08	897.88	8.67
7	1	162.50	1008.68	919.49	8.84
7	2	164.92	1029.92	920.55	10.62
7	1	165.03	963.96	870.28	9.72
среднее	1.25	164.34			9.46
8	0	165.12	929.96	859.88	7.54

Окончание таблицы 4.10

8	0	162.00	948.66	873.27	7.95
8	0	164.87	974.57	871.71	10.55
8	0	163.15	926.79	833.54	10.06
среднее	0	163.78			9.02

4.3 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево»

Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево» проводился с изменением мощности соединения от 6 до 9. Сгенерированы разные случаи задачи с нормальным распределением значений мощности соединения в квадрате размерностью 100x100. Стоимости связи конечных узлов друг с другом приняты равными евклидовому расстоянию между узлами.

Центральный узел был размещен на пересечении диагоналей квадрата. Результаты решения представлены в таблице 4.11-4.12, в которой также приведены результаты вычислений других авторов при решении подобной задачи [94]. Таблицы 4.13. и 4.14 представляют результаты расчетов для случая, где центральный узел перемещен в угол квадрата. В таблицах 4.11-4.14 значение отклонения определяется по формуле

$$\text{Отклонение} = \frac{\text{Верхняя граница} - \text{Нижняя граница}}{\text{Нижняя граница}} * 100,$$

а также введены следующие обозначения T_1 – время решения задачи распределения ресурсов в СИС с использованием разработанных процедурных моделей; T_2 – время решения аналогичной задачи в других исследованиях [94]; O_1 – отклонение, полученное с использованием разработанных процедурных моделей; O_2 – отклонение, полученное при решении аналогичной задачи в других исследованиях [94].

Таблица 4.11 - Сравнение результатов, полученных с использованием разработанной процедурной моделью распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», с результатами других авторов [94] для случая расположения центрального узла СИС на пересечении диагоналей

Количество узлов	Мощность соединения	Верхняя граница из [33]	Нижняя граница из [33]	O_2	T_2	Верхняя граница	Нижняя граница	O_1	T_1
100	6	1084.20	990.31	9.48	123.25	1062.	964.8	10.07	64.53
100	6	1084.08	994.10	9.05	123.92	1083.	986.4	9.87	67.25
100	6	1041.25	971.10	7.22	124.87	1046.	970.6	7.83	67.0b
100	6	1001.92	915.74	9.41	122.33	1007.	915.3	10.02	66.15
100	7	981.61	899.69	9.10	120.91	975.7	911.4	7.04	55.03
100	7	994.81	928.19	7.17	118.91	1007.	928.7	8.44	64.82
100	7	967.414	900.51	7.42	124.89	968.4	903.6	7.17	60.28
100	7	919.83	853.15	7.81	117.26	921.4	853.9	7.90	67,12
100	8	922.76	857.48	7.61	121.34	924.2	861.2	7.31	63.66
100	8	944.64	869.72	8.61	120.88	943.0	880.5	7.10	65.65
100	8	921.53	858.54	7.33	121.80	925.5	860.1	7.60	63.83
100	8	873.04	803.73	8.62	115.84	862.6	809.7	6.53	68.04
100	9	880.07	815.55	7.91	119.30	886.3	825.1	7.41	64.00
100	9	903.59	833.21	8.44	121.16	900.7	843.7	6.74	63,66
100	9	871.83	810.23	7.60	115.37	878.9	825.5	6.46	68.44
100	9	827,07	764.88	8.13	119.97	827.3	776.0	6.61	67.20

Таблица 4.12 - Сравнение вычислительного времени и отклонений, полученных с использованием разработанной процедурной моделью распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», с результатами других авторов [94] для случая расположения центрального узла СИС на пересечении диагоналей

Количество узлов	Мощность соединения	$\frac{T_1}{T_2} * 100, \%$	$\frac{O_1}{O_2} * 100, \%$
100	6	52.35	1.06
100	6	54.27	1.09

Окончание таблицы 4.12

100	6	53.70	1.08
100	6	54.07	1.06
100	7	45.51	0.77
100	7	54.51	1.17
100	7	48.26	0.96
100	7	57.2.4	1.01
100	8	52.46	0.96
100	8	54,31	0.82
100	8	52.40	1.03
100	8	58.74	0,75
100	9	53.62	0.93
100	9	52.54	0,79
100	9	59.32	0.85
100	9	56.02	0.81
среднее		53.71	0.95

Таблица 4.13 - Сравнение результатов, полученных с использованием разработанной процедурной моделью распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», с результатами других авторов [94] для случая расположения центрального узла СИС в углу

Количество узлов	Мощность соединения	Верхняя граница из [33]	Нижняя граница из [33]	O_2	T_2	Верхняя граница	Нижняя граница	O_1	T_1
100	6	1693,82	1443.65	17.33	119.48	1708.02	1473,70	15.90	66,45
100	6	1655.36	1441.94	14.80	117.42	1643.66	1456.46	12.85	64.90
100	6	1658.77	1427.57	16.20	121.49	1644.16	1448.43	13.51	67.42
100	6	1592.96	1368.13	16.43	116.22	1604.73	1405.37	14.19	65.91
100	7	1516.31	1330.23	13.99	117.26	1526.08	1349.00	13.13	64.46
100	7	1490.43	1327.54	12.27	119.72	1526.06	1330.09	14.73	64.87
100	7	1488.25	1317.65	12.95	116.58	1484.94	1326.51	11.94	64.28
100	7	1436.60	1373.52	12.81	116.61	1464.09	1289.03	13.58	65.57
100	8	1393.12	1229.13	13.34	115.70	1388.94	1247.58	11.33	68.21
100	8	1379.14	1223.28	12.74	116.94	1377.29	1242.25	10.87	66.46
100	8	1369.85	1209.16	13.29	117.67	1357.06	1221.51	11.10	67.16
100	8	1319.36	1179.76	11.83	116.32	1323.18	1190.48	11.15	69.32
100	9	1281.48	1141.99	12.21	118.38	1302.63	1156.90	12.60	65.40
100	9	1273.22	1140.91	11.60	117.02	1271.26	1147.58	10.78	65.11
100	9	1285.55	1113.33	15.47	118.38	1269,42	1120.48	13.29	66.42
100	9	1232.00	1096.89	12.32	117.69	1253.69	1109.02	13.04	67.11

Таблица 4.14 - Сравнение вычислительного времени и отклонений, полученных с использованием разработанной процедурной моделью распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», с результатами других авторов [94] для случая расположения центрального узла СИС в углу

Количество узлов	Мощность соединения	$\frac{T_1}{T_2} * 100, \%$	$\frac{O_1}{O_2} * 100, \%$
100	6	55.61	0.91
100	6	55.2,7	0.86
100	6	55.49	0.83
100	6	56.71	0.86
100	7	55.82	0.93
100	7	54.18	1.20
100	7	55.13	0.92
100	7	56.22	1.06
100	8	58.95	0.84
100	8	56.83	0,85
100	8	57.07	0.83
100	8	59.59	0,94
100	9	55.25	1.03
100	9	55.64	0.92
100	9	56.11	0.85
100	9	57.01	1.05
среднее		56.30	0.93

Анализ результатов вычисления говорит о том, что разработанные аналитические и процедурные модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево» более приближен к нижним границам, чем лучшие результаты полученные ранее, в то время как допустимое решение (верхняя граница) не всегда лучше. Вычислительное время представленных в работе моделей приблизительно в два раза меньше. В среднем отклонение составляет 5%. Результаты не сильно изменяются при перемещении центрального узла в угол рассматриваемой площади, как показано на таблицах 4.13 и 4.14. Поэтому можно считать, что разработанные модели является более эффективными, чем ранее представленные подходы.

4.4 Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево»

Вычислительный эксперимент распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» проводился с изменением мощности соединения от 2 до 8, было сгенерировано 4 случая задачи с нормальным распределением координат узлов в квадрате размером 100x100. Стоимости связи конечных узлов друг с другом приняты равными евклидовому расстоянию между узлами. Затраты на узлы концентрации и их мощности заданы значениями, указанными в таблице 4.15.

Таблица 4.15 - Структура затрат на узлы концентрации информационных потоков в СИС со структурой «дерево-дерево»

Стоимость = W1 * евклидово расстояние + Фиксированная стоимость Емкость = W2 * мощность соединения		
Структура затрат А		
W1	W2	Фиксированная стоимость
1.5	4	10.0
2,1	5.55	10.0
3.8	7.5	10.0
Структура затрат Б		
W1	W2	Фиксированная стоимость
1.5	4	30.0
2.1	5.55	30.0
3.8	7.5	30.0

Результаты вычислительного эксперимента распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево», представленные в таблицах 4.16-4.17, указывают

на то, что применение разработанных процедурных моделей дает отклонение 8-15% от нижней границы, что является допустимым отклонением в условиях сложности данной задачи. Отклонение уменьшается вследствие уменьшения мощности соединения. Когда мощность соединения принимается равной 1, задача сводится к задаче распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», решение которой существенно проще. Результаты для таких СИС представлены в табл. 4.18. Анализируя приведенные таблицы, можно заметить, что эффективность разработанных процедурных моделей для более простых случаев существенно возрастает, предоставляя отклонение от нижней границы от 3 до 5.5%.

Таблица 4.16 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» и числе конечных узлов = 100, количестве потенциальных местоположений узлов концентрации = 10, структуры затрат А

Мощность связи	Количество узлов концентрации	Время (мин.)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонение %
1	2	3	4	5	6
2	8	125.60	1521.71	1446.73	5.18
2	8	129.03	1754.20	1638.4	7.07
2	7	124.45	1884.14	1740,5	8.25
2	6	126.53	1794.05	1665.29	7.73
среднее	7.25				7.05
3	4	129.03	1794.05	1665.29	7.73
3	5	125.45	1569.98	1425.77	10.11
3	6	127.32	1397.42	1258.11	11.07
3	4	129.08	1260.38	1153.15	9.30
среднее	4.75				9.55
4	5	121.94	1068.36	938.84	13.80
4	5	120.32	1204.20	1061.76	13.42
4	4	124.87	1255.68	1122.58	11.86
4	3	125.47	1159.85	1057.09	9.72
среднее	4.25	123.14			12.97
5	3	124.82	993.09	896.05	10.83
5	4	116.53	1108.21	958.55	15.61
5	3	125.42	1101.58	1000.07	10.15
5	3	117.08	1040.30	948.21	9.71

Окончание таблицы 4.16

среднее	3.25	118.95			11.57
6	3	124.83	942.99	841.16	12.11
6	4	124.95	1022.92	894.56	14.35
6	3	126.72	1021.69	923.53	10.63
6	2	117.08	950.59	879.35	9.24
среднее	3	123.39			11.58
7	2	106.63	900.80	800.14	12.58
7	2	128.15	964.50	840.41	14.77
7	3	127.27	971.67	866.09	12.19
7	2	122.78	929.58	827.87	12.29
среднее	2.25	121.20			12.95
8	2	126.60	864.69	764.94	13.04
8	2	123.98	929.41	803.47	15.67
8	2	99.95	924.61	826.41	11.88
8	1	98.27	878.05	781.66	12.33
среднее	1.75	122.2			13.23

Таблица 4.17 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» и числе конечных узлов = 100, количестве потенциальных местоположений узлов концентрации = 10, структуры затрат Б

Мощность связи	Количество узлов	Время (мин.)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонен ие %
1	2	3	4	5	6
2	8	130.43	1698.24	1582.38	7.32
2	7	129.03	1948.78	1785.91	9.12
2	7	124.45	2025.39	1878.11	7.84
2	4	126.53	1896.45	1774.69	6.86
среднее	6.50	127.61			7.79
3	5	129.03	1353.13	1253.88	7.92
3	5	125.45	1486.48	1367.26	8.72
3	4	127.32	1549.39	1439.42	7.64
3	3	129.08	1478.56	1353.93	9.21
среднее	4.25	127.72			10.00
4	4	127.55	1172.19	1064.78	12.38
4	4	130.93	1284.37	1158	13.28
4	3	130.88	1316.30	1198.09	10.54
4	3	121.48	1220.73	1118.21	11.73
среднее	3.5				11.73
5	4	285.08	1079.92	960.94	13.12
5	2	129.98	1167.58	1030.67	12.91

Окончание таблицы 4.17

5	2	128.22	1170.08	1058.52	12.45
5	2	116.38	1103.22	987.37	12.27
среднее	2.5				12.68
6	0	113.05	999.99	883.98	11.24
6	0	125.63	1062.22	940.8	15.34
6	2	124.75	1083.28	963.37	12.67
6	0	119.20	1016.81	905.66	11.43
среднее	0.75				12.66
7	0	126.62	928.80	834.96	11.97
7	1	128.15	1003.90	870.39	14.64
7	2	130.87	1020.91	906.1	10.26
7	0	132.20	940.64	844.16	9.78
среднее	0.75				11.66
8	0	127.48	889.85	794.7	
8	0	123.67	951.70	830.16	
8	1	130.70	951.78	863.22	
8	0	120.20	878.06	799.22	
среднее	0.25				

Таблица 4.18 - Результаты вычислений распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» и количестве терминалов = 100, количестве потенциальных местоположений узлов концентрации = 10, мощностей узлов концентрации 15, 25, 45

Мощность связи	Количество узлов концентрации	Время (мин.)	Верхняя граница	Нижняя граница	Отклонение %
10	8	46.07	1182.36	1824.98	3.14
10	10	48.38	2105.08	2051.81	2.60
10	7	58.45	2419.819	2295.35	5.42
10	5	53.47	2018.53	1947.99	3.62
среднее	7.5	51.59			3.70
30	5	49.88	2509.55	3406.82	4.27
30	8	53.27	2284.82	2214.85	3.16
30	6	57.70	2570.82	2509.75	2.43
30	6	55.03	2555.66	2515.76	1.59
среднее	6.25	53.97			2.86

4.5 Выводы по главе 4

Разработанная информационная система распределения ресурсов в СИС с различной структурой позволила провести вычислительные эксперименты, которые показали эффективность применения разработанных в главах 2 и 3 аналитических и процедурных моделей распределения ресурсов в СИС с различной структурой. Получены результаты распределения ресурсов в больших СИС с различной структурой, которые на 7-14% лучше, чем результаты, полученными другими исследователями. В ряде случаев результаты получены за время в 2 раза меньшее, чем в других исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные вычислительные эксперименты распределения ресурсов в СИС с различной структурой позволили результаты, которые на 7-14% лучше, чем результаты, полученными другими исследователями.

При решении задач распределения ресурсов в СИС с различной структурой в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, проводимых в ООО «Медтехника» и ООО «КОНУС-ИТ» стоимость синтеза СИС уменьшена на 7-15%, а время получения результатов сокращено на 30%.

Результаты исследования:

1. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.

2. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

3. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», отличающаяся применением эвристического подхода, позволившая получить результаты с отклонением в пределах 7-14 % от нижней границы.

4. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.

5. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

6. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», отличающаяся применением эвристического подхода, позволившая получить

результаты с отклонением в пределах 5% от нижней границы за время в 2 раза меньшее.

7. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.

8. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

9. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми информационными потоками, отличающаяся применением низкоскоростных линий передачи информации при взаимосвязи конечных узлов СИС и эвристического подхода, позволившая получить результаты с отклонением в пределах 8-15 % от нижней границы для больших СИС и 3-5.5% для более простых случаев.

В диссертации решена научная задача – построены аналитические и процедурные модели: определения параметров СИС со структурами «звезда-дерево», «дерево» и «дерево-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

Основные положения работы диссертации использованы при обучении студентов кафедры «Информационные системы и защита информации» в Институте автоматизации и информационных технологий ФГБОУ ВПО «ТГТУ». Результаты диссертационной работы приняты к внедрению на кафедре «Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВПО «ТГТУ», в ООО «Медтехника», ООО «КОНУС-ИТ», Центральном-черноземном региональном учебно-научном центре при ФГБОУ ВПО «ТГТУ» по проблемам информационной безопасности, что подтверждено актами о внедрении результатов исследований (Приложение А).

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы. Разработанные модели целесообразно применять в организациях и учреждениях, разрабатывающих или обслуживающих разветвленную сетевую структуру с необходимостью хранения, обработки и передачи значительных информационных потоков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акофф, Р.Л. Планирование в больших экономических системах . пер. с англ. / Р.Л. Акофф. - М. : Сов. радио, 1972. - 223 с.
2. Березин, Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем / Е.А. Березин. - М.: Сов. радио, 1974. - 304 с.
3. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. - М. : Наука, 1978.-400 с.
4. Давыдов, Э.Г. Игры, графы, ресурсы / Э.Г. Давыдов. - М.: Радио и связь, 1981. - 112 с.
5. Льюис, К. Метод программирования экономических показателей / К. Льюис. - М. : Финансы и статистика, 1986. - 130 с.
6. Нейман, Дж. Теория игр и экономическое поведение / Дж. Нейман, О. Моргенштерн. - М.: Наука, 1970. - 708 с.
7. Поспелов, Г.С. Программно-целевое планирование и управление (Введение) / Г.С. Поспелов, В.А. Ириков. - М. : Сов. радио, 1976. - 440 с.
8. Саати, Г. Аналитическое планирование. Организация систем : пер. с англ. / Т. Саати, К. Кернс. - М.: Мир, 1991. - 224 с.
9. Распределение ресурсов сетевых электротехнических систем / К.А. Набатов, Ю.Ю. Громов, В.Ф. Калинин, Ю.С. Сербулов, В.О. Драчев. – М.: Машиностроение, 2008. – 240с.
10. Орел, Е.Н. Моделирование процессами управления проектами при ресурсных ограничениях И/ИЛИ / Е.Н. Орел, Т.Я. Орел // Эволюционная информатика и моделирование. - М. : ИФТП, 1994. - С. 165 - 185.
11. Плюта, В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях: методы таксономии и факторного анализа: пер. с пол. / В. Плюта. - М. : Статистика, 1980. - 151 с.
12. Айвазян, С.А. Классификация многомерных наблюдений / С.А. Айвазян, З.И. Бежаева, О.В. Староверов. - М.: Статистика, 1974.-383 с.
13. Розин, Б.Б. Теория распознавания образов в экономических исследованиях / Б.Б. Розин. - М. : Статистика, 1973. - 224 с.
14. Goh, B.S. Global Stability in many-species systems / B.S. Goh // The Amer. Natur. - 1977. - V. 111. X» 977. - P. 135 - 143.
15. Энкарначчо. Ж. Автоматизированное проектирование. Основы понятия и архитектура систем / Ж. Энкарначчо. Э. Шлехтендаль. - М.: Радио и связь, 1986. - 288 с.
16. Кузьмин. В.Б. Эталонный подход к получению нечетких отношений предпочтения / В.Б. Кузьмин // Нечеткие множества и теория возможностей: последние достижения : пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1986. - С. 87 — 97.
17. Овчинников, С.В. О нечетких классификациях / С.В. Овчинников Т.

Ръера // Нечеткие множества и теория возможностей: последние достижения : пер. с англ. - М. : Радио и связь, 1986. - С. 100 - 113.

18. Руспини, Э.Г. Последние достижения в нечетком кластер-анализе / Э.Г. Руспини // Нечеткие множества и теория возможностей: последние достижения : пер. с англ. - М. : Радио и связь, 1986. - С. 114 - 132.

19. Плота, В. Сравнительный многомерный анализ в экономическом моделировании : пер. с пол. / В. Плота. - М. : Финансы и статистика, 1989. - 175 с.

20. Распознавание образов при построении экономико-статических моделей / А.В. Беккер, М.А. Ягольницер, А.А. Колоколов, Б.А. Гладких. - Новосибирск : Наука, 1975. -421 с.

21. Уатт, К. Экология и управление природными ресурсами : пер. с англ / К. Уатт. - М. : Мир. 1971. - 463 с.

22. Расстригин. Л.А. Адаптивные методы многокритериальной оптимизации / Л.А. Растрингин, Я.Ю. Эйдук // Автоматика и телемеханика. - 1985. - № 1. -С. 5-26.

23. Благуш, П. Факторный анализ с обобщениями / П. Благуш. - М. : Финансы и статистика. 1988. -264 с.

24. Chandy, K. M. The Design of Multipoint Linkages in a Teleprocessing Tree Network / K. M. Chandy, R. A. Russel // IEEE Transactions on Computers. – 1972. - С-21. – P.1026-1066.

25. Pirkul, H. Efficient Algorithms for the Capacitated Concentrator Location Problem / H. Pirkul // Computers and Operations Research. - 1987. – V. 14:3. – P.197-208.

26. Gavish, B. Parallel Savings Heuristics for the Topological Design of Local Access Tree Networks / B. Gavish, K. Altinkemer // Proceedings of the IEEE Conference on Communications. - 1986. – P.130-139.

27. Норенков, И.П. Основы теории и проектирования САПР / И.П. Норенков, В.Б. Маничев. - М. : Высшая школа, 1990. - 335 с.

28. Березин, Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и теория игр / Е.А. Березин. - М. : Радио и связь, 1983. - 216 с.

29. Турин, Л.С. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов / Л.С. Турин, Я.С. Дымарский, А.Д. Меркулов. - М. Сов. радио, 1968. - 463 с.

30. Гусейнов, Б.А. Оптимальное распределение ресурсов в территориальных системах / Б.А. Гусейнов, И.А. Ушаков. - М. : ВЦ АН СССР, 1985. - 52 с.

31. Давыдов, Э.Г. Применение геометрического программирования к задачам распределения ресурсов на сетевых графиках / Э.Г. Давыдов, С.В. Злобина. - М. : ВЦ АН СССР, 1981. - 50 с.

32. Комков, Н.И. Модели программно-целевого планирования (на примере программы научно-технического развития) / Н.И. Комков. - М. : Наука.-269 с.
33. Лотов, А.В. О предварительном распределении ресурсов между программами в программно-целевом подходе к планированию народного хозяйства / А.В. Лотов, С.В. Огневцев. - М. : ВЦ АН СССР, 1980. - 48 с.
34. Макеев, С.П. Модель процесса координации в линейной задаче распределения ресурсов / С.П. Макеев, Г.П. Серов, И.Ф. Шахнов. - М.; ВЦ АН СССР, 1984.-47 с.
35. Цвиркун, А. Д. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход) / А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев, В.А. Филиппов. - М. : Наука, ! 985. - 174 с.
36. Данциг, Д. Линейное программирование / Д. Данциг. - М. : Прогресс - 600 с.
37. Сысоев, В.В. Структурные и алгометрические модели автоматизированного проектирования производства электронной техники / В.В. Сысоев. - Воронеж : Изд-во Воронеж, технол. ин-та, 1993. - 207 с.
38. Таха, Х. Введение в исследование операций: в 2 кн. : пер. с англ. / Х. Таха. - М. : Мир, 1985. - Кн. 1. - 479 с.
39. Базара, М. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы / М. Базара, К. Шетти. - М. : Мир, 1982. - 583 с.
40. Ballou, R. H. Commercial Software for Locating Warehouses and Other Facilities / R. H. Ballou, J. Masters // Journal of Business Logistics. - 1993. –V. 14.
41. Кофман, А. Методы и модели исследования операций. Целочисленное программирование : пер. с фр. / А. Кофман, А. Анри-Лабордер. - М. : Мир 1977.- 432 с.
42. Норенков, И.П. Основы теории и проектирования САПР / И.П. Норенков, В.Б. Маничев. - М. : Высшая школа, 1990. - 335 с.
43. Братищенко, В.В. Проектирование информационных систем. / В.В. Братищенко. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2004. – 84 с.
44. Ауад, М. Процедура выбора и распределения ресурсов в информационных системах / М. Ауад, Ю.Ю. Громов, Минин Ю.В., Приходько М.В. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика". – 2014. - №1. – С.18-26 (6/9).
45. Ауад, М. Оптимизационные задачи выбора и распределения ресурсов в информационных системах / М. Ауад, В.В. Борщ, А.В. Лазаренко, Ю.В. Минин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика". – 2014. - №1. – С.43-46 (2/4).

46. Ауад, М. Модель распределения ресурсов в сетевых информационных структурах / М. Ауад, Ю.В. Минин, Ю.Ю. Громов // Вестник Воронежского института МВД России. - 2013. – № 4. - С. 215-220 (4/6).
47. Ауад, М. Подход к формированию набора информационных ресурсов образовательного назначения на основе нечетких сетей Петри / М. Ауад, О.Г. Иванова, Т.О. Авдеева, Д. Льюнг Хак, М. Аль-Балуши // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012. - №3 – С.55-58 (1,5/4).
48. Ауад, М. Интеллектуальная система обучения с адаптивным построением курса обучения на LMS Moodle / Т.О. Авдеева, Д. Льюнг Хак, М. Ауад, М. Аль-Балуши // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012. - №3 – С.71-74 (1/4).
49. Ауад, М. Задача поиска оптимальных параметров сетевой информационной структуры типа «звезда-дерево» / М. Ауад, А.А Долгов, М.А. Хорохорин, А.Ю. Гречушкина, Ю.В. Минин // "Информатика: проблемы, методология, технологии" : материалы XIV Международная конференция (6-8 февраля 2014 года) : в 3-х т. - Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2014. – Т.1. – С.52-56 (3/5).
50. Ауад, М. Задача поиска параметров структуры типа «звезда-дерево» сетевой информационной системы при условии применения идентичных концентраторов / М. Ауад, С.В. Зайцев, С.А. Копылов, А.Ю. Гречушкина, Ю.В. Минин // Современные информационные технологии : Труды международной научно-технической конференции.- Пенза: Пензенский -государственный технологический университет, 2014, вып. 19. – С.7-12 (4,5/6).
51. Ауад, М. Определение оптимальных параметров структуры типа «звезда-дерево» сетевой информационной системы / М. Ауад, С.В. Зайцев, Д.С. Соловьев, А.Ю. Гречушкина, Ю.В. Минин // Современные информационные технологии : Труды международной научно-технической конференции.- Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2014, вып. 19. - С.12-16 (3/5).
52. Ауад М. Определение оптимального расположения элементов в локальных сетевых информационных системах/М.Ауад, Е.В. Костерин , А.Ю. Гречушкина, Д.В. Поляков, Ю.В. Минин // Современные информационные технологии : Труды международной научно-технической конференции.- Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2014, вып. 19. – С.16-19 (2,5/4).
53. Ауад, М. Определение параметров структуры сетевой информационной системы с многопунктовыми линиями связи / М. Ауад, Н.А. Овчинников , А.С. Моисеев, А.Ю. Гречушкина, Ю.В. Минин // Современные информационные технологии : Труды международной научно-технической

конференции. - Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2014, вып. 19. - С.19-24 (4/6).

54. Ауад, М. Применение лингвистических переменных в задаче оценки рисков в информационных системах / М. Ауад, С.В. Проскуряков, М. Аль Балуши, Д. Льюнг Хак, // Методы и модели автоматизации и поддержки управленческих решений. Сборник научных трудов МАДИ. – 2011. – С.48-56 (3/9).

55. Ауад, М. Использование нечетких множеств в задаче оценки сетевых информационных систем / М. Ауад, С.В. Проскуряков, М. Аль Балуши, Д. Льюнг Хак // Методы и модели автоматизации и поддержки управленческих решений. Сборник научных трудов МАДИ. – 2011. – С.56-63 (2,5/8).

56. Ауад, М. К вопросу о метриках в задачах оценки уязвимости сетевых информационных систем / М. Ауад, С.В. Проскуряков, М. Аль Балуши, Д. Льюнг Хак // Методы и модели автоматизации и поддержки управленческих решений. Сборник научных трудов МАДИ. – 2011. – С.63-72 (3,5/10).

57. Ауад, М. Оценка живучести сетевых структур с использованием системы Matlab / М. Ауад, А.А. Долгов, О.Г. Иванова, Д. Льюнг Хак, // Вестник Воронежского института ФСИН России. - Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга». – 2011. - №1. – С.56-59 (1,5/4).

58. Ауад, М. Управление информационными процессами при нечеткой информации / М. Ауад, Ю.В. Минин, А.Ю. Громова, В.В. Родин, Д. Льюнг Хак // Вестник Воронежского института ФСИН России. - Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга». – 2011. - №1. – С.71-75 (1,5/5).

59. Ауад, М. Управление информационными процессами в системах с использованием качественной информации / М. Ауад, Ю.В. Минин, А.Ю. Громова, В.В. Родин, Д. Льюнг Хак // Вестник Воронежского института ФСИН России. - Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга». – 2011. - №2 – С. 64-68 (1,5/5).

60. Ауад, М. Интеллектуальная информационная система оценки устойчивости функционирования сетевых информационных систем / М. Ауад, Н.Ю. Аль-Тамими, М.П. Аль-Балуши, Д. Льюнг Хак, Ю.В. Минин // Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы-2011: сборник материалов Международной научно-практической конференции: в 2 т./ ФКОУ ВПО Воронежский институт ФСИН России. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга». – Т.1. – 2011. – С.382-388 (3/7).

61. Ауад, М. Некоторые аспекты интеллектуальной информационной системы оценки функционирования сетевых информационных систем / М. Ауад, Н.Ю. Аль-Тамими, М.П. Аль-Балуши, Д. Льюнг Хак, Ю.В. Минин // Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы-2011: сборник материалов Международной научно-практической конференции: в 2 т. / ФКОУ

ВПО Воронежский институт ФСИН России. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга». – Т.1. – 2011. – С.388-394 (2,5/7).

62. Ауад, М. Оценка надежности средств парирования внешних воздействий / М.Ауад, Н.Ю. Аль-Тамими, М.П. Аль-Балуши, Д. Льюнг Хак, Ю.В. Минин // Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы-2011: сборник материалов Международной научно-практической конференции: в 2 т./ФКОУ ВПО Воронежский институт ФСИН России. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга». – Т.1. – 2011. – С.394-399 (2/6).

63. Ahuja, V. Design and Analysis of Computer Communication Networks / V. Ahuja // McGraw- Hill, New York. - 1982.

64. Boorstyn, R. R. Large-scale Network Topological Optimization / R. R. Boorstyn, H. Frank // IEEE Trans. Communications. - 1977. - COM-25. - P.29-46.

65. Воронин, А.А. Оптимальные иерархические структуры. / А.А. Воронин, С.П. Мишин. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 214 с.

66. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–02. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств. Введ.2002-06-25. – М.: Госстандарт, 2002. – 49 с.

67. Bahl, L. R. Optimization of Concentrator Location in Teleprocessing Networks / L. R. Bahl, D. T. Tang // Proceedings of the Symposium on Computer-Communication Networks and Teletraffic, Polytechnique Institute of Brooklyn, Brooklyn, N.Y. - 1972. - April 4- 6. – P.355-362

68. Neebe, A. W. An Algorithm for the Fixed-Charge Assigning Users to Sources Problem / A. W. Neebe, M. R. Rao // Journal of Operational Research Society. - 1983. – V.34. – P.1107-1113.

69. Dysart, H. G. NEWCLUST: An Algorithm for the Topological Design of Two-Level, Multidrop Teleprocessing Networks / H. G. Dysart, N. D. Georganas // IEEE Transactions on Communications. - 1978. - COM-26. – P.55-61.

70. McGregor, P. Network design: An algorithm for access facility location problems / P. McGregor, D. Shen // IEEE Trans. Commun. - 1977. - V. 125.

71. Schneider, G. M. An algorithm for the design of multilevel concentrator networks / G. M. Schneider, M. N. Zastrow // Computer Networks. - 1982. - V.6. – P.1-11.

72. Mirzain, A. Lagrangean Relaxation for the Star-Star Concentrator Location Problem: Approximation Algorithm and Bounds / A. Mirzain // Networks. - 1985. – P.1 -20.

73. Klincewicz, J. G. A Lagrangian Relaxation Heuristic for Capacitated Facility Location Problems with Single-Source Constraints / J. G. Klincewicz, H. Luss // Journal of the Operations Research Society. - 1986. – V.37. – P. 495-500.

74. Lo, Chi-Ciun A Two-Phase Algorithm and Performance Bounds for the

- Star-Star Concentrator Location Problem / Chi-Ciiun Lo, A. Kershenbaum // IEEE Transactions on Communications. - 1989. - COM-37. – V.11. – P.1151-1163.
75. Pirkul, H. Efficient Algorithms for the Capacitated Concentrator Location Problem / H. Pirkul // Computers and Operations Research. - 1987. – V. 14:3. – P.197-208.
76. Pirkul, H. Locating Concentrators for Primary and Secondary Coverage in a Computer Communication Network / H. Pirkul, S. Narasimhan, P. De // IEEE Transactions on Communications. - 1988. – V. 36, 4. – P. 450-458.
77. Pirkul, H. Hierarchical Concentrator Location Problem / H. Pirkul, S. Narasimhan // Computer Communications. – 1992. – V. 15, 3. – P.185-191.
78. Polich, J. M. The Effect of Problem Size on Representation in Deductive Problem Solving / J. M. Polich, S. H. Schwartz // Memory and Cognition. - 1974. – V.2. – P.683-686.
79. Тарасевич, Ю.Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы. / Ю.Ю. Тарасевич. – М., УРСС, 2002. –112 с.
80. Kleinrock, L. A Decade of Network Development / L. Kleinrock // Journal of Telecommunication Networks. - 1982. – P.1-11.
81. Papdimitrou, C. H. The Complexity of the Capacitated Tree Problem / C. H. Papdimitrou // Networks. - 1978. – V.8. – P.217-230.
82. Gavish, B. Topological Design of Centralized Computer Networks - Formulations and Algorithms / B. Gavish // Networks. - 1982. – V.12. – P.355-377.
83. Kruskal, J. B. On the Shortest Spanning Sub Tree of a Graph and the Traveling Salesman Problem / J. B. Kruskal // Proceedings of the American Math. - 1956. - Society, 7. – P.48-50
84. Prim, R. C. Shortest Connection Networks and some Generalizations / R. C. Prim // Bell Systems Technical Journal. - 1957. – V.36. – P.1389-1401.
85. Essau, L. R. On Teleprocessing System Design / L. R. Essau, K. C. Williams // IBM Systems Journal. - 1966. - V5:3. – P.166-172.
86. Siiarma, R. Suboptimal Communication Network Synthesis / R. Siiarma, M. EI-Bardai // Proceedings of the 1970 IEEE International Conference on Communications. - 1970. – P.19.11- 19.16.
87. Kershenbaum, A. Computing Minimum Spanning Trees Efficiently / A. Kershenbaum, R. Van Slyke // Proceedings of the 25th Annual Conference of the ACM. - 1972. – P.518-527.
88. Kershenbaum, A. Computing Capacitated Minimal Spanning Trees Efficiently / A. Kershenbaum // Networks. - 1974. – V.4. – P.299-310.
89. Chandy, K. M. The Design of Multipoint Linkages in a Teleprocessing Tree Network / K. M. Chandy, R. A. Russel // IEEE Transactions on Computers. – 1972. - C-21. – P.1026-1066.

90. Sharma, R. Design of an Economical Multidrop Network Topology with Capacity Constraints / R. Sharma // IEEE Transactions on Communications. - 1983. - COM-31, 4. – P.590-591.
91. Gavish, B. Parallel Savings Heuristics for the Topological Design of Local Access Tree Networks / B. Gavish, K. Altinkemer // Proceedings of the IEEE Conference on Communications. - 1986. – P.130-139.
92. Altinkemer, K. Heuristics with Constant Error Guarantees for the Design of Tree Networks / K. Altinkemer, B. Gavish // Management Science. - 1988. – V. 34, 3. – P.331-341.
93. Patterson, R. A. Hybrid Neural Networks and Network Design / R. A. Patterson // PhD Dissertation, The Ohio State University. - 1995.
94. Kawatra, R. A Multicommodity Network Flow Application for the Capacitated Minimal Spanning Tree Problem / R. Kawatra // Opsearch, - 1994. – V.31,4. – P.296-308.
95. Gavish, B. Formulations and Algorithms for the Capacitated Minimal Directed Tree Problem / B. Gavish //, Journal of the ACM, 1983 .-V.30, 1. -. – P.118-132.
96. Gavish, B. Augmented Lagrangian Based Algorithms for Centralized Network Design / B. Gavish // IEEE Transactions on Communications, COM - 1985 .- V.33, 12. – P.1247-1257.
97. Kershenbaum, A. A Unified Algorithm for Designing Multidrop Teleprocessing Networks/ A. Kershenbaum, W. Snoi // IEEE Trans. Commun., 1974 .- V. 22. – P.1762-1771.
98. Malik K. A Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Minimum Spanning Tree Problem / K. Malik, G. Yu // Networks, 1993 .-V.23. – P.525-532.
99. Winter, P. Steiner Problem in Networks: A Survey / P. Winter // Networks, 1987 .-V.17 – P.129-167.
100. Hwang, F. K. Steiner Tree Problems / F. K. Hwang, D. S. Richards // Networks, 1992 .-V.22. – P.55-89.
101. Pirkul, H. Locating Concentrators in Centralized Computer Networks / H. Pirkul, V. Nagarajan // Annals of Operations Research, 1992 .-V.36 –P.247-262.
102. Benbasat, I. Individual Differences in the Uses of Decision Support Aids / I. Benbasat, A. S. Dexter // Journal of Accounting Research, 1982 .-V.20 – P.1-11.
103. Chi, M. T. H. Expertise in Problem Solving, in R. J. Sternberg (Ed.) Advances in the Psychology of Intelligence / M. T. H. Chi, R. Glaser, E. Rfes // Lawrence Erlbaum. - 1981.
104. Lucas, H. C. An Experimental Investigation of the use of Computer Based Graphics in Decision Making / H. C. Lucas // Management Science, 1981 .-V.27 – P.787-798.

105. Taylor, R. N. Relative Contribution of Decision-Maker Attributes to Decision Processes / R. N. Taylor, M. D. Dunnette // *Organizational Behavior and Human Performance*, 1974 .-V.12– P.286-298.
106. Ramamurthy, K. User Characteristics - DSS Effectiveness Linkage: An Empirical Assessment / K. Ramamurthy, W. R. King, G. Premkumar // *International Journal of Man- Machine Studies*, 1992 .-V.36 – P.469-505.
107. Richardson, J. T. E. Mental Imagery in Thinking and Problem Solving, in *Thinking and Reasoning: Psychological Approaches*. (Ed. Jonathan S.B.T. Evans)/ J. T. E. Richardson // Boston:Routledge and Kegan Paul. - 1983.
108. Scriabin, M. Comparison of Computer Algorithms and Visual Based Methods for Plant Layout / M. Scriabin, R. Vergin // *Management Science*, 1975 .-V. 22:2.– P.172-181.
109. Taylor, P. B. Intuitive Versus Optimal Solutions to Some Problems in Distribution / P. B. Taylor, R. Iwanek // *OMEGA*, 1980 .-V.8:2. – P.183-192.
110. Chu, P. C. Induced System Restrictiveness: An Experimental Demonstration, *IEEE Transactions on Systems* / P. C. Chu, J.J. Elam // *Man and Cybernetics*, 1990.-V.20. – P.195-201.
111. Guerlain, S. E. Factors Influencing the Cooperative Problem Solving of People and Computers / S. E. Guerlain // *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37th Annual Meeting. - 1993.
112. Miller, G. A. The Magical Number Seven, plus or minus Two: some Limits on our Capacity for Processing Information / G. A. Miller // *The Psychology Review*, 1956.-V.23.
113. Newell, A. N. Human problem solving, Englewood Cliffs / A. N. Newell, H.A. Simon // NJ: Prentice-Hall. - 1972.
114. Kaufmann, G. Imagery, Language and Cognition: Towards a Theory of Symbolic Activity in Human Problem Solving / G. Kaufmann // New York: Columbia University Press. - 1980.
115. Desanctis G. Computer Graphics as Decision Aids: Directions for Research Decision Sciences / G. Desanctis // *Decision sciences*, 1984.-V 15.– P. 463-487.
116. Ives, B. Graphical User Interfaces for Business Decision Support Systems, *MIS Quarterly* / B. Ives // Special Issue. 1982. – P.15-47.
117. Benbasat, I. Experimental Evaluation of Graphical and Color- Enhanced Information Presentation / I. Benbasat, A. S. Dexter // *Management Science*, 1985.-V 31:11 – P.1348-1364.
118. Carter, L. F. An Experiment on the Designs of Tables and Graphics Used for Presenting Numerical Data / L. F. Carter // *Journal of Applied Psychology*, 1947.-V 31 – P.640-650.

119. Washburne, J. N. An Experimental Study of Various Graphic, Tabular and Textual Methods of Presenting Quantitative Material / J. N. Washburne // *Journal of Educational Psychology*, 1927.-V 18:6.– P.361-376.
120. Tan, J. K. H. The Effectiveness of Graphical Presentation for Information Extraction: A Cumulative Experimental Approach / J. K. H. Tan, I. Benbasat //, *Decision Sciences*, 1993.-V 24:1. – P.167-191.
121. Jarvenpa, S. L. The Effect of Task and Graphical Format on Information Processing Strategies / S. L. Jarvenpa // *Management Science*, 1989.-V 35:3 – P.285-303.
122. Larkin, J. H. Why a Diagram is (sometimes) Worth ten thousand Words / J. H. Larkin, N.L. Simon // *Cognitive Science*, 1987.-V 11.– P.65-99.
123. Paige, G. Cognitive processes in solving algebra word problems in B. Kleinmuntz (Ed.)/ G. Paige, H. A. Simon // *Problem Solving*, New York: Wiley. - 1966.
124. Larkin, J. H. Mechanisms of Effective Problem Representation in Physics / J. H. Larkin // (CIP. 434) Department of Psychology, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA. - 1983.
125. Carrol, J. M. Presentation and representation in design problem-solving / J. M. Carrol, J.C. Thomas, A. Maliiotra // *British Journal of Psychology*. - 1980.
126. Vessy, I. 'Cognitive Fit' A Theory-Based Analysis of the Graphs versus Tables Literature / I. Vessy // *Decision Sciences*, 1991.-V.22. – P.219-240.
127. Keene, P. G. W. Decision Support Systems: An Organizational Perspective / P. G. W. Keene, M.S. scott Morton // Addison-Wesley, Reading, M.A. - 1978.
128. Ballou, R. H. Commercial Software for Locating Warehouses and Other Facilities / R. H. Ballou, J. Masters // *Journal of Business Logistics*. - 1993. –V. 14.
129. Bell, P. C. Visual Interactive Modeling: The Past, The Present and The Prospects / P. C. Bell // *European Journal of Operations Research*. - 1991. – V. 54 – P.274-286.
130. Hurrion, R. D. Visual Interactive Modeling / R. D. Hurrion // *European Journal of Operations Research*. - 1986. – V. 22 – P.281-287.
131. Bell, P. C. Visual Interactive Modeling in Operational Research: Successes and Opportunities / P. C. Bell // *Journal of the Operations Research Society*. 1985. – V.36 - P. 975-982.
132. Hurrion, R. D. Intelligent Visual Interactive Modeling / R. D. Hurrion // *European Journal of Operations Research*. - 1991. – V.54. – P.349-356.
133. Kirkpatrick, P. Visual Interactive Modeling in Industry: Results from a Survey of Visual Interactive Model Builders, Interfaces / P. Kirkpatrick, P.C. Bell // - 1989. – V. 19. – P.71-79.
134. Dao, M. Cabri, an Interactive System for Graph Manipulation, in Graph-

Theoretic Concepts in Computer Science, G. Tinhofer and G. Schmidt (Eds.). / M. Dao, M. Habib, J.P. Richard, D. Tallot // - Springer-Verlag, Berlin. - 1986. – P.58-67

135. Dean, N. NETPAD: An interactive graphics system for network modeling and optimization in Computer Science and Operations Research: New Developments in their Interfaces, O.Balci, Sharda, R., Zenios, S. (Eds.) / N. Dean, M., M. Mevenlamp, C. Monma // - Pergamon Press, U.K. - 1992. – P.231-243

136. Steiger, D. Functional Description of a Graph- Based Interface for Network Modeling (GIN), in Computer Science and Operations Research: New Developments in their Interfaces, O.Balci, Sharda, R., Zenios, S. (Eds.) / D. Steiger, R. Siiarda, B. LeClaire // - Pergamon Press, U.K. - 1992.

137. Jones, C. V. Animated Sensitivity Analysis, in Computer Science and Operations Research: New Developments in their Interfaces, O.Balci, Sharda, R., Zenios, S. (Eds.) / C. V. Jones // - Pergamon Press, U.K. - 1992. – P.177-196.

138. Pracht, W. E. GISMO: A Visual Problem Structuring and Knowledge Organization Tool, / W. E. Pracht // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - 1986. – V. 14. – P.265-270.

139. Pracht, W. E. Model Visualization: Graphical Support for DSS Problem Structuring and Knowledge Organization, / W. E. Pracht // Decision Support Systems - 1990. – V. 6. – P.13-27.

140. Becker, R. A. Basics of Network Visualization, / R. A. Becker, S.G. Eick, A.R. Wilks // IEEE Computer Graphics and Applications, - 1991. – V. 5. – P.12-14.

141. Domicii, P. D. Locating Tax Facilities: A graphics Based Microcomputer Optimization Model, P. D. Domicii, K. L. Hoffman, R. H. F. Jackson, M. A. McClain // Management Science, /- 1991. – V. 37:8. – P.960-979.

142. Bhatnagar, S. C. Locating Social Service Centers using Interactive Graphics / S. C. Bhatnagar // OMEGA, - 1983. – V. 11:2. – P.201-205.

143. Dixon, A. E. The Development and Implementation of a Decision Support System for Designing Computer Networks using Compromise Programming, / A. E. Dixon // PhD Dissertation, The Oklahoma State University - 1989.

144. Angern, A. Intelligent Decision Support Systems: A Visual Interactive Approach, Interfaces / A. Angern, H. Luthi // - 1990. – V. 20:6. – P.17-28.

145. Hurrion, R. D. Visual Interactive (Computer) Solutions for the Traveling Salesman Problem, / R. D. Hurrion // Journal of the Operations Research Society - 1980. – V. 31. – P.537-539.

146. Mak, K. TVisualization of Routing Problems, CRIM Working Paper 90-03 / K. T. Mak, K. Srikanth, A. Morton // Department of Information and Decision Sciences, College of Business Administration, University of Illinois at Chicago, Chicago, IL. - 1990.

147. Krolak, P. A Man-Machine Approach toward solving the Generalized

- Truck-Dispatching Problem, / P. Krolak, W. Felts, J. Nelson // *Transportation Science*, - 1972. – V. 6.– P.22-30.
148. Trybus, T. W. Humans vs. Computer Algorithms for the Plant Layout Problem / T. W. Trybus, L. D. Hopkins // *Management Science*,. - 1980. – V. 26:6
149. Fisher, M. L. Interactive Optimization, / M. L. Fisher // *Annals of Operations Research* - 1986. – V. 5. – P.541- 556.
150. Jones, C. V. Visualization and Optimization, / C. V. Jones // *ORSA Journal on Computing* - 1994. – V. 6:3. – P.221-257.
151. Городецкий, А.Я. Информационные системы. Вероятностные модели и статистические решения, учеб. пособие / А .Я. Городецкий. – СПб.: Изд-во СПбГИУ, – 2003. – 326 с.
152. Cornuejolis, J. T. Location of Bank Accounts to Optimize Float / J. T. Cornuejolis, M. L. Fisher, G. L. Nemhausser // *Management Science*, - 1977. – V. 23, 8. – P.789-810.
153. Dijkstra, E. W. A Note on Two Problems in Connection with Graphs, / E. W. Dijkstra // *Numerical Mathematics*. - 1959. – V. 1 – P.269-271.
154. Bosk, F. An Algorithm to Construct a Minimum Directed Spanning Tree in a Directed Network, in *Developments in Operations Research*, / F. Bosk // *Proc. of Third Annual Conference Israel Conference on Op. Res.*, B. Avi-Ilzhak (ed.). - 1969.
155. Fisher, M. L. An Applications Oriented Guide to Lagrangian Relaxation, / M. L. Fisher // *Interfaces*. - 1985. - Vol. 15. – P.1-18.

7. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.

8. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

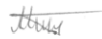
9. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми информационными потоками, отличающаяся применением низкоскоростных линий передачи информации при взаимосвязи конечных узлов СИС и эвристического подхода

Председатель комиссии:



Щербинин П.А.

члены комиссии:



Ячменников А.С.

20 января 2014 года

Утверждаю

Помощник ректора ФГБОУ ВПО «Тамбовский
государственный технический университет»

доктор педагогических наук, профессор
Ракитина Е.А.

«25» января 2014 года



АКТ

использования результатов диссертационной работы
АУАД МАКСИМ САМИ

на тему: «Аналитические и процедурные модели распределения ресурсов в сетевой
информационной системе с различной структурой»

Комиссия кафедры «Информационные системы и защита информации» в составе: председателя – профессора кафедры Алексева Владимира Витальевича, доктора технических наук, профессора и членов комиссии – доцента кафедры Гриднева Виктора Алексеевича, кандидата технических наук, доцента; доцента кафедры Яковлева Алексея Вячеславовича, кандидата технических наук, доцента составила настоящий Акт о том, что результаты диссертационной работы АУАД МАКСИМ САМИ на соискание ученой степени кандидата технических наук используются в учебном процессе на кафедре «Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» при непосредственном участии автора диссертационных исследований в разработке учебно-методических материалов лекций, лабораторных работ и обучающих программных комплексов по следующим дисциплинам кафедры: «Методы и средства проектирования информационных систем и технологий», «Надежность информационных систем», «Программно-аппаратные средства обеспечения информационной безопасности», «Разработка и эксплуатация защищенных автоматизированных систем», «Надежность аппаратно-программных комплексов».

Результаты диссертационного исследования используются для обучения студентов по следующим направлениям и специальностям: 230400 «Информационные системы и технологии», 090303 «Информационная безопасность автоматизированных систем», что дает возможность повысить качество и эффективность учебного процесса.

Председатель комиссии:

д.т.н., профессор Алексеев В.В.

члены комиссии:

к.т.н., доцент Гриднев В.А.

к.т.н., доцент Яковлев А.В.

25 января 2014 года

Утверждаю
Генеральный директор

ОАО «Медтехника»

Проскуряков В.С.

30 декабря 2013 года



АКТ

использования результатов диссертационной работы

АУАД МАКСИМ САМИ

на тему: «Аналитические и процедурные модели распределения ресурсов в сетевой информационной системе с различной структурой»

Комиссия в составе: председателя – главного инженера Проскурякова Сергея Викторовича; и члена – заместителя главного инженера Ченчик Людмилы Николаевны, составила настоящий Акт о том, что результаты диссертационной работы АУАД МАКСИМ САМИ на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно программная реализация построенных

- аналитических моделей определения параметров сетевых информационных систем вида «звезда-дерево», «дерево», «дерево-дерево», отличающиеся применением релаксаций Лагранжа с последующей декомпозицией задачи Лагранжа;

- процедурных моделей решения задачи Лагранжа использованы при выполнении работ по тематике синтеза сетевых информационных систем и структур, определения параметров и оптимизации работы в учреждениях здравоохранения на территории Тамбовской области, что позволило сократить на 21% временные затраты.

Председатель комиссии:

С.В. Проскуряков

член комиссии:

Л.Н. Ченчик

30 декабря 2013 года

Утверждаю
 Генеральный директор
 ООО «Агентство консалтинговых,
 образовательных и научных услуг в области
 инновационных технологий»
 доктор технических наук, профессор
 Дидрих В.Е.
 «30» января 2014 года



АКТ

использования результатов диссертационной работы
 АУАД МАКСИМ САМИ

на тему: «Аналитические и процедурные модели распределения ресурсов в сетевой
 информационной системе с различной структурой»

Комиссия в составе: председателя – члена совета директоров Ивановой Ольги Геннадьевны, кандидата технических наук, доцента; и члена – инженера-программиста Паладьева Виктора Валерьевича составила настоящий Акт о том, что результаты диссертационной работы АУАД МАКСИМ САМИ на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно:

1. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.
2. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.
3. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», отличающаяся применением эвристического подхода.
4. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «звезда-дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.
5. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.
6. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево», отличающаяся применением эвристического подхода.
7. Аналитическая модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, при которых стоимость ее синтеза будет минимальна, отличающаяся применением релаксаций Лагранжа с последующим разбиением задачи Лагранжа на три подзадачи.

8. Процедурная модель распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми линиями передачи информации, при которых стоимость ее синтеза будет минимальна.

9. Процедурная модель нахождения допустимого решения задачи Лагранжа в аналитической модели распределения ресурсов в СИС со структурой «дерево-дерево» с многопунктовыми информационными потоками, отличающаяся применением низкоскоростных линий передачи информации при взаимосвязи конечных узлов СИС и эвристического подхода

использованы в НИР и ОКР выполняемых по тематике распределения ресурсов в сетевых информационных систем с различной структурой, что позволило улучшить на 8% получаемые результаты и сократить на 30% временные затраты

Председатель комиссии:

член комиссии:

30 января 2014 года



О.Г. Иванова

В.В. Паладьев