

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

На правах рукописи

Осин Вячеслав Николаевич

ЭФФЕКТИВНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В  
СЕТЕВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ  
МОДЕЛЕЙ

Специальность 05.25.05 –  
"Информационные системы и процессы "  
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

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

Тамбов – 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Анализ современного состояния и вопросов моделирования процесса передачи информационных потоков в сетевых информационных системах .	11
1.1 Методы моделирования сетевых информационных систем .....	11
1.2 Обзор моделей сетевых информационных систем .....	14
1.3 Применение вполне полиномиальных аппроксимационных схем для решения задач многопродуктовых потоков.....	25
1.4 Существующие системы моделирования сетевых информационных систем	29
1.5 Постановка задачи исследования.....	31
Выводы по 1 главе.....	32
2 Аналитические модели эффективного распределения информационных потоков в сетевых информационных системах .....	34
2.1 Аналитическая модель многопродуктовой сети. Применение для моделирования сетевой информационной системы .....	34
2.2 Исследование возможностей компонентов СИС по управлению информационными потоками.....	39
2.3 Нечеткость информации в сетевой информационной системе. Использование LR-чисел в модели информационной системы .....	57
2.4 Модели функционирования сетевой информационной системы в детерминированных и нечетких условиях .....	65
Выводы по второй главе.....	69
3 Процедурные модели эффективного распределения информационных потоков в сетевых информационных системах .....	71
3.1 Процедурная модель адаптированного к модели сетевой информационной системы генетического алгоритма.....	71
3.2 Процедурная модель формализации неопределенности информации о параметрах сетевой информационной системы с использованием нечетких	

LR-Чисел .....	79
3.3    Процедурная модель распределения информационных потоков в сетевой информационной системе в детерминированных условиях .....	86
3.4    Процедурные модели распределения информационных потоков в сетевой информационной системе в нечетких условиях.....	94
Выводы по третьей главе .....	104
4    Вычислительный эксперимент на разработанных моделях и проверка эффективности функционирования СИС .....	105
4.1    Описание структуры информационной системы анализа функционирования сетевой информационной системы.....	105
4.2    Построение модели информационной системы анализа функционирования сетевой информационной системы с использованием UML. Диаграммы разрабатываемой информационной системы .....	111
4.3    Выбор среды реализации .....	118
4.4    Формы интерфейса пользователя.....	120
4.5    Имитационное моделирование и проверка разработанных аналитических и процедурных моделей.....	123
Выводы по четвертой главе .....	133
Заключение .....	134
Список использованной литературы .....	135
Приложение А. Копии свидетельств о регистрации программы для ЭВМ..	145
Приложение Б. Копии актов о реализации результатов исследования.....	147

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время процесс развития современного общества неразрывно связан с необходимостью передавать и обрабатывать большие объемы информации. В связи с этим особое значение приобретают вопросы организации и оптимизации функционирования сетевых информационных систем (СИС). Так, по прогнозам компании Cisco [16, 36], передача информационных потоков в сети Интернет за ближайшие четыре года увеличится в четыре раза, что, безусловно, определяет и увеличение объемов информационных потоков, передаваемых внутри СИС.

В функционировании СИС присутствует элемент неопределенности, который необходимо учитывать. Неопределенность вызвана рядом факторов: невозможностью точных измерений значений информационных потоков, так как используется усредненное значение, в то время как мгновенные значения передаваемых потоков могут иметь значительный разброс относительно среднего значения; влиянием факторов внешней среды на пропускные способности элементов структуры СИС. В случае создания или оценки функционирования существующих СИС требования к передаче информационных потоков от пользователей неизвестны, т.е. имеет место некоторая неопределенность, которая, как правило, раскрывается на основе использования мнения экспертов или путем применения статистических методов. Таким образом, параметры СИС не могут быть определены на детерминированном уровне.

В условиях постоянно изменяющихся требований к процессу передачи информационных потоков внутри СИС, что обуславливается влиянием негативных внешних воздействий с одной стороны и внутренними конфликтами с другой, снижается эффективность её функционирования. Поэтому вопросы, связанные с поиском эффективного распределения информационных потоков в СИС, основанных на применении интеллектуальных методов раскрытия неопределенности: пропускных способностей элементов СИС, объемов передаваемых информационных потоков и требований к ним, становится

актуальной.

**Степень разработанности темы исследования.** Исследованию вопросов функционирования СИС посвящены работы Филиппа Д., Вишневого В.М, Янбых Г.А., Авена О.И., Бутрименко А.В., Громова Ю.Ю., Пасечникова И.И., Малашенко Ю.Е. и др.

Вопросам производительности потоковых сетей посвящены работы Garg N., Shmoys, D.B., Plotkin S, Goldberg A. V, Fleischer L. В них приводятся процедурные модели решения основных задач – поиска кратчайшего пути, максимального потока, максимального конкурентного потока. Недостатком рассмотренных методов является то, что они работают с детерминированными данными о процессах в СИС, когда в действительности они являются недетерминированными.

С другой стороны, в ряде работ Тыщук Р.В, Ghatee M, Diamond P., Körner R, Берштейн Л.С., Боженюк А.В рассмотрены оптимизационные задачи в нечетких сетях, где рассмотрены вопросы построения структур в нечетких графах и гиперграфах, определения кратчайшего пути, нечеткого максимального потока, применительно к транспортным, энергетическим структурам. Но не рассмотрены вопросы определения максимального конкурентного потока.

Вышесказанное определяет **практическую задачу** – повышение эффективности функционирования СИС при передаче информационных потоков путем их оптимального распределения, для решения которой необходимо рассмотреть **научную задачу**, заключающуюся в разработке моделей: распределения информационных потоков в СИС; определения коэффициентов нечетких чисел, соответствующих параметрам информационных потоков и элементов структуры СИС.

**Объект исследования:** процесс передачи информационных потоков в сетевой информационной системе.

**Предмет исследования:** нечеткие аналитические и процедурные модели распределения информационных потоков в СИС.

**Цели и задачи.** Целью исследования являлось повышение эффективности

функционирования СИС при передаче информационных потоков путем их распределения с помощью построенных нечетких аналитических и процедурных моделей. Для достижения цели были решены следующие задачи:

- анализа вопросов моделирования и повышения эффективности процесса передачи информационных потоков в СИС;
- построения аналитических моделей: передачи информационных потоков в СИС при нечетких параметрах потоков и элементах структуры СИС; представления формы нечеткого LR-числа и определения коэффициентов нечетких чисел, соответствующих параметрам информационных потоков и элементов структуры СИС;
- построения процедурной моделей распределения информационных потоков в СИС;
- проведения вычислительного эксперимента на разработанных моделях и оценки эффективности функционирования СИС.

**Научная новизна** исследования заключается в разработке:

1. Аналитической модели представления формы нечеткого LR-числа, которая отличается использованием сложной функции, включающей два параметра для L- и R-частей, определяющихся вследствие решения поставленной оптимизационной задачи.

2. Аналитической модели двухэтапной оптимизационной задачи распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах, которая отличается использованием предложенной аналитической модели представления нечетких LR-чисел, характеризующих параметры информационных потоков, и представляет собой свертку критериев, оценивающих найденное решение по количеству и длине используемых путей передачи информационных потоков, и двух критериев в виде отношения нечетких чисел, представляющих объемы передаваемых информационных потоков, требования к ним и ограничения на их максимальные значения, характеризующих величину нижней границы и суммарное значение выполнения требований к информационным потокам.

3.Процедурной модели распределения информационных потоков в СИС, которая отличается совместным использованием вполне полиномиальной аппроксимационной схемы (FPTAS) для решения задачи определения максимального конкурентного потока с целью разрешения конфликтов и генетического алгоритма для оценки эффективности функционирования СИС.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость исследования обоснована разработанными моделями определения эффективного распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах, представленных LR-числом.

Практическая значимость работы заключается в использовании полученных программных реализаций разработанных аналитических и процедурных моделей для исследования как уже функционирующих, так и проектируемых СИС, что позволит оценить их эффективность функционирования с целью её повышения.

**Методология и методы исследования.** Методология исследования основывается на принципах системного анализа и общей теории систем. При решении поставленных задач в работе были использованы методы: теории нечетких множеств, теории графов, имитационного моделирования, эволюционного моделирования, математической статистики.

**Положения, выносимые на защиту:**

1.Разработанная аналитическая модель представления формы нечеткого LR-числа, отличающаяся использованием сложной функции, включающей два параметра для L- и R-частей, определяющихся вследствие решения поставленной оптимизационной задачи, позволяет строить функции принадлежности LR-числа, с заданной точностью соответствующие параметрам СИС.

2.Разработанная аналитическая модель двухэтапной оптимизационной задачи распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах, отличающаяся использованием предложенной аналитической модели представления нечетких LR-чисел, характеризующих параметры информационных потоков, позволяет учитывать нечеткость параметров СИС (пропускные способности элементов структуры, пропускные способности

элементов структуры, объемы передаваемых информационных потоков и ограничения)

3. Разработанная процедурная модель распределения информационных потоков в СИС, отличающаяся совместным использованием вполне полиномиальной аппроксимационной схемы (FPTAS) для решения задачи определения максимального конкурентного потока с целью разрешения конфликтов и генетического алгоритма для оценки эффективности функционирования СИС, позволяет определять для исследуемой СИС эффективное распределение информационных потоков.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов работы основана на корректном применении математического аппарата теории графов, нечетких множеств, эволюционного моделирования; использования современных методов распределения информационных потоков и ресурсов СИС; на результатах вычислительного эксперимента, подтверждающих повышение эффективности функционирования СИС вследствие применения разработанных моделей.

Основные результаты работы представлены и обсуждены на: IV Международной научно-практической конференции «Составляющие научно-технического прогресса» (г. Тамбов, 2008г.), VI Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в системе образования» (г. Тамбов, 2008г.), V Международной научно-практической конференции «Достижения ученых XXI века» (г. Тамбов, 2010г.), VI Международной научно-практической конференции, «Глобальный научный потенциал» (г. Тамбов, 2010г.), Международной научно-технической конференция "Современные информационные технологии" (г. Пенза, 2014г.).

**Внедрение результатов исследования.** Основные положения диссертационной работы использованы при обучении студентов кафедры «Информационные системы и защита информации» на факультете «Информационные технологии» ФГБОУ ВПО «ТГТУ», студентов Тамбовского филиала НАЧОУ ВПО СГА. Программные реализации разработанных моделей



использованы для повышения эффективности функционирования СИС, используемых в ОАО "Тамбовский завод "Комсомолец" им. Н.С. Артемова", ООО «Ланта», ЗАО «Прокма-Телеком», что подтверждено актами о внедрении результатов исследований.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе пять статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получено два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Выносимые на защиту результаты получены соискателем лично. В публикациях, написанных в соавторстве, личный вклад автора заключается в: построении аналитической и процедурной моделей представления недетерминированности информации о параметрах СИС с применением нечетких LR-чисел, построении аналитической и процедурной моделей анализа функционирования СИС, результаты применения аналитических и процедурных моделей распределения информационных потоков в СИС.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, содержащего 115 наименований, и приложений. Общий объем диссертации составляет 151 страницы, из них список использованных источников – 10 страниц. Основной текст работы содержит 58 рисунков и 14 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулирована цель работы, поставлены задачи для достижения цели работы, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методы исследования, положения, выносимые на защиту, приведены данные о степени достоверности и апробации результатов исследования, о публикациях, личном вкладе автора, а также о структуре и объеме диссертационной работы, дано краткое содержание разделов диссертации.

**В первой главе** рассмотрены методы моделирования СИС, представлен обзор моделей СИС, изучено применение вполне полиномиальных аппроксимационных схем для решения потоковых задач, а также существующие программные комплексы моделирования СИС.

**Вторая глава** посвящена разработке аналитических моделей представления формы нечеткого LR-числа, и двухэтапной оптимизационной задачи распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах, отличающейся использованием предложенной аналитической модели; исследованию возможностей компонентов СИС по управлению информационными потоками.

**В главе 3** представлены модели: адаптированного к модели сетевой информационной системы генетического алгоритма, формализации неопределенности информации о параметрах сетевой информационной системы с использованием нечетких LR-Чисел, распределения информационных потоков в сетевой информационной системе в детерминированных и нечетких условиях.

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

**В заключении** сформулированы основные результаты работы.

**Приложения** содержат копии свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, копии актов о реализации результатов исследования.

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. Когнитивные модели информационных систем, ориентированных на человекомашинное взаимодействие» Паспорта специальности 05.25.05 - Информационные системы и процессы.

# 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ВОПРОСОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

## 1.1 Методы моделирования сетевых информационных систем

Под моделированием понимают процесс исследования реальной системы, включающий построение модели, изучение ее свойств и перенос полученных сведений на моделируемую систему.

Модель – это некоторый материальный или абстрактный объект, находящийся в определенном объективном соответствии с исследуемым объектом, несущий о нем определенную информацию и способный его замещать на определенных этапах познания [2].

Моделирование позволяет исследовать такие системы, прямой эксперимент с которыми:

- а) трудно выполним;
- б) экономически невыгоден;
- в) вообще невозможен.

Исследователи приводят классификацию [2, 69] методов моделирования, показанную на рисунке 1.1.

При моделировании СИС наиболее часто используются следующие способы реализации модели [96]:

1. Математическое моделирование с использованием аналитических моделей, построенных на моделях теории массового обслуживания, теории фракталов, теории тензорного анализа, теории графов, теории нечетких множеств и нечеткой логики.

2. Имитационное моделирование с использованием специализированных программных пакетов, в которых используются:



Рисунок 1.1 – Классификация методов моделирования систем.

а. Дискретное моделирование «пакетного уровня». По сути, данный подход воспроизводит логику работы требуемых проектировщику выполняемых оборудованием СИС процедурных моделей обработки информационных потоков, взаимодействующих с виртуальными или реальными устройствами. Данный подход располагает большей конфигурируемостью, высокой масштабируемостью, но зачастую – излишней детализацией процессов в СИС. Скорость моделирования при таком подходе низка.

б. Использование потоковых методов, когда рассматриваются не дискретные события по передаче служебных сообщений и составляющих информационных пакетов, а составляемые ими информационные потоки.

с. Гибридный метод, когда наряду с моделированием «пакетного уровня» используются информационные потоки, в качестве фоновых потоков.

3. Натурное моделирование – научный или производственный эксперимент на испытательном стенде в лабораторной среде. Данный способ характеризуется сложностью его построения и конфигурирования, необходимостью затрат на приобретение либо использование не по основному назначению аппаратного обеспечения и расходов времени. При данном подходе может быть усложнено воспроизведение некоторых определенных явлений в СИС. Ему свойственна низкая гибкость в изменении задаваемых параметров.

В последнее время получили широкое распространение технологии виртуализации [39, 40, 62, 65]. Современное системное ПО содержит множество слоев изоляции технического обеспечения от вычислительных процессов. Суть технологии виртуализации заключается во введении дополнительного уровня изоляции, способного подменить техническое обеспечение либо видоизменить многие его характеристики, с точки зрения слоев, расположенных выше него в иерархии. Основными сценариями использования виртуализации являются [40]:

- разработка и тестирование ПО;
- консолидация вычислительных ресурсов (в первую очередь серверов) с целью повышения эффективности использования оборудования;
- миграция и поддержка унаследованных приложений;

- демонстрация и изучение нового ПО (в том числе в рамках обучения);
- работа пользователей на ПК с разнородными операционными средами;
- моделирование работы реальных систем на исследовательских стендах.

Именно два последних пункта позволяют использовать виртуализацию для исследования работы реальных СИС. Поэтому предлагается использовать виртуальное моделирование, когда исследование проводится на реальных компонентах СИС, но функционирующих в виртуальной среде. Такой подход имеет ряд преимуществ:

- используются то ПО, аналитические и процедурные модели, которые впоследствии будут использованы в промышленной эксплуатации моделируемых систем, а не их модели;
- удобнее в конфигурации, чем натурное;
- менее финансово затратное;
- позволяет использовать оборудование, которого нет в наличии в физическом виде;
- технология снимков позволяет хранить несколько настроек каждого объекта и использовать любые из них, в соответствии с потребностью.

Таким образом, использование виртуального моделирования позволяет устранить ряд недостатков натурального моделирования, сохранив присущую ему высокую степень достоверности [3].

## **1.2 Обзор моделей сетевых информационных систем**

Анализ современных источников по вопросам моделирования сетевых информационных систем показал, что для этих целей используются: модели теории массового обслуживания, фракталов, тензорного анализа, теории графов. Рассмотрим более подробно каждую из них.

**Модели теории массового обслуживания.** Теория массового обслуживания представляет собой математический аппарат анализа поведения систем массового обслуживания и дает возможность выяснить необходимое количество устройств,

обслуживающих поступающие заявки пользователей, способное исключить нехватку этих приборов. Под системой массового обслуживания (СМО) понимают динамическую систему, выполняющую обработку потока поступающих заявок на обслуживание при ограниченных ресурсах системы [18]. Пример системы массового обслуживания приведен на рисунке 1.2.

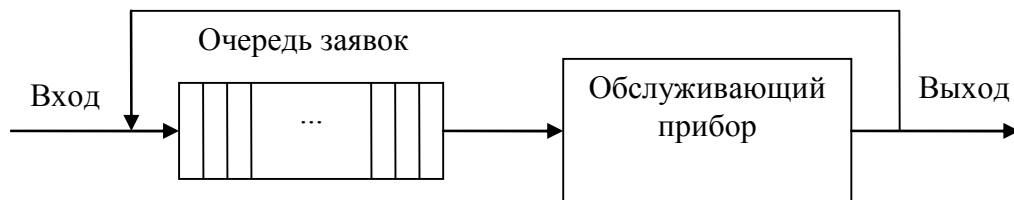


Рисунок 1.2 – Пример структуры системы массового обслуживания.

В общем случае модель системы массового обслуживания (СМО) задается следующей расширенной структурой обозначений Кендалла [74]:

$$(a/b/c) : (d/e/f),$$

где  $a$  – тип распределения входного потока заявок,

$b$  – тип распределения потока обслуженных заявок,

$c$  – количество обслуживающих приборов,

$d$  – дисциплина очереди обслуживания (FCFS (FIFO) – первым пришел – первым обслужен, LCFS (LIFO) – последним пришел – обслужен первым, SIRO – случайный отбор заявок на обслуживание, GD – произвольный (общий) тип дисциплины),

$e$  – максимальное число заявок, которое способна поместить система, считая как заявки в очереди, так и уже обслуживаемые,

$f$  – емкость источника заявок.

В теории массового обслуживания устанавливаются зависимости между характеристиками потока заявок, числом обслуживающих приборов, их производительностью, правилами работы СМО и эффективностью обслуживания. Обычно используют следующие характеристики эффективности СМО:

- 1) среднее число обслуживаемых заявок СМО в единицу времени;
- 2) среднее число заявок, покидающих СМО не обслуженными;
- 3) среднее время ожидания в очереди и т.п.

Современная СИС является совокупностью составляющих ее и взаимодействующих между собой подсистем, каждая из которых может быть представлена моделью отдельной СМО, следовательно, любая СИС может быть представлена совокупностью приборов массового обслуживания, количество которых тем более, чем крупнее рассматриваемая СИС.

Модели теории массового обслуживания позволяют решать многочисленные задачи определения характеристик функционирования компонент СИС, включая анализ функционирования СИС при передаче информационных потоков, анализ методов локального и глобального управления ими, вероятностно-временные характеристики узлов коммутации, расчет загрузки компонентов структуры СИС при передаче информационных потоков и т.д.

При моделировании СИС наиболее используемыми являются СМО следующих типов:

1. Одноканальные СМО с ожиданием. Такая СМО представляет собой один обслуживающий прибор с бесконечной очередью ожидания и может быть использована для представления любого узла СИС.

2. Одноканальные СМО с потерями. Состоит из одного прибора и очереди, способной вместить определенное число заявок. При отсутствии свободных позиций в очереди, поступающие заявки теряются. СМО такого типа может быть использована для представления линий связи в СИС.

3. Многоканальные СМО с ожиданием. Состоит из нескольких приборов обслуживания, работающих параллельно, обслуживающих поступающие из бесконечной очереди заявки, используется для представления поступающих от терминалов абонентов запросов на обслуживание

4. Многоканальные СМО с потерями. Отличаются от предыдущего типа ограниченностью длины очереди ожидания, используются для моделирования линий связи.

5. Одноканальные СМО с групповым поступлением заявок. В данной СМО единственный обслуживающий прибор выполняет заявки из бесконечной очереди, заявки в которую поступают пакетами.



6. Одноканальные СМО с групповым обслуживанием заявок. В отличие от предыдущего типа, заявки группируются перед обслуживанием.

Для проведения структурно-функционального анализа СИС могут быть применены **сети массового обслуживания (СеМО)**, которые являются совокупностью взаимосвязанных СМО [38]. В СеМО отдельные СМО отображают самостоятельные части СИС, связи между ними – структуру СИС, а требования, циркулирующие по сети - информационные потоки [23]. Таким образом, заявки, циркулирующие по СеМО, переходят из одной СМО, входящей в ее состав, в другую [70].

Различают СеМО открытого, закрытого и смешанного типов. В открытую СеМО заявки поступают из бесконечного внешнего источника и могут покинуть сеть после завершения обслуживания. Интенсивность поступления заявок не зависит от количества уже поступивших в сеть заявок. В замкнутой СеМО заявки не поступают извне и не покидают сети, т.е. в ней циркулирует постоянное количество заявок [70]. Смешанной называется СеМО, в которой циркулирует несколько различных типов заявок, относительно одних типов заявок сеть замкнута, а относительно других - открыта.

В теории СеМО фундаментальным является понятие состояния СИС [5, 6, 7, 31], которое определяется поступающими заявками, их количеством и распределением по СеМО.

Важнейшей характеристикой СеМО является вероятность состояний, которая определяется исследованием протекающего случайного процесса. В качестве моделей процессов наиболее часто используют марковские и полумарковские процессы [5]. В СеМО различают экспоненциальные и неэкспоненциальные модели СИС. Теория экспоненциальных СеМО широко применяется для исследования СИС. Экспоненциальные модели основаны на том предположении, что потоки поступающих заявок в СИС - пуассоновские, а время обслуживания имеет экспоненциальное распределение. Это позволяет считать этапы обработки заявок независимыми друг от друга, а также не зависеть от входящего потока, от маршрутов требований, от состояния [5], благодаря этому

были получены точные методы определения характеристик СеМО. Однако предположение об экспоненциальном характере обслуживания значительно ограничивает область применения аналитических моделей сетей очередей, так как в СИС функции распределения времени обработки в узлах и передачи по элементам структуры СИС отличны от экспоненциальных [18]. Таким образом, так как данные модели не позволяют описать в полной мере все процессы СИС с требуемой адекватностью [1, 37], недостатки СМО были устранены применением другого математического аппарата. Для систем с высокими флуктуациями интенсивности информационных потоков, за счет применением моделей теории нечетких множеств в работах [8, 15, 30, 32, 45, 49, 48, 56, 57, 80, 81] удалось устранить допущение об отсутствии влияния скачков интенсивности передаваемых информационных потоков и стационарности потока в СИС. Применение моделей тензорного анализа для моделей СИС на базе СМО позволило преодолеть допущение о том, что нагрузка на сеть мала, благодаря чему были получены аналитические соотношения характеристик СМО в случае предельной нагрузки на рассматриваемую систему [61]. Устранение допущения о независимости поступления потоков в узлы СМО решалось с помощью применения моделей сетей Петри [19].

Сети Петри могут быть представлены в аналитическом, а также в графическом виде, который обеспечивает их наглядность. При графической интерпретации сеть Петри является двудольным ориентированным мультиграфом, вершины которого относятся к одному из двух типов: переходы, которые моделируют события, отображающие начало или завершение каких-либо действий в рассматриваемой системе, и позиции, которые символизируют состояния системы и задают условия для срабатывания переходов. Распределение маркеров по позициям сети исследуемой системы, определяет текущее состояние системы, или разметку сети. Маркером является специальная метка в позиции, которая соответствует выполнению соответствующего данной позиции условия. На рисунке 1.3 приведена простая сеть Петри, где позиции обозначены кружками с указанными в них идентификаторами, а переходы – прямоугольниками.

Направленные дуги являются входами и выходами переходов и указывают направление перемещения меток в сети.

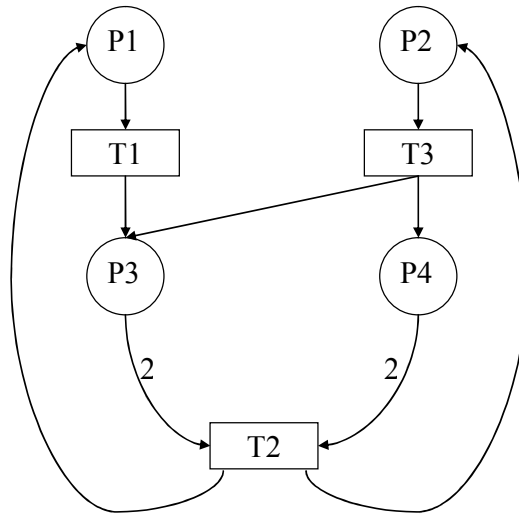


Рисунок 1.3 - Пример простой сети Петри.

Существуют также расширения сетей Петри, с помощью которых некоторые количественные характеристики исследуемых систем можно определить аналитически. Это временные и стохастические сети. Стохастические сети – это сети Петри, в которые вводятся атрибуты, свойственные элементам СМО, например вероятности срабатывания активных переходов, они позволяют наиболее полно описать элементы СМО.

На рисунке 1.4 приведена сеть Петри, которая описывает простую СМО, состоящую из источника заявок, очереди и прибора обслуживания. Маркер в позиции  $P1$  соответствует готовности источника заявок к выдаче очередной заявки. Обратная связь перехода  $T1$  с позицией  $P1$  необходима для генерации последующих заявок в каждую единицу времени, таким образом формируется входной поток заявок. Позиция  $P2$  моделирует очередь, которая в данном случае может быть бесконечна (т.к. на нее не наложены никакие ограничения), но может быть и всегда пустой (если прибор обладает бесконечной производительностью). Маркер в позиции  $P3$  моделирует свободное состояние сервера и переход  $T2$  может сработать и забрать очередную заявку из очереди только при наличии этого маркера. Соответственно отсутствие маркера в позиции  $P3$  говорит о том,

что в данный момент сервер занят. Таким образом, представленная на рисунке 1.4 сеть Петри задается следующим образом:  $C = \{P, T, I, O\}$ ,  $P = \{ P1 = \text{«источник заявок готов сформировать заявку»}; P2 = \text{«заявка ждет обработки»}; P3 = \text{«прибор обслуживания свободен»}; P4 = \text{«заявка обрабатывается»}; P5 = \text{«заявка обработана»} \}$ ,  $T = \{ T1 = \text{«заявка сформирована»}; T2 = \text{«начало обработки заявки»}; T3 = \text{«окончание обработки заявки»} \}$ ;  $I(T2) = \{P1\}$ ;  $O(T2) = \{P2\}$ ;  $I(T3) = \{P2; P3\}$ ;  $O(T3) = \{P4\}$ ;  $I(T3) = \{P4\}$ ;  $O(T3) = \{P3; P5\}$ ;

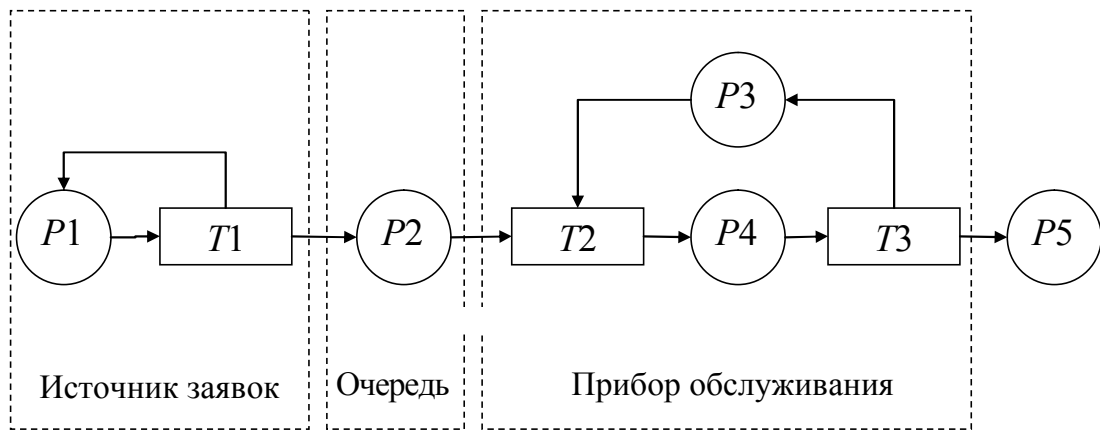


Рисунок 1.4 - Модель простейшей СМО.

На рис. 1.4 приведено схематическое описание, для представления реальной СМО необходимо данную сеть Петри преобразовать в стохастическую. А именно, для перехода  $T1$  следует сопоставить математическую модель генерируемого потока заявок, в переходе  $T3$  – информацию о процедуре и времени обслуживания прибором, в позиции  $P2$  – информацию о типе очереди заявок. В результате получаем модель, в которой переход  $T1$  по заданному закону генерирует заявки, далее заявки поступают в очередь  $P2$ , и если прибор обслуживания свободен, то обслуживаются и попадают в обслуженные заявки.

Таким образом, хотя модели на базе теории СМО остаются распространенным средством анализа процессов в СИС, благодаря проработанности методик ее применения и наличию моделей различных объектов в составе СИС, тем не менее, у данного подхода имеется ряд недостатков, которые были приведены выше.

Другим подходом к моделированию функционирования СИС является использование **моделей теории фракталов**. Теория фракталов использует свойства самоподобия информационных потоков в СИС [21, 25]. Фракталы - это объекты, части которых характеризуют всё целое путем масштабирования, что характерно для геометрических объектов, а также для различных физических явлений, при химических превращениях, и в случайных процессах. Фрактальные процессы называют также самоподобными. [25]. Применение методов теории фракталов для анализа процессов в СИС рассмотрено в [21, 35, 46, 55, 71]. Основной целью применения методов является построение прогноза изменения характеристик СИС в долгосрочной перспективе на основе анализа изменений этих характеристик за короткий промежуток времени [21]. Качественным свойством самоподобного процесса является масштабная инвариантность по времени, т.е. при изменении шкалы времени корреляционная структура такого процесса не изменяется [75]. Применение моделей теории фракталов позволяет осуществлять эффективное управление СИС за счет построения моделей прогнозирования параметров информационных потоков [21, 35, 46, 55, 71]. Недостатком моделей теории фракталов является необходимость формировать описания объектов с применением непосредственно этого математического аппарата, а делает невозможным использование имеющихся, готовых моделей при решении задач управления информационными потоками в СИС.

Еще одним подходом к моделированию СИС является использование **моделей тензорного анализа**, что обусловлено низкой адекватностью моделей СМО при описании состояния СИС в случае нагрузки, близкой к максимальной. [61]. Также модели СМО не могут быть использованы для описания перераспределения информационных потоков при изменении структуры СИС [61]. Классическими работами в области тензорного анализа являются [12, 17, 28, 42, 63, 66, 72]. Использование данного математического аппарата при описании процессов, протекающих в СИС, позволяет решить задачи оценки [61]:

- взаимного влияния информационных потоков;
- степени насыщения линий связи;

- качество обслуживания при нагрузке, близкой к предельной;
- изменения параметров СИС при изменении ее структуры;
- состояния СИС как с учетом динамики информационных потоков, так и учетов ее структуры.

Изменение состояния СИС с точки зрения методологии тензорного анализа является преобразованием в системе координат, что дает возможность представить процессы в СИС геометрически [61], что упрощает построение моделей. Поэтому наиболее используемыми являются обобщенные модели СИС, служащие для оценки частных параметров, например, кибернетическая мощность СИС [61].

Одними из наиболее часто используемых для анализа СИС [14] являются **модели теории графов**. Использование теории графов было обусловлено необходимостью решения задач поиска путей передачи информационных потоков в СИС. Принципиальная схема функционирования многопользовательской СИС описывается математической моделью, которая задается с помощью двух графов на одном и том же множестве вершин – узлов сети, первый из которых, физический, определяет структуру СИС, его ребра соответствуют физическим элементам структуры СИС, соединяющим узлы. Узлы соответствуют либо пунктам подключения пользователей, терминалам, серверам, рабочим станциям, либо пунктам переключения с одного элемента структуры СИС на другой, которые называют транзитными узлами. Нетранзитные узлы являются вершинами второго, логического, графа, определяющего структуру связей между пользователями – абонентами СИС, и их требования на передачу информационных потоков. Ребра логического графа соединяют пары входов и выходов информационных потоков. Таким образом, совокупность этих двух графов характеризует СИС, так как передача информационных потоков, задаваемых логическим графом, осуществляется по ребрам физического. Ребра графов сети могут быть как ориентированными, так и неориентированными в зависимости от конкретной специфики задачи.

Каждая абонентская пара может быть охарактеризована величиной

информационного потока, в передаче которого она нуждается. Естественным ограничением при передаче информационных потоков служит фиксированная пропускная способность элементов структуры СИС (ребер графа), что в ряде случаев не позволяет передать затребованные информационные потоки в полном объеме, вследствие чего происходят конфликты потоков. Поэтому важнейшей задачей, решаемой при управлении СИС, является задача распределения ресурса пропускной способности таким образом, чтобы в максимально возможной степени удовлетворить требованиям всех абонентских пар в передаче информационных потоков, при условии удовлетворения ограничениям пропускной способности.

Название многопродуктовая (multicommodity) объясняется невзаимозаменяемостью потоков. Проблема перераспределения ресурса пропускной способности элементов структуры СИС возникает в случае изменения пропускных способностей либо изменения требований на передачу информационных потоков при функционировании СИС. При этом может решаться задача нахождения такого способа перераспределения ресурса, который бы требовал наименьших затрат для своей реализации.

Рассмотрение проблемы распределения и перераспределения информационных потоков в СИС обычно сводится к решению задачи о максимальном потоке в сети и состоит в поиске способа пересылки максимального количества единиц потока информации из источника в сток при отсутствии факта превышения пропускных способностей ребер исходного графа, описывающего СИС [10, 26, 27, 34, 50, 54, 76, 78, 79]. Исторически первой исследованной потоковой задачей была задача поиска максимального однопродуктового потока [77], решение которой может быть найдено, используя метод Гомори решения задач целочисленного линейного программирования [41]. В 50-е годы прошлого века Фордом и Фалкерсоном был предложен специальный гораздо менее трудоемкий алгоритм её решения, широко используемый в настоящее время. Различные потоковые задачи и методы их решения были рассмотрены в работах [10, 52, 78, 93, 94].

Одной из важнейшей групп задач оптимизации, возникающих в транспортных сетях, является группа задач исследования поведения СИС при оптимизации потоков. К ним относятся:

- задачи поиска максимального потока в СИС с целью определения наиболее загруженных участков и дальнейшего перераспределения потоков,
- задачи поиска потоков минимальной стоимости транспортировки грузов с целью уменьшения затрат на перевозки,
- задачи поиска максимальных динамических потоков, рассматриваемых с учетом времени прохождения грузов в транспортной сети,
- задачи поиска потоков минимальной стоимости в сетях с усилениями, рассматриваемыми в случаях догрузки и разгрузки части перевозимых товаров или грузов в пределах транспортной сети между ее источником (пунктом отправления) и стоком (пунктом прибытия).

Задача определения максимального потока для случая нечетких параметров рассмотрена в [87, 88], где были представлены понятия максимального потока и минимального разреза графа с нечеткими пропускными способностями ребер.

Ряд работ посвящен совместному использованию теории графов с теорией нечетких множеств [73] и теорией вероятности [76]. Для СИС, в которых переходы не могут быть описаны на детерминированном уровне, это позволило повысить адекватность полученных моделей вероятностных графов – стохастических сетей. К недостаткам теории графов следует отнести изначально заложенную ориентированность на работу со стационарными потоками и детерминированными данными – связи в СИС, параметры элементов структуры СИС и информационных потоков. Таким образом, построение моделей СИС с нестационарными потоками становится невозможным, использование в теории графов элементов теории вероятности позволяет представить лишь ряд статистических процессов и не дает возможности описать широкий класс стохастических процессов в СИС [76], для описания которых в некоторых случаях используется сочетание методов теории графов и нечетких множеств, где нечеткими множествами задаются множества связных ребер, переходов, весов [9,



11, 73].

Нечетким множеством называется множество, значение принадлежности элементов которому не равно 0 или 1, а может принимать любое значение в интервале  $[0,1]$ . Модели теории нечетких множеств нашли применение при анализе процессов в СИС [4, 15, 48, 49, 56, 73, 80, 81]. ТНМ применяется с целью повышения адекватности моделей представления процессов в СИС, построенных на базе моделей теории графов и СМО. Применительно к моделям СМО, дискретные значения параметров информационных потоков, если они неизвестны, могут быть заменены нечеткими множествами, характеризующими степень принадлежности конкретных значений параметров. Это позволяет получать более точный результат [14, 15, 61]. Кроме того, ТНМ также применяется к моделям, построенным в элементах теории графов [3, 73]. В этом случае нечетким множеством задают: множество кратчайших переходов (для вероятностного графа кратчайший путь – вероятностная величина), множество связанных ребер (в этом случае характеристическая функция описывает вероятность связности вершин в графе). Зачастую модель, которая берется за основу, переписывается в элементах ТНМ, что увеличивает сложность построения моделей. В итоге ТНМ используется либо для уточнения существующих моделей, использование которых ввиду ограничений на дискретность значений констант невозможно [73], либо для построения обобщенных моделей полностью в элементах ТНМ, не учитывающих специфику отдельных элементов СИС [77].

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что одним из перспективных является использование теории графов в совокупности в ТНМ, служащей для учета нечеткости происходящих в СИС процессов.

### **1.3 Применение вполне полиномиальных аппроксимационных схем для решения задач многопродуктовых потоков**

В настоящее время разработано семейство эффективных вычислительных схем для решения потоковых графовых задач – вполне полиномиальные

аппроксимационные схемы. Вполне полиномиальной аппроксимационной схемой (fully polynomial-time approximation scheme, FPTAS) называется приближенный алгоритм, в котором уровень точности  $\varepsilon$  выступает в качестве нового параметра, и алгоритм находит  $\varepsilon$ -оптимальное решение за время, ограниченное полиномом от длины входа и величины  $\varepsilon^{-1}$ .

Аппроксимационные схемы являются итеративными алгоритмами, построенными на технике релаксации Лагранжа и декомпозиции линейного программирования.

В работе [110] авторы представили первый полиномиальный комбинаторный алгоритм для аппроксимации решения задачи максимального конкурентного потока с однородными пропускными способностями, и применили экспоненциальную функцию длины для моделирования накопления проходящего потока на дуге.

Этот алгоритм был улучшен, посредством использования рандомизации [91]. Авторы [90] расширили метод для случая с произвольными пропускными способностями, который имеет улучшенное время выполнения. Все эти алгоритмы не рассматривали варианты со стоимостями прохода по ребрам.

В работе [101] описаны аппроксимационные схемы, которые обобщают задачи максимального конкурентного потока и конкурентного потока минимальной стоимости с однородными пропускными способностями ребер.

Авторы [107] сформулировали более общую аппроксимационную схему для задач порционной упаковки и покрытия и описали схему для конкурентного потока минимальной стоимости с общими пропускными способностями, что позволило получить меньшее время выполнения для случая с однородными пропускными способностями.

В последних трех работах показано, что в ряде случаев нет необходимости определять точное решение подзадач каждой итерации, а достаточно получить приближенное решение. Наиболее теоретически эффективны алгоритмы, обсужденные в вышеупомянутых работах, являются рандомизированными алгоритмами, хотя также описаны более медленные детерминированные версии.

В [108] приводится детерминированный алгоритм, соответствующий времени выполнения лучших рандомизированных алгоритмов для задачи отыскания максимального конкурентного потока. Его алгоритм использует циклический алгоритм для распределения потоков. Авторы [103] использовали эту идею для получения детерминированного алгоритма для отыскания конкурентного потока минимально стоимости, который уменьшает зависимость детерминированных алгоритмов от точности  $\varepsilon$ , а в случае фиксированного  $\varepsilon$  даже превосходит наиболее быстрые рандомизированные алгоритмы.

Авторы [99] уменьшили зависимость от  $\varepsilon$  со специальной версией их начального алгоритма за счет определения приближенного решения подзадач.

Все вышеупомянутые алгоритмы вычисляют начальные потоки, и затем перераспределяют потоки с более насыщенных маршрутов (путей) на менее насыщенные.

В работе [115] описывается рандомизированный алгоритм, который работает, увеличивая поток вдоль самых коротких путей, используя экспоненциальную функцию длины вместо того, чтобы увеличивать непосредственно сам поток минимальной стоимости. В [112] показано, какой подход может использоваться для приближенного решения задачи максимального многопродуктового потока.

Авторы [100] улучшили время выполнения для приближенного решения этой проблемы в  $\frac{1}{\varepsilon}$  раз, используя логарифмическую потенциальную функцию вместо показательной. Этот алгоритм также используется для нахождения потока минимальной стоимости. В работе [97] приведены простые детерминированные алгоритмы для решения проблем максимального многопродуктового потока, конкурентного потока и их варианты со стоимостями. Как работа в [115], они увеличивают поток на самых коротких путях. Для проблемы максимального многопродуктового потока их алгоритм соответствует сложности, приведенной в [100].

В работе [92] были представлены более быстрые детерминированные схемы определения максимального многопродуктового потока, максимального

конкурентного потока, а также максимального многопродуктового потока минимальной стоимости и максимального конкурентного потока минимальной стоимости, базирующиеся на подходе, изложенном в [97]. Для проблемы максимального многопродуктового потока впервые приведена схема со временем поиска, не зависящим от числа продуктов. Для максимального конкурентного потока приведен алгоритм, который превосходит известные аппроксимационные схемы для случая разреженных графов или большого числа продуктов. Алгоритм заключается в поиске приближенного решения двойственной задачи, в результате чего первичная задача также получается решенной приближенно, в пределах  $1 - \varepsilon$ .

Многопродуктовые потоковые задачи могут быть решены за полиномиальное время методами линейного программирования. Однако, во многих случаях задачи очень сложны для решения таким способом, так как имеют большую размерность. Поэтому необходимы приближенные алгоритмы, способные найти близкое к оптимальному решение в пределах приемлемой точности. Экспериментальные результаты подтверждают, что эти методы могут привести к значительно более быстрым временам решения [84, 99, 105]. В работе [84] показаны некоторые аспекты аппроксимационных схем, позволяющие повысить производительность алгоритмов, например, выбором величины шага на каждой итерации.

В работах [99, 107] каждая итерация производит вычисление нового потока для продукта (улучшающее направление), и затем перемещение к новому решению, которое является комбинацией старого потока и нового потока. Размер шага определяется параметрами алгоритма.

Одной из областей применения для получения быстрых приближенных решений потоковых многопродуктовых задач является область проектирования сетевых структур, в том числе и при проектировании СИС [85]. Учитывая требования на передачу информационных потоков, требуется построить СИС с достаточной способностью к удовлетворению требований всех пользователей. Проблемы проектирования СИС типично являются NP-сложными, и трудны для решения. Кроме того, зачастую требуется получить множество решений для

множества различных сценариев. Быстрый многопродуктовый потоковый алгоритм позволяет проектировщику проверить, выполнима ли запланированная СИС, и продолжать в соответствии с этим дальнейшую разработку.

Таким образом, приведенные схемы получили развитие, нашли широкое применение для различных графовых задач, прошли апробацию. Поэтому их целесообразно применить для анализа функционирования СИС.

#### **1.4 Существующие системы моделирования сетевых информационных систем**

Одним из основных способов моделирования СИС, указанных в п.1.1, является имитационное моделирование.

На текущий момент существует целый ряд моделирующих систем, осуществляющих имитационное моделирование и способных решать задачи анализа конфигурации исследуемой СИС и предоставление информации о возможных последствиях тех или иных изменений.

NS-2 – управляемый событиями комплекс ПО, симулирующий процессы в СИС. Он эмулирует различные процедурные модели передачи информационных потоков и управления ими. NS-2 является объектно-ориентированным, с реализованным на языке C++ ядром, для имитации поведения узлов моделирования, что обуславливает высокую производительность. Для обеспечения гибкости и устранения необходимости перекомпиляции в случае изменения параметров, часть параметров моделируемой системы, например ее структура, задается с помощью надстройки над ядром в виде сценариев `oTcl`. Программы, входящие в состав пакета способны визуализировать происходящие в СИС события – передаваемые информационные потоки, перемещения узлов и другие. Комплекс позволяет определять динамику изменения характеристик потоков на элементах структуры СИС, определять нагрузки на них. В то же время, в комплексе NS-2 невозможно проводить оптимизацию СИС, невозможно осуществлять манипуляции нечеткими параметрами информационных потоков.

NS-3 – более совершенная версия ПО NS-2. NS-3 представляет собой имитатор сети дискретных событий, ориентированный в первую очередь для научных исследований и образовательных целей. Как и его предшественник, NS-3 опирается на C++ для реализации имитационных моделей. Однако, использование сценариев `otcl` не требуется. Вместо этого моделируемая СИС в NS-3 может быть реализована в чистом C++, в то время как части модели могут быть реализованы с использованием Python. Кроме того, программная инфраструктура NS-3 способствует развитию моделей, которые будут использоваться для имитационного моделирования работы СИС в реальном времени, связаны с реальным миром. NS-3 поддерживает моделирование большинства технологий передачи информационных потоков в СИС, и подавляющее большинство пользователей фокусируется на моделировании беспроводных СИС, а также процедурных моделях определения путей передачи информационных потоков. NS-3 также предоставляет пользователю возможность соединения моделируемой СИС к реальной функционирующей, и, как вариант, использовать NS-3 для имитации поведения СИС, компонентами которой являются виртуальные устройства.

В отличие от NS-2 и NS-3, OMNeT++ не является в чистом виде имитатором процессов, протекающих в СИС – это инструментарий моделирования дискретных событий, что обуславливает более широкий спектр ее возможного применения. Однако, благодаря появлению мощных пакетов дополнений, это средство в основном применяется для моделирования различных процессов в СИС, как проводных, так и беспроводных [44, 113]. В качестве языка описания используется язык NED, который дает возможность использовать переменные параметры в описаниях, благодаря чему возможно строить модели СИС с, например, переменным числом узлов.

Недостатками подобных систем является закрытость механизмов, по которым они функционируют, достаточно высокая цена на них, зачастую излишняя детализация процессов СИС, необходимость знания внутренних процессов СИС, навыки программирования.

## 1.5 Постановка задачи исследования

Сетевые информационные системы активно внедряются во все сферы общественной деятельности. Появление и развитие современных методов и средств передачи информации и интенсивное расширение Интернет положительно влияет на эффективность производственных процессов. Но обратной стороной этого процесса является возрастающие требования пользователей на передачу обрабатываемой информации, которые СИС должна быть в состоянии обеспечить. Поэтому проблемы функционирования СИС привлекают пристальное внимание как специалистов в области компьютерных систем, так и конечных пользователей, включая компании, работающие в сфере электронного бизнеса.

Эксперты, работа которых связана с СИС, нуждаются в средствах автоматизации, которые облегчили бы их работу по обеспечению функционирования СИС. Однако, рассмотренные средства моделирования работы СИС зачастую громоздки, дороги, сложны в освоении. Поэтому построение информационной системы анализа функционирования СИС и повышения эффективности ее функционирования за счет использования результатов анализа является актуальным.

**Целью** диссертационной работы является повышение эффективности функционирования СИС при передаче информационных потоков путем их распределения с помощью построенных нечетких аналитических и процедурных моделей.

**Научная задача** исследования заключается в разработке моделей: распределения информационных потоков в СИС; определения коэффициентов нечетких чисел, соответствующих параметрам информационных потоков и элементов структуры СИС.

Для достижения поставленной цели и решения научной задачи необходимо решить частные **задачи**:

- построить аналитические модели: передачи информационных потоков в СИС при нечетких параметрах потоков и элементах структуры СИС; представления формы нечеткого LR-числа и определения коэффициентов нечетких чисел, соответствующих параметрам информационных потоков и элементов структуры СИС;
- построить процедурную модель распределения информационных потоков в СИС;
- провести вычислительный эксперимент на разработанных моделях и оценку эффективности функционирования СИС.

### **Выводы по 1 главе.**

Анализ современных источников по вопросам моделирования СИС показал, что в последнее время получили широкое распространение технологии виртуализации, среди основных сценариев использования которых являются работа пользователей на ПК с разнородными операционными средами, моделирование работы реальных систем на исследовательских стендах, что позволяет использовать виртуализацию для исследования работы реальных СИС. Одним из основных способов моделирования СИС является имитационное моделирование. На текущий момент существует целый ряд моделирующих систем, которые способны решать задачи анализа конфигурации исследуемой СИС и предоставление информации о возможных последствиях тех или иных изменений. Недостатками подобных систем является закрытость механизмов, по которым они функционируют, высокая цена на них, зачастую излишняя детализация процессов СИС, необходимость знания внутренних процессов СИС, навыки программирования.

Были проанализированы модели СИС, построенные на основе методов: теории массового обслуживания, теории фракталов, тензорного анализа, теории графов. Сравнительный анализ данных подходов показал, что одним из наиболее перспективных для построения аналитических моделей функционирования СИС



является использование теории графов в совокупности с теорией нечетких множеств, служащей для представления недетерминированности происходящих процессов. Для решения графовых задач разработано семейство эффективных вычислительных схем – вполне полиномиальные аппроксимационные схемы (FPTAS), которые получили развитие, нашли широкое применение, прошли апробацию. Поэтому их целесообразно применить для решения оптимизационных задач распределения потоков в СИС.

Для проверки адекватности разработанных моделей в работе необходимо провести вычислительный эксперимент на компонентах СИС, функционирующих в виртуальной среде. Такой подход имеет ряд преимуществ: используются то ПО, аналитические и процедурные модели, которые впоследствии будут использованы в промышленной эксплуатации моделируемых систем; менее финансово затратное; позволяет использовать оборудование, которого нет в наличии в физическом виде; технология снимков позволяет хранить несколько настроек каждого объекта и использовать любые из них, в соответствии с задачами эксперимента.

Проведённый анализ позволил сформулировать цель работы и задачи исследования, решение которых позволит устранить перечисленные недостатки.

## 2 АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

### 2.1 Аналитическая модель многопродуктовой сети. Применение для моделирования сетевой информационной системы

Рассмотрим сетевую информационную систему (СИС), представленную на рисунке 2.1, где  $v_j$  – рабочие станции, серверы, коммутационное оборудование и различные сетевые устройства, далее – узлы СИС;  $s_j$  – количество сервисов, выполняющихся на узле  $v_j$ , с которыми осуществляется взаимодействие (ресурсы файлового доступа, электронной почты, информационные потоки Интернет, баз данных и т. д.);  $q_l$  – линии связи в СИС;  $p_i$  – информационные потоки, передаваемые в СИС между различными сервисами.

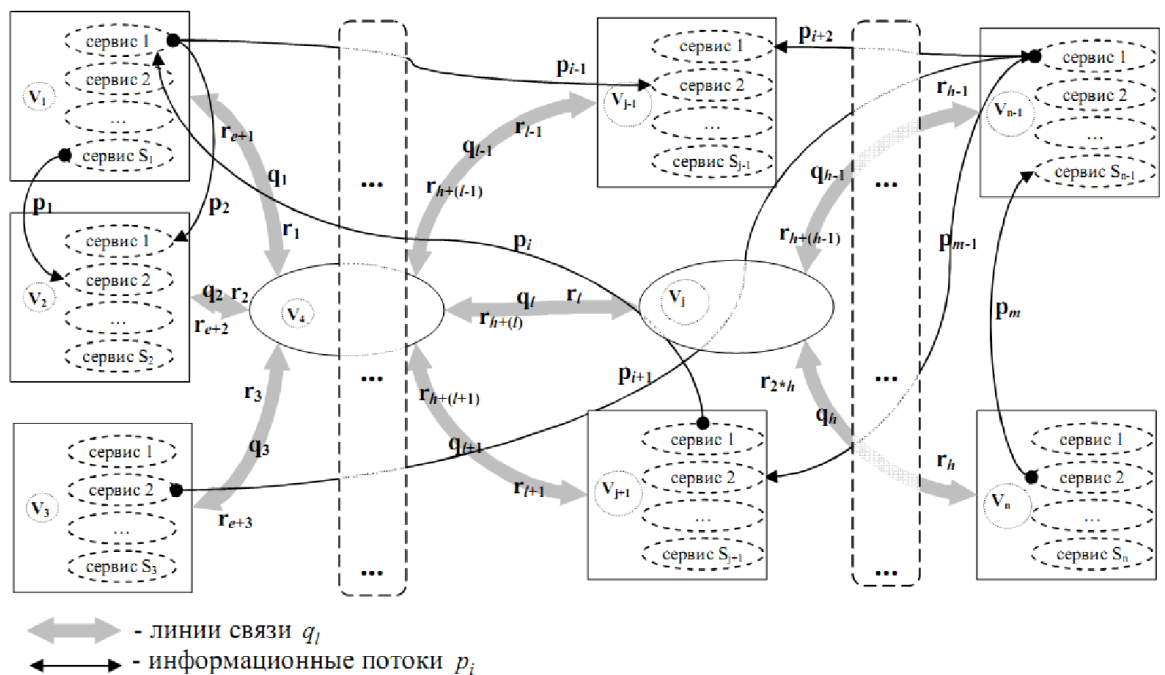


Рисунок 2.1 – Схема функционирования СИС

Для описания процессов передачи информационных потоков в СИС может быть использована многопродуктовая потоковая модель, рассмотренная в [53]. Согласно этому подходу, СИС представляется с помощью двух графов,

построенных на одном множестве узлов  $V = \{v_j\}, j = 1, \dots, n$ .

Физический граф задан множеством ребер  $Q = \{q_l\}, l = 1, \dots, h$ , которые соответствуют реальным линиям связи СИС. Каждое ребро  $q_l$  представлено двумя ориентированными дугами из множества  $E = \{e_k\}; e_k = \{v_k^{from}, v_k^{to}\}, k = 1, \dots, 2h$ , где  $v_k^{from}, v_k^{to}$  – индексы начала и конца дуги, положительным направлением считают направление от узла с меньшим номером к узлу с большим, ему соответствует дуга  $e_i$ , отрицательному – дуга  $e_{i+h}$ . Для дуг физического графа задается пропускная способность  $c_k$ , которая может быть различна в прямом и обратном направлении для одного ребра.

Структура физического графа задается матрицей инцидентий  $A = \{a_{kj}\}$  размерностью  $(2e \times n)$ :

$$a_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{если } k \in S(v_j), \\ -1, & \text{если } k \in T(v_j), \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где  $S(v_j)$  и  $T(v_j)$  – множества индексов исходящих и входящих дуг соответственно, для узла  $v_j \in V$ .

Логический граф представлен множеством тяготеющих пар  $P = \{p_i\}, i = 1, \dots, m$ , соответствующих информационным потокам,  $p_i = \{v_i^{from}, v_i^{to}\}$ . Тяготеющая пара – это два субъекта, которые осуществляют передачу между собой посредством СИС некоторого продукта (информационного потока), которые являются его источником (истоком) и стоком соответственно. Для  $i$ -той тяготеющей пары задано требование  $d_i$  на ресурс пропускной способности дуг физического графа для передачи информационного потока, которая способна полностью удовлетворить нужды тяготеющей пары по взаимодействию.

Логический граф представляется матрицей связей  $B = \{b_{ij}\}$  размерностью  $(m \times n)$ :

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } v_j - \text{исток } i\text{-го продукта} \\ -1, & \text{если } v_j - \text{сток } i\text{-го продукта} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Потоки же, которые реально может обеспечить СИС для каждой  $i$ -й тяготеющей пары, есть  $z_i$ . Следовательно, СИС будет полностью допустимой, если выполнено условие

$$z_i \geq d_i, i=1, \dots, m \quad (2.1)$$

Каждый узел физического графа является либо источником/стоком, либо транзитным узлом для  $i$ -го информационного потока. Для каждой тяготеющей пары  $p_i$  должно выполняться условие неразрывности потока в узлах, означающее, что поток либо полностью проходит через узел  $v_j$ , не накапливаясь в нем и не теряясь (для транзитного узла), либо только производится (для источника), либо поглощается (для стока):

$$\sum_{k \in S(v)} f_{ik} - \sum_{k \in T(v)} f_{ik} = \begin{cases} z_i, & \text{если } v - \text{исток} \\ -z_i, & \text{если } v - \text{сток}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2.2)$$

где  $f_{ik}$  – неотрицательное количество информационного потока  $i$ -й пары, проходящее по  $k$ -й дуге.

Распределение информационных потоков по дугам физического графа задается матрицей  $f = \{f_{ik}\}$  размерностью  $(m \times 2e)$ . Из (2.2) вытекает, что при заданном распределении потоков  $f$  величина потока  $z_i$  может быть определена:

$$z_i = \sum_{k \in S(v)} f_{ik} = \sum_{k \in T(v)} f_{ik}, i=1, \dots, m; v \in V$$

Суммарный поток, проходящий по дуге, не должен превышать ее пропускной способности:

$$\sum_i f_{ik} \leq c_k. \quad (2.3)$$

В матричной форме получим для  $z = z(f)$  систему уравнений:

$$f_i A = z_i B_i, \quad (2.4)$$

где  $i$  – номер вектора–строки,  $i \in M$ .

Таким образом, выражение (2.4) с условиями (2.2-2.3) является аналитической моделью функционирования СИС при выполнении внешних требований по передаче информационных потоков.

Как было указано во введении, целью диссертационной работы является

повышение эффективности функционирования СИС при передаче информационных потоков путем их распределения. Для того, чтобы определить эффективность СИС в нашей работе, рассмотрим сначала понятия, критерии и показатели эффективности, эффективности информационной системы.

Согласно [64], эффективность – это относительный эффект, результативность процесса, операции, проекта, определяемые как отношение эффекта, результата к затратам, расходам, обусловившим, обеспечившим его получение.

Под эффективностью системы понимают «свойство системы выполнять поставленную цель в заданных условиях использования и с определенным качеством» [13]. Показатели эффективности характеризуют степень приспособленности системы к выполнению стоящих перед нею задач. Обобщающим показателем является показатель экономической эффективности системы, который характеризует целесообразность расхода средств на разработку системы и обеспечение ее бесперебойного функционирования. Эффективность системы зависит от целого ряда свойств:

- прагматической эффективности - степени удовлетворения системой своего предназначения, способности выполнять предназначенные для нее задачи;
- технической эффективности - насколько система совершенна с технической точки зрения
- технологической эффективности - простоты и технологичности разработки системы;
- эксплуатационной эффективности - удобства использования и обслуживания системы;
- ряда других характеристик.

Эффективность СИС при удовлетворении внешних требований можно оценить показателями прагматической эффективности, которые дают количественную оценку степени достижения системой поставленной перед ней цели. В качестве таких показателей могут выступать показатели [13]:

- достоверности преобразования информации;

- безопасности информационной системы;
- точности вычислений и преобразования информации, характеризующие степень близости результирующей (выходной) информации к истинной информации, отображающей реальный процесс;
- полноты формирования системой результирующей информации, характеризующие достаточность этой информации для правильного выполнения пользователем запланированных действий;
- оперативности, показывающие, насколько быстро в системе формируется результирующая информация, не устарела ли она; показатели оперативности тесно связаны с актуальностью этой информации – степенью сохранения ее ценности во времени;
- своевременности, учитывающие соответствие заданного и реального момента поступления результирующей информации пользователю, и т. д.

Все прагматические показатели связаны с формированием результирующей информации в системе, так как именно она является продуктом деятельности информационной системы.

Согласно [22], информационным процессом является «процесс получения, создания, сбора, обработки, накопления, хранения, поиска, распространения и использования информации». К базовым информационным процессам относят [68] извлечение, транспортирование, обработку, хранение, представление и использование информации. Одной из задач СИС является обеспечение выполнения одного из базовых процессов – передачи информационных потоков пользователей. Соотношение  $\frac{z_i(f)}{d_i}$  есть степень выполнения требования на передачу информационного потока  $i$ -той тяготеющей пары,  $\min_i \frac{z_i(f)}{d_i}$  задает наименьшее выполнение требований среди всех тяготеющих пар.

Задача удовлетворения внешних требований, таким образом, сводится к нахождению оптимального распределения потоков в СИС, соответствующего решению задачи

$$\theta_0 = \max_f \min_i \frac{z_i(f)}{d_i} \quad (2.5)$$

при ограничениях (2.2-2.3).

Значение (2.5) называют величиной обеспеченности потоковых требований тяготеющих пар  $\theta_0 = \theta_0(c, d)$ . Решением задачи (2.5) является конкурентное распределение потоков тяготеющих пар по ребрам физического графа  $f^0 = f^0(c, d)$ .

Если  $\theta_0 > 1$ , то СИС является допустимой и требования по передаче потоков будут выполнены полностью. В ином случае СИС недопустима и необходимо найти некоторое приемлемое распределение потоков  $f$ , которое позволило бы в максимальной степени выполнить предъявляемые к СИС требования.

С учетом вышеизложенного, применительно к задаче анализа функционирования сетевой информационной системы при удовлетворении внешних требований, эффективность СИС оценивается по показателю степени выполнения требований пользователей (2.5). Визуально представить оценку эффективности для той или иной СИС можно с помощью ступенчатой диаграммы обеспеченности требований [24, 53].

## **2.2 Исследование возможностей компонентов СИС по управлению информационными потоками**

Для разработки аналитических и процедурных моделей необходимо практически изучить возможности и ограничения, присущие техническому и программному обеспечению СИС, выполняющих задачу передачи информационных потоков пользователей.

В настоящее время широко распространено специализированное оборудование для построения структур передачи информационных потоков различных уровней функциональных возможностей, аппаратной мощности, таких марок, как Cisco, Linksys, TP-Link. Такое оборудование базируется на специализированном аппаратном обеспечении со специализированным, зачастую

проприетарным программным обеспечением. Также распространены дистрибутивы свободно распространяемых сетевых операционных систем общего назначения, на основе которых могут быть построены аналоги специализированного оборудования, но с использованием обычного технического обеспечения x86-, arm- и т.п. совместимых процессоров (FreeBSD, Debian, Ubuntu и т.д.), и специализированные системные дистрибутивы на их основе, такие, как pfSense, m0n0wall, OpenWrt, DD-WRT и другие.

Для проведения имитационного моделирования функционирования СИС в виртуальной среде, необходимо исследовать работу функции ограничения пропускной способности линии связи в системе. Для проверки адекватности работы системы виртуализации, проведено имитационное моделирование с целью изучения, насколько реальные показатели пропускной способности соответствуют задаваемым параметрам.

Для управления пропускной способностью дуги существует несколько возможностей: задание параметров виртуальных сетевых интерфейсов, что соответствует настройке режимов работы оборудования, и управление программным обеспечением оборудования СИС, реализующим процедурные модели обработки передаваемых информационных потоков.

Имитационные эксперименты проводились со средой виртуализации VmWare Player, а также ОС FreeBSD и основанного на ней pfSense.

Для проверки работоспособности функции управления скоростью линии связи в виртуальной среде, были проведены серии экспериментов с передачей 1, 2, 4 или 10 потоков равной интенсивности через линию связи с пропускной способностью  $C_1=2000$  кбит/с,  $C_2=5000$  кбит/с,  $C_3=10000$  кбит/с, когда суммарный генерируемый поток составляет 40%, 80%, 100%, 120%, 160% от  $C$ . Примеры результатов экспериментов приведены на рисунках 2.2-2.4 и в таблице 2.1.



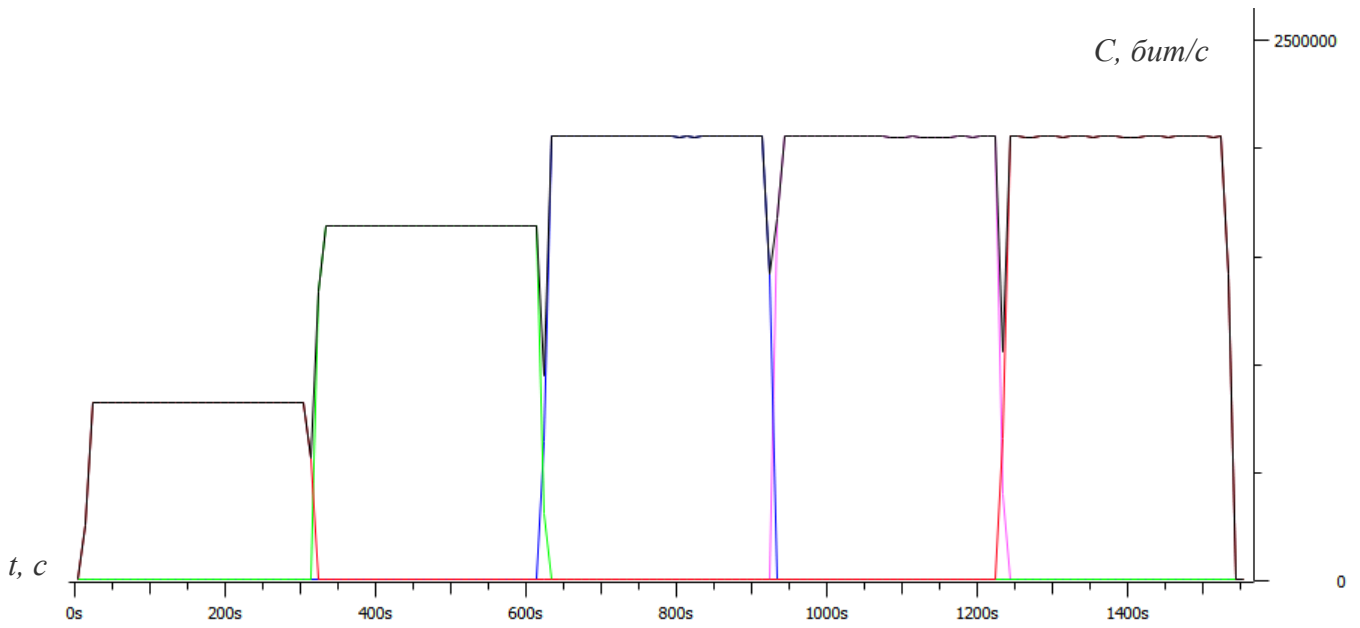


Рисунок 2.2 – График использования пропускной способности дуги при передаче одной тяготеющей пары

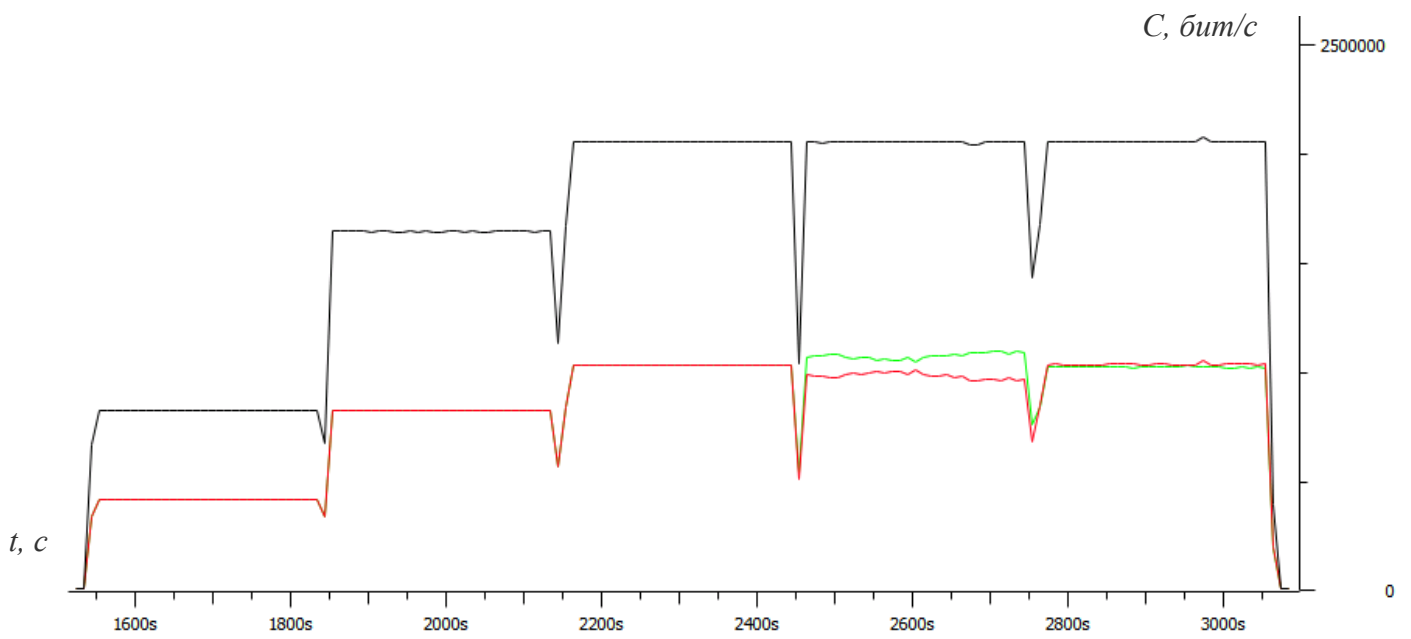


Рисунок 2.3 – График использования пропускной способности дуги при передаче двух тяготеющих пар

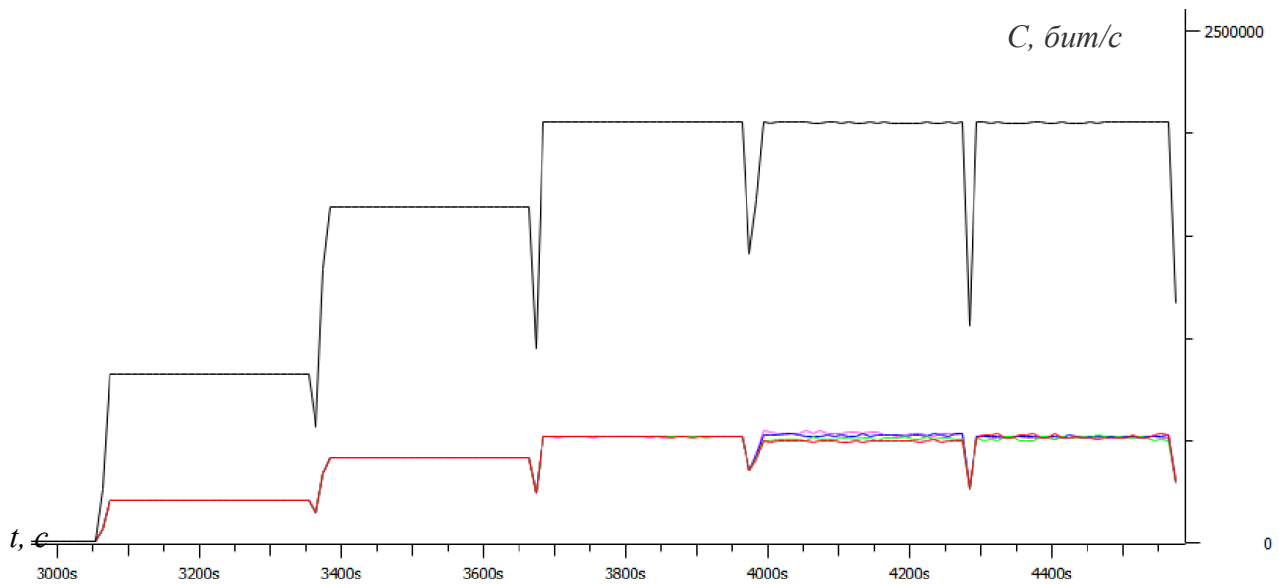


Рисунок 2.4 – График использования пропускной способности дуги при передаче четырех тяготеющих пар

Таблица 2.1 – Результаты эксперимента по ограничению емкости линии связи

Количество пар	C дуги, кбит/с	Отношение суммарного потока с емкости дуги				
		$\frac{\sum d_i}{C}$ , кбит/с				
		40%	80%	100%	120%	160%
1	2000	800	1600	2000	1999,8	1999,9
	5000	2000	4000	4999,6	4999,6	4999,6
	10000	4000	8000	9999,8	9999,2	9999,5
2	2000	800	1600	2000	1999,9	1999,8
	5000	1999,9	3999,7	4999,7	4999,5	4999,8
	10000	4000	7999,8	10000	9999,8	9999,5
4	2000	800	1600	1999,9	1999,3	1999,6
	5000	1999,7	3999,6	4999,5	4999,4	4999,7
	10000	3999,3	7999,9	9999,8	9999,7	9999,3
10	2000	800	1600	1999,7	1999,7	1999,7
	5000	1999,6	3999,9	5000	4999,9	4999,9
	10000	3999,4	7999,5	9999,9	9999,6	9999,4

Анализ рисунков 2.2-2.4 и таблицы 2.1 показывает, что практические измеренные значения пропускной способности при указанных условиях эксперимента соответствуют заданным в параметрах линии связи вне зависимости от количества тяготеющих пар и соотношения суммарного потока к пропускной способности, т.е. вне зависимости от того, насколько она перегружена. Таким образом, функция задания значения  $C$  сетевых интерфейсов в ПО VmWare позволяет проводить имитационное моделирование работы СИС и гибко менять параметры.

Еще одним популярным средством эмуляции свойств соединений в СИС является ПО Dummynet [86, 109]. Разработанное изначально именно для целей тестирования и изучения процессов в СИС, впоследствии оно стало использоваться для управления информационными потоками в промышленно эксплуатирующихся системах на базе ОС FreeBSD, OSX, Linux, Windows в связке с ПО управления информационными потоками ipfw. Dummynet эмулирует работу элементов структуры СИС (pipes) с заданными параметрами (пропускной способностью, задержками, потерями), причем информационный поток на своем пути следования может проходить через несколько таких элементов. Существует возможность задать отдельные элементы для различных категорий информационных потоков, как для входящих, так и выходящих, применяя различные правила их обработки. Схема работы ПО Dummynet приведена на рисунке 2.5.

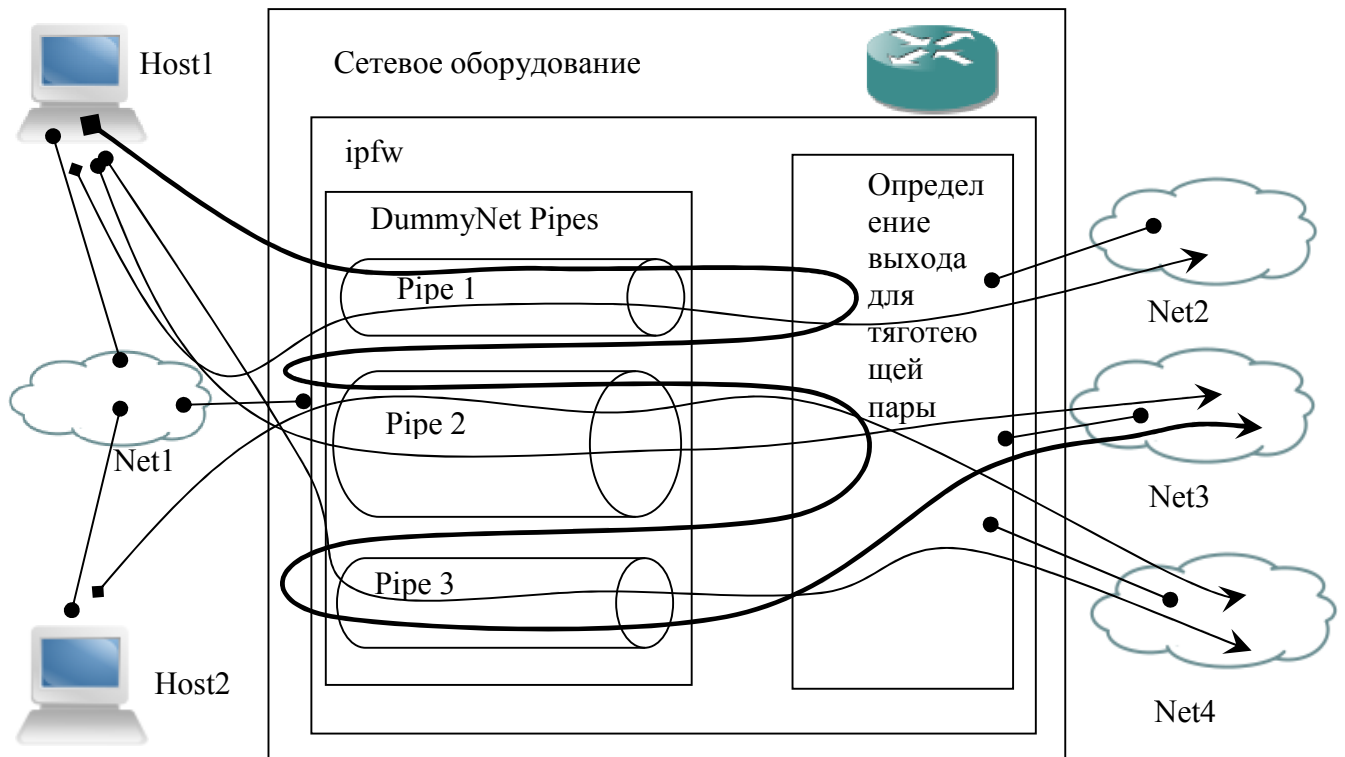


Рисунок 2.5 – Схема работы ПО Dummynet

На рисунке 2.6 приведен пример процедурной модели обработки проходящих информационных потоков через ПО DummyNet с эмуляцией двух элементов структуры СИС с разными параметрами. Здесь правила 100 и 200 задают два элемента, входящий и выходящий, для узла HostA, с различными пропускными способностями и задержками. Правила 300 и 400 задают третий, для передачи информационных потоков в обоих направлениях для сегмента СИС NetworkA.

```
ipfw add 100 pipe 10 out dst-ip HostA
ipfw add 200 pipe 11 in src-ip HostA
ipfw add 300 pipe 12 out dst-ip NetworkA
ipfw add 400 pipe 12 in dst-ip NetworkA
ipfw pipe 10 config bw 2000кбит/с delay 3ms
ipfw pipe 11 config bw 256кбит/с delay 12ms
ipfw pipe 12 config bw 10 Мбит/с
```

Рисунок 2.6 – Процедурная модель эмуляции двух соединений в ПО Dummynet

Процедурная модель, показанная на рисунке 2.7, правилами 901-903 осуществляет передачу исходящих информационных потоков Web от узла Host1

последовательно через элементы структуры СИС pipe 1,2,3; правило 1001 направляет 20% (правило срабатывает с вероятностью 0.2) исходящих ftp потоков в pipe 1, правило 1002 – 56% (вероятность 0.7 для оставшихся после правила 1001 80% первоначальных потоков) в pipe 2 и оставшиеся потоки – в pipe 3.

```
ipfw add 901 pipe 1 src-ip Host1 src-port 80 out
ipfw add 902 pipe 2 src-ip Host1 src-port 80 out
ipfw add 903 pipe 3 src-ip Host1 src-port 80 out
ipfw add 1001 prob 0.2 pipe 1 src-port 21 out
ipfw add 1002 prob 0.7 pipe 2 src-port 21 out
ipfw add 1003 pipe 3 src-port 21 out
```

Рисунок 2.7 – Процедурная модель обработки информационных потоков в ПО  
Dummynet

Для проверки работоспособности данной функции будем изменять значение выделенной максимальной пропускной способности для тяготеющей пары.

На рисунке 2.8 показаны графики передачи информационных потоков при следующих параметрах: пропускная способность 2000 кбит/с, передается 4 тяготеющие пары, суммарный передаваемый поток составляет 40%, 80%, 100%, 120%, 160% от пропускной способности; доля каждого из четырех передаваемых потоков по отношению к суммарному потоку составляет 0.1; 0.2, 0.3, 0.4, как следует из графика, ПО оборудования СИС пропорционально распределяет пропускную способность элемента структуры СИС между передаваемыми информационными потоками. Чем больше соотношение суммарного потока, требующего передачи, и пропускной способности дуги, тем менее стабильна скорость передачи потоков, выше конкуренция тяготеющих пар за ресурс элемента структуры СИС. На рисунке 2.9 показан результат прохождения информационных потоков, передаваемых из источника со скоростью 2000 кбит/сек, по индивидуальному пути для каждого потока, ограничивающему скорость его передачи, без ограничения на пропускную способность дуги.

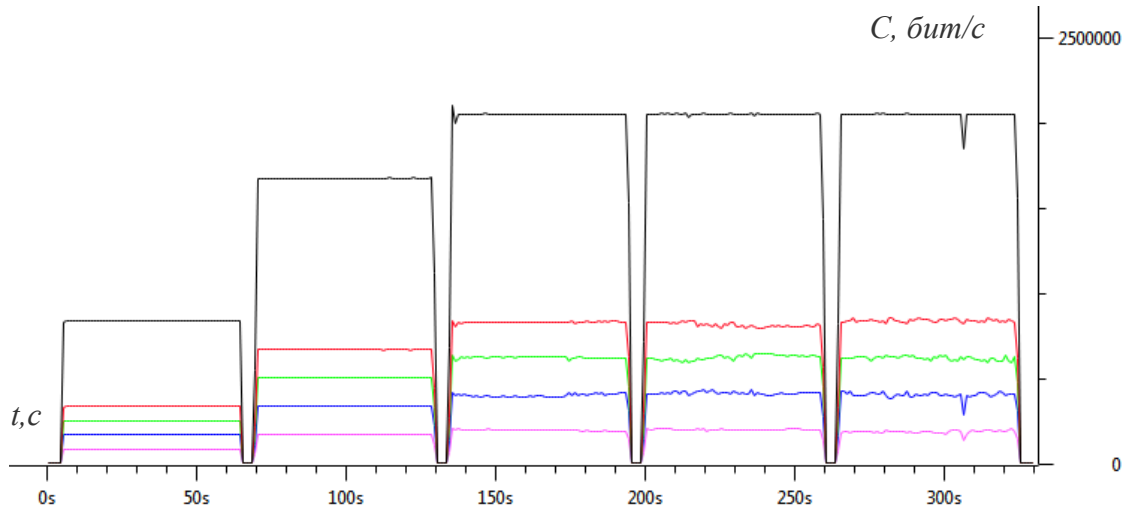


Рисунок 2.8 График пропускной способности линии связи и скорости передачи тяготеющих пар в VmWare

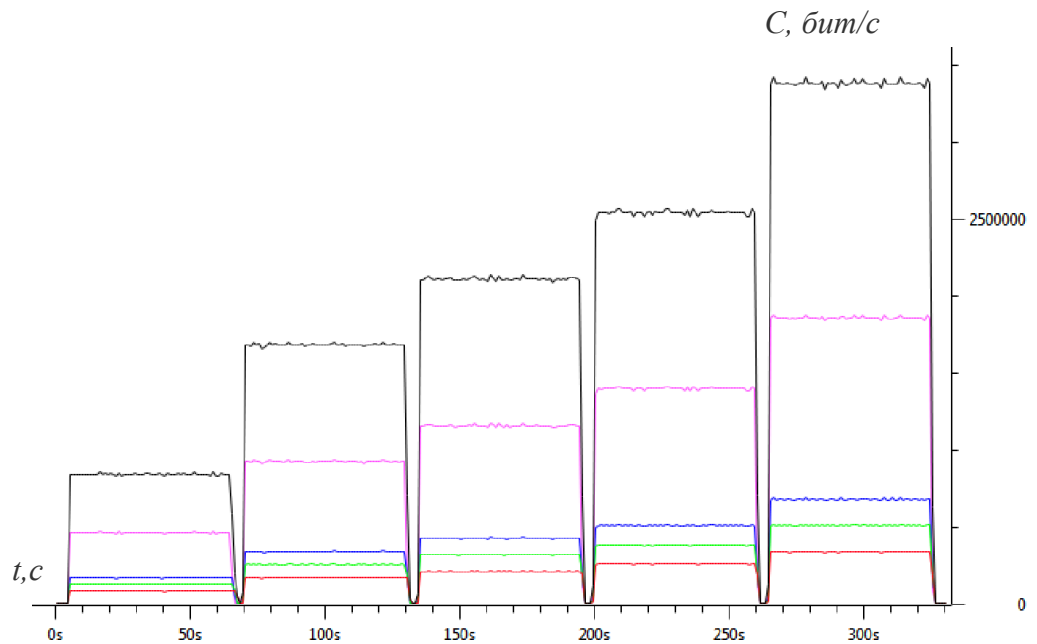



Рисунок 2.9 График пропускной способности линии связи и скорости передачи тяготеющих пар в ПО DummyNet

Отдельного внимания заслуживает практическая реализация процедурных моделей перераспределения информационных потоков в распространенных инструментах построения СИС.

В случае наличия нескольких линий связи и поддержки данного режима программным обеспечением оборудования СИС, возможно одновременное их использование. Данный режим присутствует во многих операционных системах,

специализированных для оборудования СИС. В данном случае оборудование осуществляет передачу информационных потоков с чередованием используемой линий, таким образом, каждая тяготеющая пара использует одну линию связи.

В случае разветвленной структуры, возможно осуществлять передачу информационных потоков с использованием различных путей передачи для каждого из них, чтобы задействовать большее количество линий связи, имеющих неиспользуемый ресурс пропускной способности. Такой режим должен поддерживаться программным обеспечением. Различные специализированные ОС по-разному могут реализовывать данный режим – либо с использованием лишь информации об источнике и стоке тяготеющей пары, тогда все тяготеющие пары, передаваемые из/в одного и того же источника/стока будут следовать одним маршрутом, либо, кроме этого, также и информации о каждой тяготеющей паре. Последний режим позволяет более гибко распределять потоки.

Рассмотрим СИС, представленную на рисунке 2.10. В ней два узла HOST1 и HOST2 соединены разветвленной структурой линий связи, состоящей из четырех единиц оборудования V1-V4 и 14 соединяющих их дуг. Знаком  C103 обозначены адресные пространства, объединяющие отдельные экземпляры оборудования. HOST1 является источником 8-ми тяготеющих пар p<sub>1</sub>-p<sub>8</sub>, а HOST2 – их стоком. Суммарная величина потока, которую требуется передать  $\sum_{i=1}^8 d_i = 4600$  кбит/с. Суммарная величина, которая может быть передана из узла V1 составляет c<sub>1</sub>+c<sub>3</sub>+c<sub>6</sub>+c<sub>7</sub>=3850 кбит/с. Очевидно, что МП-сеть, представляющая данную СИС, несовместна даже при полном использовании этих возможностей, т.е. не позволяет в полной мере выполнить требования пользователей на передачу информационных потоков, но тем не менее, необходимо определить максимально эффективный режим ее использования с целью выполнения предъявленных требований.

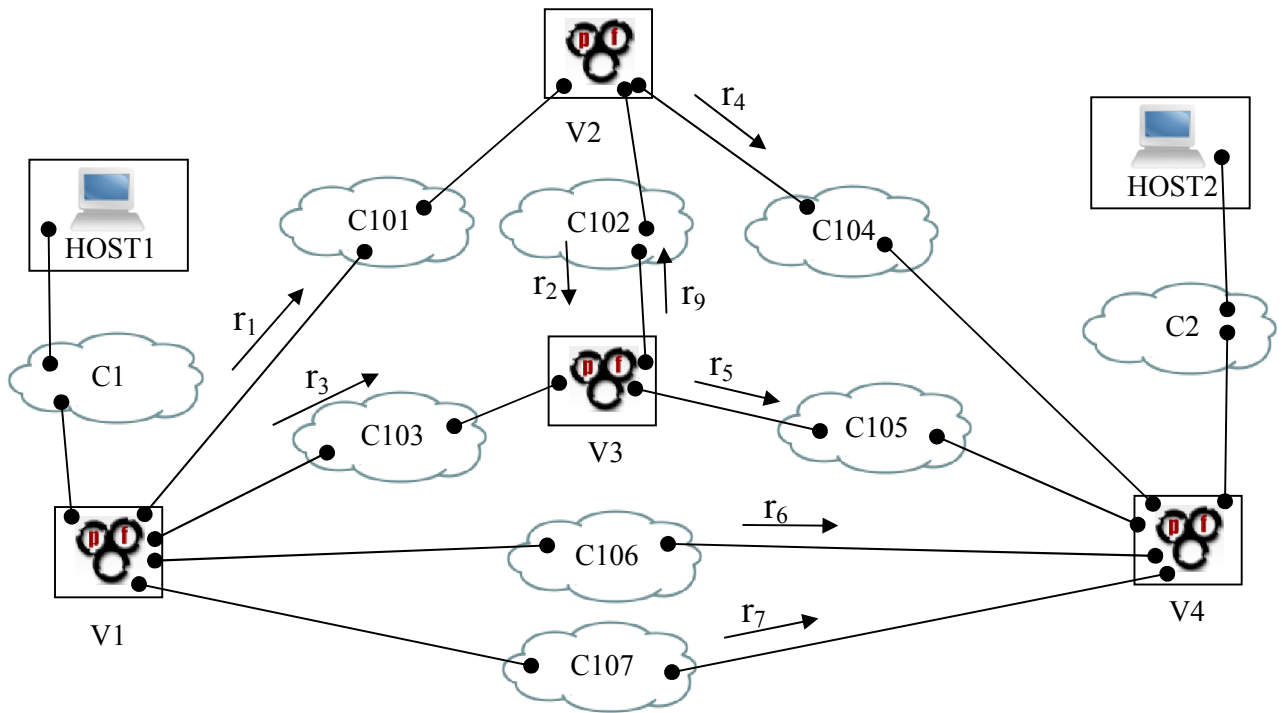


Рисунок 2.10 – Структура экспериментальной СИС

Таблица 2.2 – Параметры дуг физического графа экспериментальной СИС

Дуга $r_i(u_i, v_i)$	$r_1(1,2)$	$r_2(2,3)$	$r_3(1,3)$	$r_4(2,4)$	$r_5(3,4)$	$r_6(1,4)$	$r_7(1,4)$	$r_9(3,2)$
Пропускная способность, $c_i$ , кбит/с	1400	3000	500	500	1400	1600	350	3000

Таблица 2.3 – Требования тяготеющих пар логического графа экспериментальной СИС

Тяготеющая пара $p_i(s_i, t_i)$	$p_1(1,2)$	$p_2(1,2)$	$p_3(1,2)$	$p_4(1,2)$	$p_5(1,2)$	$p_6(1,2)$	$p_7(1,2)$	$p_8(1,2)$
Требование на передачу, $d_i$ , кбит/с	960	900	340	300	860	800	240	200



Таблица 2.4 – Пути передачи информационных потоков экспериментальной СИС и их пропускная способность

Путь передачи $w_i(s_i, t_i)$	Последовательность дуг, составляющих путь	Пропускная способность, $c_i$ , кбит/с
$w_1(1,2)$	$r_6$	1600
$w_2(1,2)$	$r_7$	350
$w_3(1,2)$	$r_1- r_4$	500
$w_4(1,2)$	$r_1- r_2- r_5$	1400
$w_5(1,2)$	$r_3- r_5$	500
$w_6(1,2)$	$r_3- r_9- r_4$	500

**Эксперимент №1.** В первом эксперименте предположим, что узел V1 может осуществлять передачу всех потоков только по одной дуге, очевидно, что для передачи будет выбрана та, у которой  $c_i$  максимально, т.е.  $r_6$ . Величины полученных на узле HOST2 информационных потоков, доля выполнения требований и использование линий связи представлены в таблицах 2.5-2.6. На рисунке 2.11 показана диаграмма обеспеченности для приведенной СИС в заданных условиях. Ширина прямоугольников соответствует доли каждого потока в суммарном потоке, высота – доля выполнения требования  $\frac{\bar{z}_i}{d_i}$ , выраженная в процентах. Как следует из диаграммы, степень выполнения требований мала, от 12% до 43%, выполнение суммарного потока – 34,8%, при этом использовано только 1600 кбит/с из доступных 4600 кбит/с.

Таблица 2.5. Величины передаваемых потоков в эксперименте №1

Пара, $p_i$	Скорость передачи, кбит/с, $d_i$	Эксперимент 1			
		Путь передачи	Скорость приема, кбит/с, $\bar{z}_i$	$\sigma_{z_i}$	% выполнения требований, $\frac{\bar{z}_i}{d_i}$
$p_1$	960	$w_1$	353,3	37,0	36,8%
$p_2$	900	$w_1$	381,0	35,6	42,3%
$p_3$	340	$w_1$	78,5	15,0	23,1%

p <sub>4</sub>	300	w <sub>1</sub>	59,7	13,4	19,9%
p <sub>5</sub>	860	w <sub>1</sub>	367,9	37,4	42,8%
p <sub>6</sub>	800	w <sub>1</sub>	284,9	37,5	35,6%
p <sub>7</sub>	240	w <sub>1</sub>	28,8	8,5	12,0%
p <sub>8</sub>	200	w <sub>1</sub>	45,3	7,9	22,7%
	4600	-	1599,4	6,0	34,8%

Таблица 2.6. Использование дуг в эксперименте №1

Дуга	Пропускная способность, кбит/с	Передаваемые пары	Суммарный поток, кбит/с	% использования	Остаток пропускной способности, кбит/с
r <sub>6</sub>	1600	p <sub>1</sub> , p <sub>2</sub> , p <sub>3</sub> , p <sub>4</sub> , p <sub>5</sub> , p <sub>6</sub> , p <sub>7</sub> , p <sub>8</sub>	1599,4	99,9%	0,6

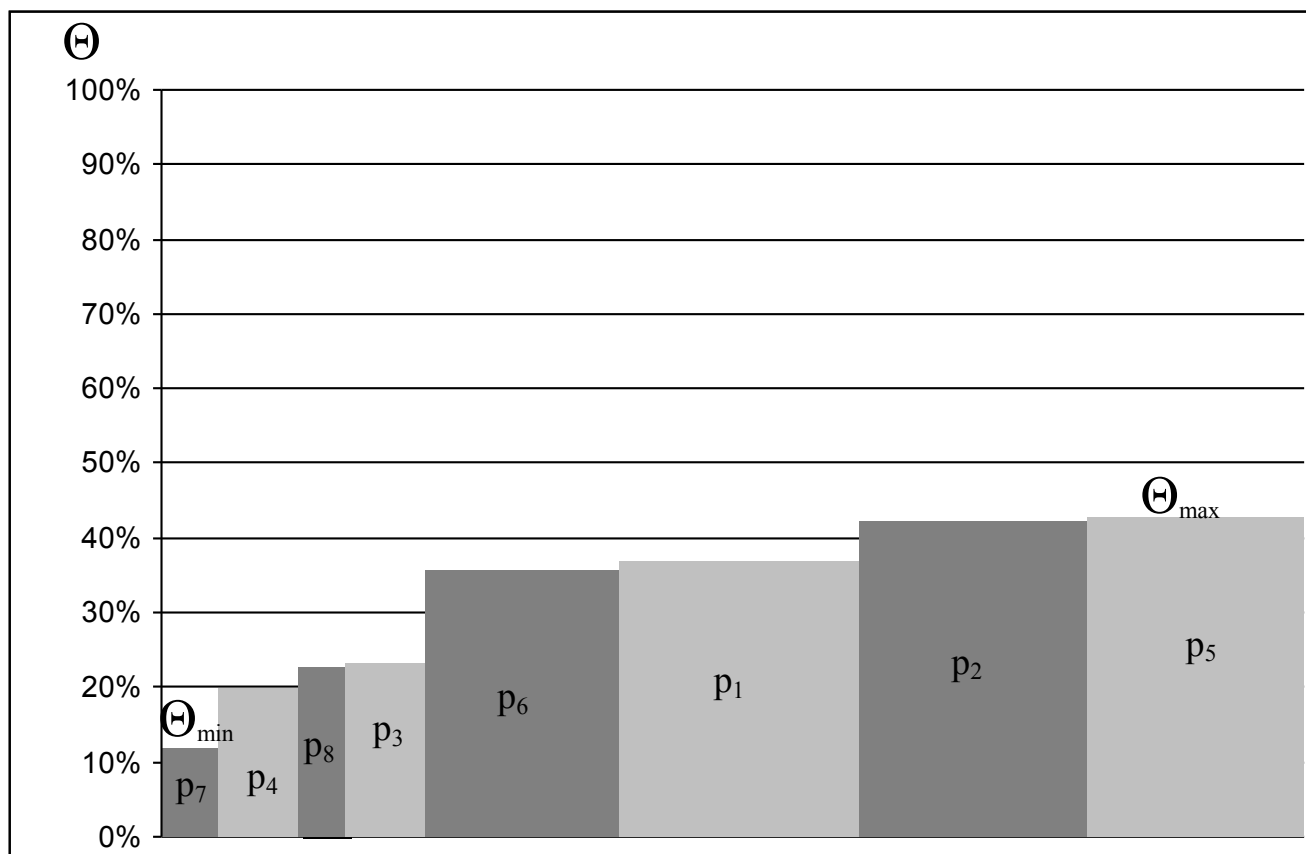


Рисунок 2.11 – Диаграмма обеспеченности требований в эксперименте №1

**Эксперимент №2.** В эксперименте №1 было наложено ограничение в использование лишь одной линии связи из имеющихся для всех потоков. Обычно, оборудование СИС имеет возможность использовать все доступные линии связи в соответствии с правилами, заданными ЛПР. Например, использовать каждую из

них с определенной вероятностью, либо поочередно (в данном случае это лишь говорит о равной вероятности выбора). Рассмотрим результат работы в таком режиме, когда распределением занимается само оборудование и настройка его требует минимальных действий. В случае равновероятного выбора линии для информационного потока в каждом из узлов  $V_1-V_4$ , применительно к рассматриваемой СИС вероятности выбора имеющихся маршрутов составят для  $m_1 - 25\%$ ,  $m_2 - 25\%$ , для каждого из  $m_3-m_6 -$  по  $12,5\%$ . Данные эксперимента приведены в таблицах 2.7-2.8 и на рисунке 2.12. Выполнение требований увеличилось, выполнение суммарного потока составило  $60,2\%$ , однако ресурсы линий связи использованы не полностью –  $72,0\%$ .

Таблица 2.7 – Величины передаваемых потоков в эксперименте №2

Пара, $p_i$	Скорость передачи, кбит/с, $d_i$	Эксперимент 2			
		Путь передачи	Скорость приема, кбит/с, $\bar{z}_i$	$\sigma_{z_i}$	% выполнения требований, $\bar{z}_i/d_i$
$p_1$	960	$w_6$	367,2	16,1	38,3%
$p_2$	900	$w_1$	846,3	12,1	94,0%
$p_3$	340	$w_5$	122,3	7,6	36,0%
$p_4$	300	$w_2$	83,0	5,5	27,7%
$p_5$	860	$w_2$	266,7	6,0	31,0%
$p_6$	800	$w_1$	752,8	10,9	94,1%
$p_7$	240	$w_3$	132,4	14,8	55,2%
$p_8$	200	$w_4$	200,0	0,5	100,0%
Итого	4600	-	2770,7	24,1	60,2%

Таблица 2.8 – Использование дуг в эксперименте №2

Дуга	Пропускная способность	Передаваемые пары	Суммарный поток	% использования	Остаток пропускной способности
$\Gamma_1$	1400	$p_7, p_8$	332,4	23,7%	1067,6
$\Gamma_2$	3000	$p_8$	367,2	12,2%	2632,8
$\Gamma_3$	500	$p_1, p_3$	489,5	97,9%	10,5
$\Gamma_4$	500	$p_1, p_7$	499,6	99,9%	0,4

$r_5$	1400	$p_3, p_8$	322,3	23,0%	1077,7
$r_6$	1600	$p_2, p_6$	1599,0	99,9%	1,0
$r_7$	350	$p_4, p_5$	349,7	99,9%	0,3
$r_9$	3000	$p_1$	200,0	6,7%	2800,0
Итого					

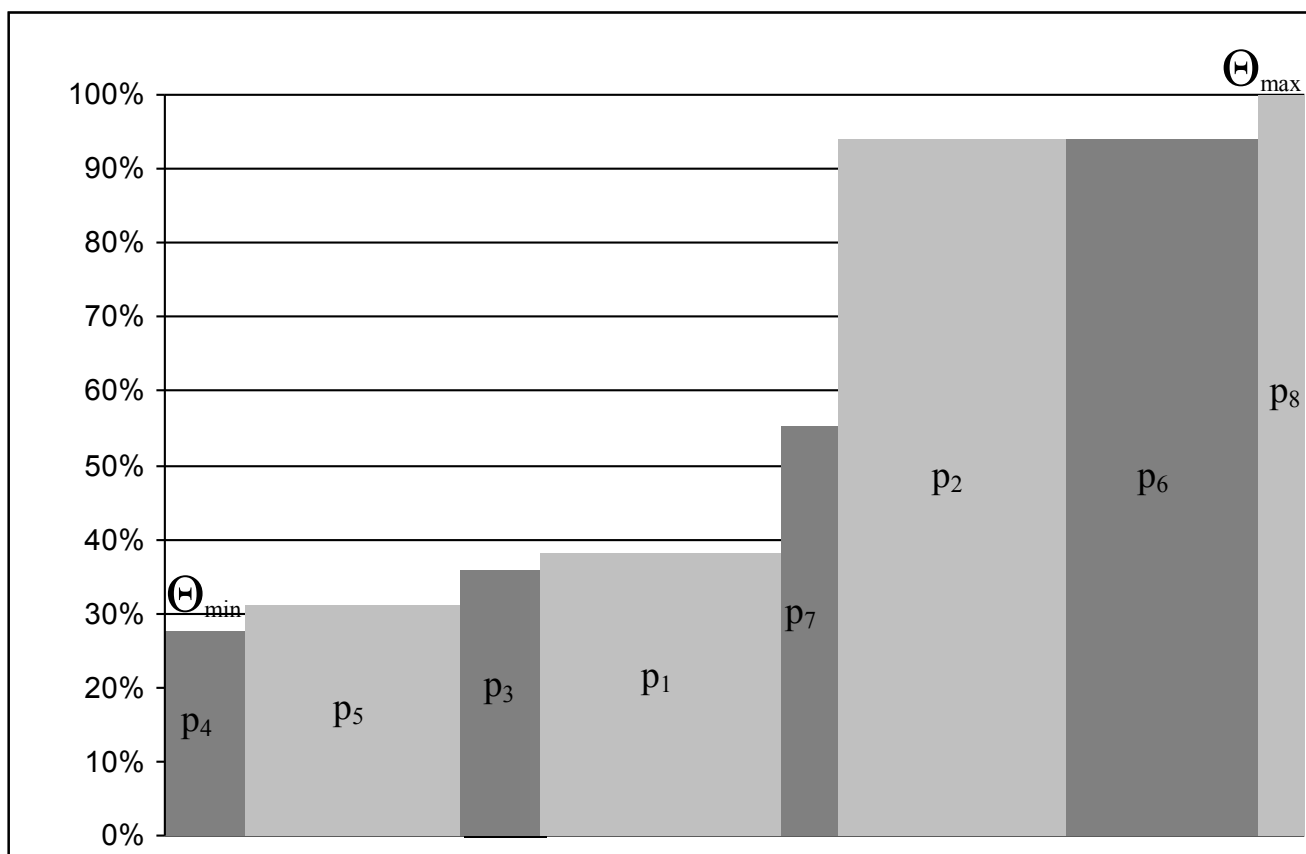


Рисунок 2.12 – Диаграмма обеспеченности требований в эксперименте №2

**Эксперимент №3.** В данном случае распределим потоки таким образом, чтобы потоки с наибольшим требованием на передачу информационного потока передавались по путям с наибольшей пропускной способностью, как указано в таблице 2.9. В таблице 2.10 и на рисунке 2.13 приведены результаты. В данном случае ресурсы дуг, выходящих из узла V1, использованы полностью и потребности тяготеющих пар выполнены в максимальной степени. Суммарное выполнение потока: 83,7, суммарное использование пропускной способности: 100,0%

Таблица 2.9 – Величины передаваемых потоков в эксперименте №3

Пара, $p_i$	Скорость передачи, кбит/с, $d_i$	Эксперимент 3			
		Путь передачи	Скорость приема, кбит/с, $\bar{z}_i$	$\sigma_{z_i}$	% выполнения требований, $\bar{z}_i/d_i$
$p_1$	960	$w_1$	824,4	16,5	85,9%
$p_2$	900	$w_1$	775,5	16,5	86,2%
$p_3$	340	$w_6$	264,4	6,6	77,8%
$p_4$	300	$w_6$	235,4	6,4	78,5%
$p_5$	860	$w_4$	724,9	12,4	84,3%
$p_6$	800	$w_4$	674,8	12,6	84,3%
$p_7$	240	$w_2$	193,4	4,2	80,6%
$p_8$	200	$w_2$	156,5	3,6	78,3%
Итого	4600	-	3849,4	4,1	83,7%

Таблица 2.10 -- Использование дуг в эксперименте №3

Дуга	Пропускная способность	Передаваемые пары	Суммарный поток	% использования	Остаток пропускной способности
$\Gamma_1$	1400	$p_5, p_6$	1399,7	100,0%	0,3
$\Gamma_2$	3000	$p_5, p_6$	1399,7	46,7%	1600,3
$\Gamma_3$	500	$p_3, p_4$	499,8	100,0%	0,2
$\Gamma_4$	500	$p_3, p_4$	499,8	100,0%	0,2
$\Gamma_5$	1400	$p_5, p_6$	1399,7	100,0%	0,3
$\Gamma_6$	1600	$p_1, p_2$	1599,9	100,0%	0,1
$\Gamma_7$	350	$p_7, p_8$	350,0	100,0%	0,0
$\Gamma_9$	3000	$p_3, p_4$	499,8	16,7%	2500,2
Итого					

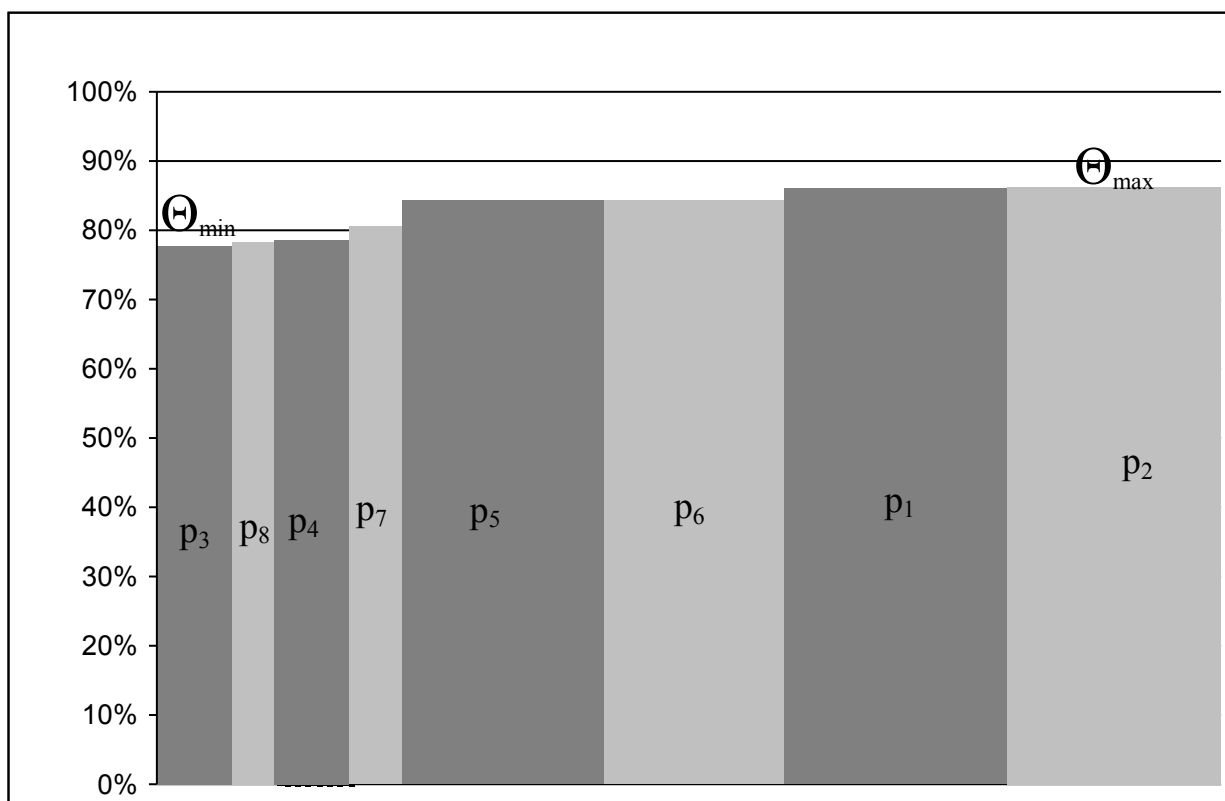


Рисунок 2.13 – Диаграмма обеспеченности требований в эксперименте №3

**Эксперимент 4.** В данном случае используя ограничение на доступную для некоторых тяготеющих пар пропускную способность в пользу остальных пар, удастся добиться полного удовлетворения требований некоторых тяготеющих пар. Данные приведены в таблицах 2.10-2.11 и на рисунке 2.14. Суммарное выполнение потока: 83,7%, суммарное использование пропускной способности: 100,0%

Таблица 2.11 – Величины передаваемых потоков в эксперименте №3

Пара, $p_i$	Скорость передачи, кбит/с, $d_i$	Эксперимент 4			
		Путь передачи	Скорость приема, кбит/с, $\bar{z}_i$	$\sigma_{z_i}$	% выполнения требований, $\bar{z}_i / d_i$
$p_1$	960	$w_1$	960,0	1,4	100,0%
$p_2$	900	$w_1$	639,6	4,6	71,1%
$p_3$	340	$w_6$	339,5	3,3	99,8%
$p_4$	300	$w_6$	160,4	2,4	53,5%
$p_5$	860	$w_4$	858,7	3,6	99,8%
$p_6$	800	$w_4$	540,5	3,7	67,6%

p <sub>7</sub>	240	w <sub>2</sub>	240,0	0,5	100,0%
p <sub>8</sub>	200	w <sub>2</sub>	109,5	2,0	54,7%
Итого	4600	-	3848,1	8,4	83,7%

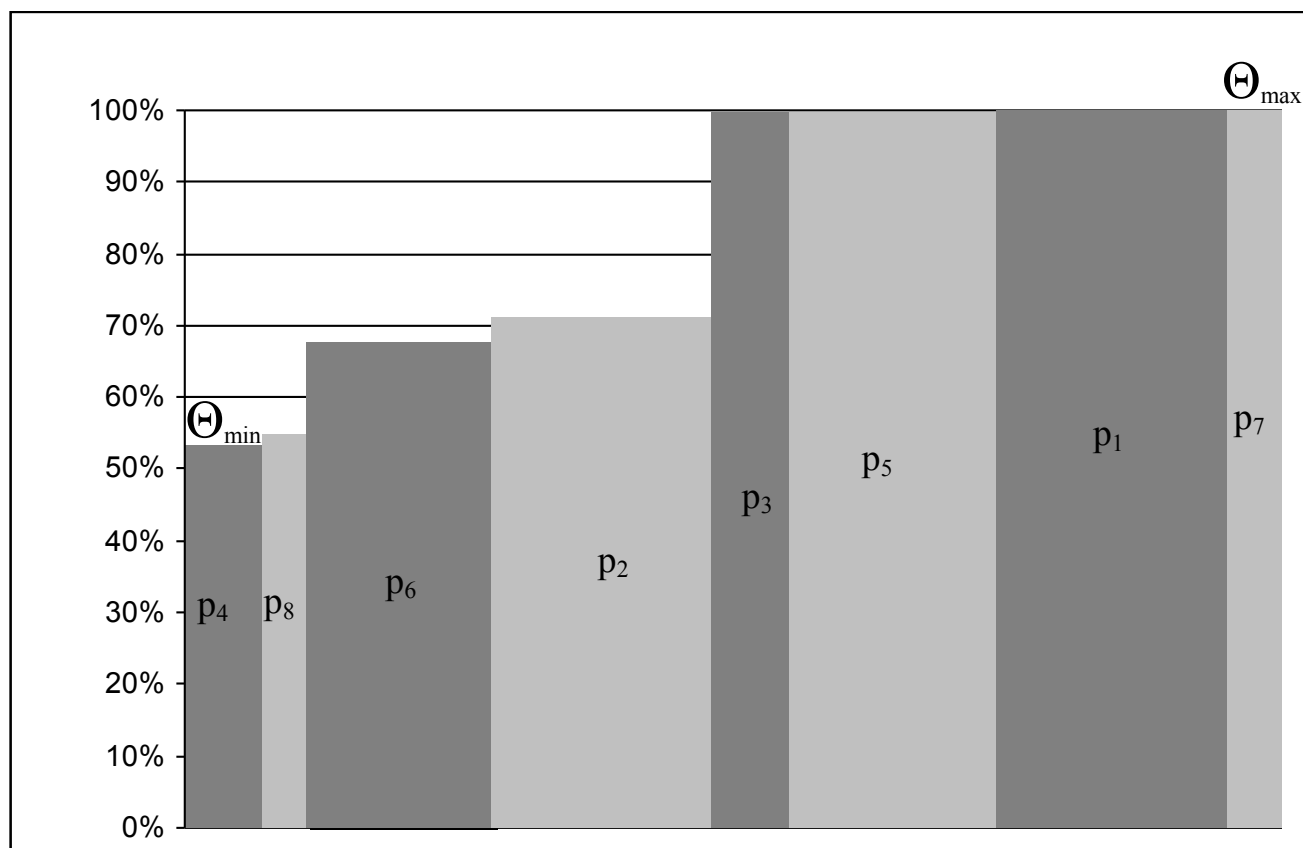


Рисунок 2.14 – Диаграмма обеспеченности требований в эксперименте №4

Таким образом, изучение функционала ПО, применяемого для управления оборудованием СИС, показало, что основными функциями по управлению передаваемыми ими информационными потоками являются:

- возможность использования или одного, или нескольких из имеющихся элементов структуры СИС для передачи информационных потоков;
- распределение нагрузки по имеющимся нескольким линиям связи по принципу поочередного использования или на основе заданной вероятности использования той или иной линии связи;
- вычисление оптимальных путей передачи информационных потоков, на основе различных критериев (меньшее число промежуточных узлов, меньшее время задержки, и комплексные показатели на основе данных характеристик) с использованием различных процедурных моделей;

- возможность использования информации об источнике, стоке информационного потока, и самом потоке для определения оптимального тупи для конкретного потока.

Проведенные исследования показали, что:

1. Скорости реально передаваемых потоков при использовании средства виртуализации VmWare соответствует задаваемым настройкам в параметрах виртуализированного оборудования.

2. ПО оборудования, действующего в виртуальной среде, позволяет гибко управлять выделяемой полосой пропускания и направлениями передачи информационных потоков на основе информации об источнике и стоке тяготеющей пары, а также параметрах самого информационного потока.

3. Наиболее эффективно ресурсы СИС используются в режиме, когда определяется путь передачи для каждой тяготеющей пары. Но вместе с тем данный режим требует предварительной подготовки – расчета путей передачи потоков. Для выполнения таких расчетов необходимо разработать аналитические и процедурные модели.

4. В случае несовместимости СИС, передаваемые потоки не являются стационарными, в частности, во время проведения экспериментов наблюдались флуктуации значений передаваемых потоков, которые необходимо учитывать.



### **2.3 Нечеткость информации в сетевой информационной системе. Использование LR-чисел в модели информационной системы**

На практике зачастую оказывается, что задаче анализа функционирования СИС свойственна нечеткость, значительно затрудняющая или вообще делающая невозможным получение решения. Понятие нечеткости может быть определено как «внешнее выражение качества внутренней основы явлений, специфика которого заключается в непрерывности перехода от отсутствия проявления к полному выявлению качества предметов, свойств и отношений реального мира, что находит свое отражение в познавательной и мыслительной деятельности индивида» [20].

Классификация видов нечеткости приведена на рисунке 2.15 [20].

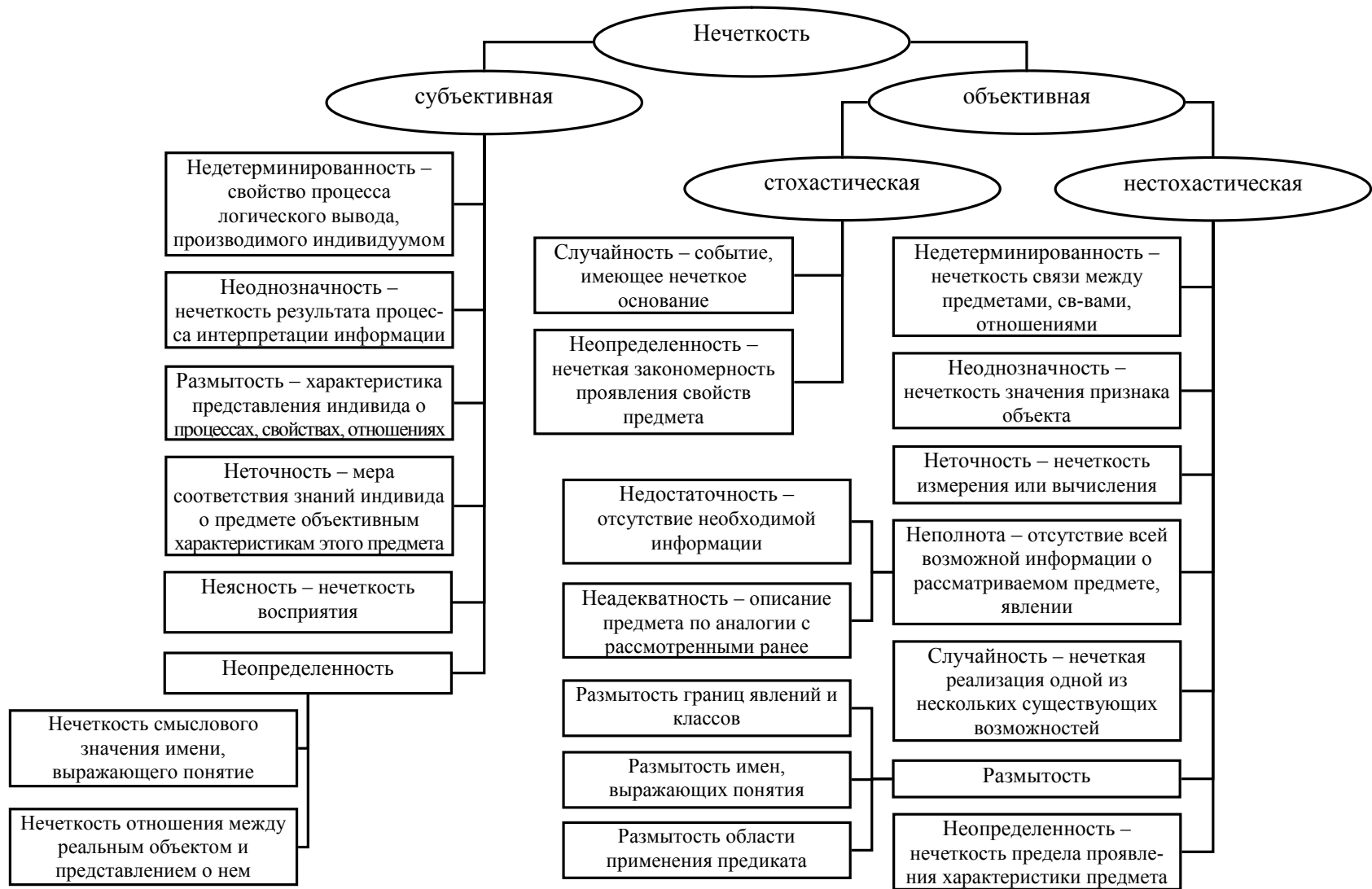


Рисунок 2.15 – Классификация видов нечеткости

При анализе информационных потоков в СИС приходится сталкиваться с их неоднородностью, которую сложно учитывать. На помощь здесь могут прийти теория нечетких множеств. Временной ряд, соответствующий входной переменной, может быть представлен нечетким LR-числом, функция принадлежности которого максимально близко повторяет функцию плотности распределения наблюдаемых значений входной переменной.

Для учета нечеткости параметров предлагается использовать нечеткие LR-числа вида  $\tilde{A}_{LR} = (m_A, \alpha_A, \beta_A)_{LR}$ , функция принадлежности которых имеет вид (2.6), где  $m_A$  – модальное значение нечеткого числа, а  $\alpha_A, \beta_A$  – левый и правый коэффициенты нечеткости.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} L\left(\frac{m_A - x}{\alpha_A}\right), & x \leq m_A \\ R\left(\frac{x - m_A}{\beta_A}\right), & x > m_A \end{cases} \quad (2.6)$$

Для оперирования LR-числами служат арифметические операции нечетких сложения, вычитания, умножения и деления:

$$A_{LR} \oplus B_{LR} = (m_A, \alpha_A, \beta_A)_{LR} \oplus (m_B, \alpha_B, \beta_B)_{LR} = (m_A + m_B, \alpha_A + \alpha_B, \beta_A + \beta_B)_{LR}$$

$$-A_{LR} = -(m_A, \alpha_A, \beta_A)_{LR} = (-m_A, \beta_A, \alpha_A)_{RL}$$

$$A_{LR} \ominus B_{RL} = (m_A, \alpha_A, \beta_A)_{LR} \ominus (m_B, \alpha_B, \beta_B)_{RL} = (m_A - m_B, \alpha_A + \beta_B, \beta_A + \alpha_B)_{LR}$$

$$A_{LR} \otimes B_{LR} = (m_A, \alpha_A, \beta_A)_{LR} \otimes (m_B, \alpha_B, \beta_B)_{LR} \approx$$

$$\approx (m_A \cdot m_B, m_A \cdot \alpha_B + m_B \cdot \alpha_A, m_A \cdot \beta_B + m_B \cdot \beta_A)_{LR}$$

$$\frac{1}{A_{LR}} = \frac{1}{(m_A, \alpha_A, \beta_A)_{LR}} = \left( \frac{1}{m_A}, \frac{\beta_A}{m_A^2}, \frac{\alpha_A}{m_A^2} \right)_{RL}$$

$$A_{LR} \oslash B_{RL} = (m_A, \alpha_A, \beta_A)_{LR} \oslash (m_B, \alpha_B, \beta_B)_{RL} \approx$$

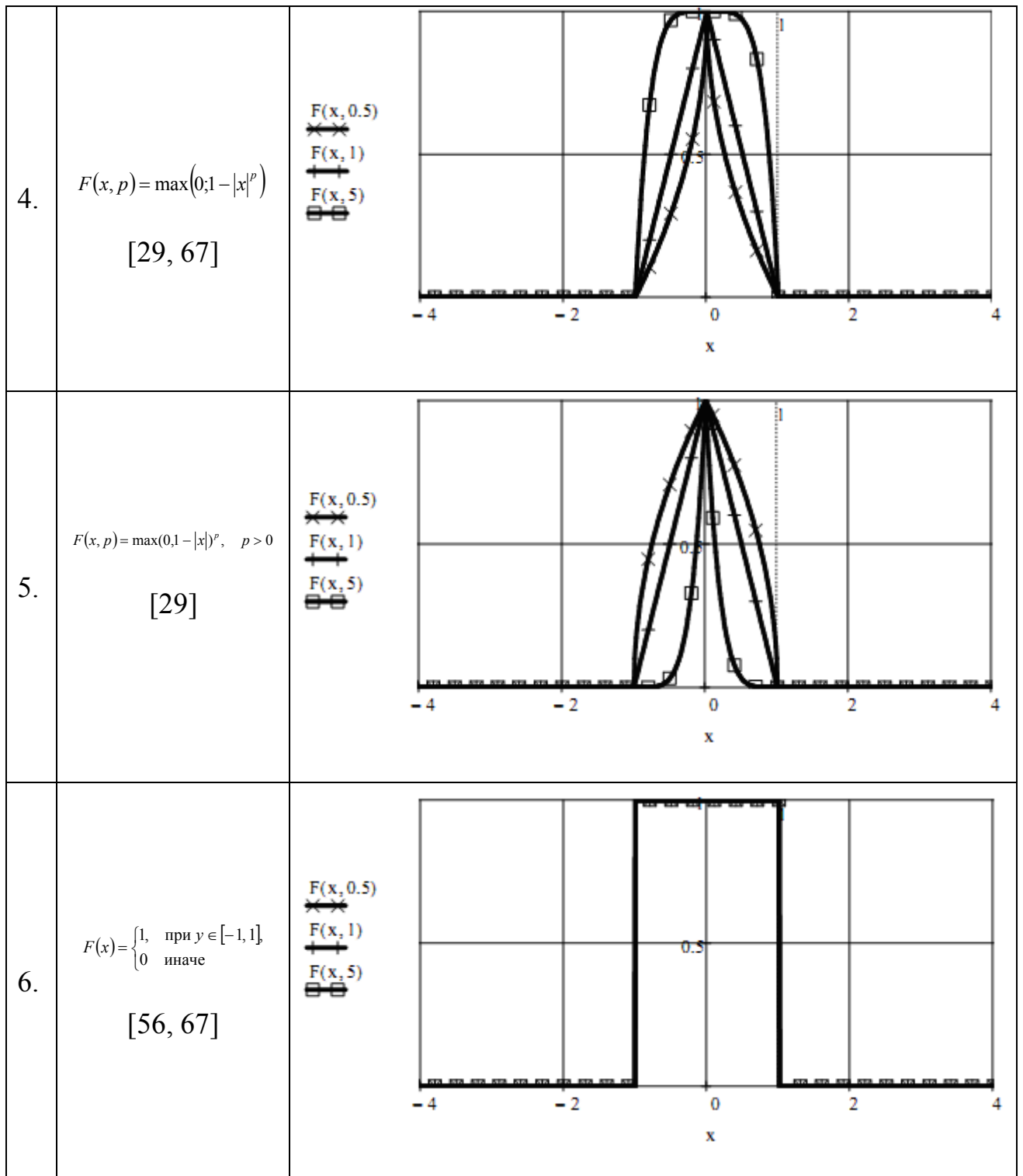
$$\approx \left( \frac{m_A}{m_B}, \frac{m_A \cdot \beta_B + m_B \cdot \alpha_A}{m_B^2}, \frac{m_A \cdot \alpha_B + m_B \cdot \beta_A}{m_B^2} \right)_{LR}$$

Функции  $L(x)$  и  $R(x)$  в LR-числе называются функциями представления формы нечеткого LR-числа [29].

В литературе встречается множество таких функций, основные из которых представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Функции представления формы нечеткого LR-Числа

	$F(x)$	
1.	$F(x, p) = \frac{1}{1 +  x ^p}, \quad p \geq 0$ <p>[60, 47, 56, 67, 51]</p>	<p> <math>F(x, 0.5)</math>  <math>F(x, 1)</math>  <math>F(x, 5)</math> </p>
2.	$F(x, p) = e^{- x ^p}, \quad p \geq 0$ <p>[29, 47, 56, 60, 67]</p>	<p> <math>F(x, 0.5)</math>  <math>F(x, 1)</math>  <math>F(x, 5)</math> </p>
3.	$F(x, p) = \frac{1}{1 + p \cdot  x }$ <p>[51]</p>	<p> <math>F(x, 0.5)</math>  <math>F(x, 1)</math>  <math>F(x, 5)</math> </p>



Как следует из постановки задачи, необходимо, чтобы все нечеткие LR-числа использовали одну и ту же функцию представления формы нечеткого числа и в то же время, чтобы, в случае использования статистической информации, функции принадлежности нечетких чисел были максимально приближены к измеренным значениям параметров СИС. Для достижения этой цели в качестве  $L(x)$  и  $R(x)$  предлагается использовать функцию вида (2.7):

$$F(x, p1, p2) = \left( \max(0, 1 - |x|^{p1}) \right)^{p2} \quad (2.7)$$

где  $p1 > 0, p2 > 0$  – параметры функции, одинаковые для всех нечетких чисел задачи.

С помощью данной функции возможно построить широкий спектр функций принадлежности, варьируя значения параметров  $p1, p2$ .

Функции  $L(x)$  и  $R(x)$  в (2.6) примут вид:

$$LF(x, kl1, kl2) = \left( \max(0, 1 - |x|^{kl1}) \right)^{kl2}; \quad RF(x, kr1, kr2) = \left( \max(0, 1 - |x|^{kr1}) \right)^{kr2} \quad (2.8)$$

Таким образом, функция принадлежности примет вид:

$$\mu((m_A, \alpha_A, \beta_A)_{LR}, x, l1, l2, r1, r2) = \begin{cases} L\left(\frac{m_A - x}{\alpha_A}, l1, l2\right), & x \leq m_A \\ R\left(\frac{x - m_A}{\beta_A}, r1, r2\right), & x > m_A \end{cases} \quad (2.9)$$

На рисунке 2.16 отображены графики функции (2.7) и функций принадлежности (2.8) нечеткого числа  $A_{LR} = (3; 2; 1)_{LR}$  при различных значениях параметров.

Для формализации неопределенности информации о характеристика информационных потоков применил линейное преобразование Клира для преобразования распределения вероятностей в распределение возможностей с единичными коэффициентами [43, 98]. Для определения оптимальных параметров L-R функций, предварительно необходимо построить гистограмму плотности распределения измеренных значений входных переменных. Определим оптимальное количество равных по ширине столбцов диаграммы с помощью критерия, представленного в [104]:

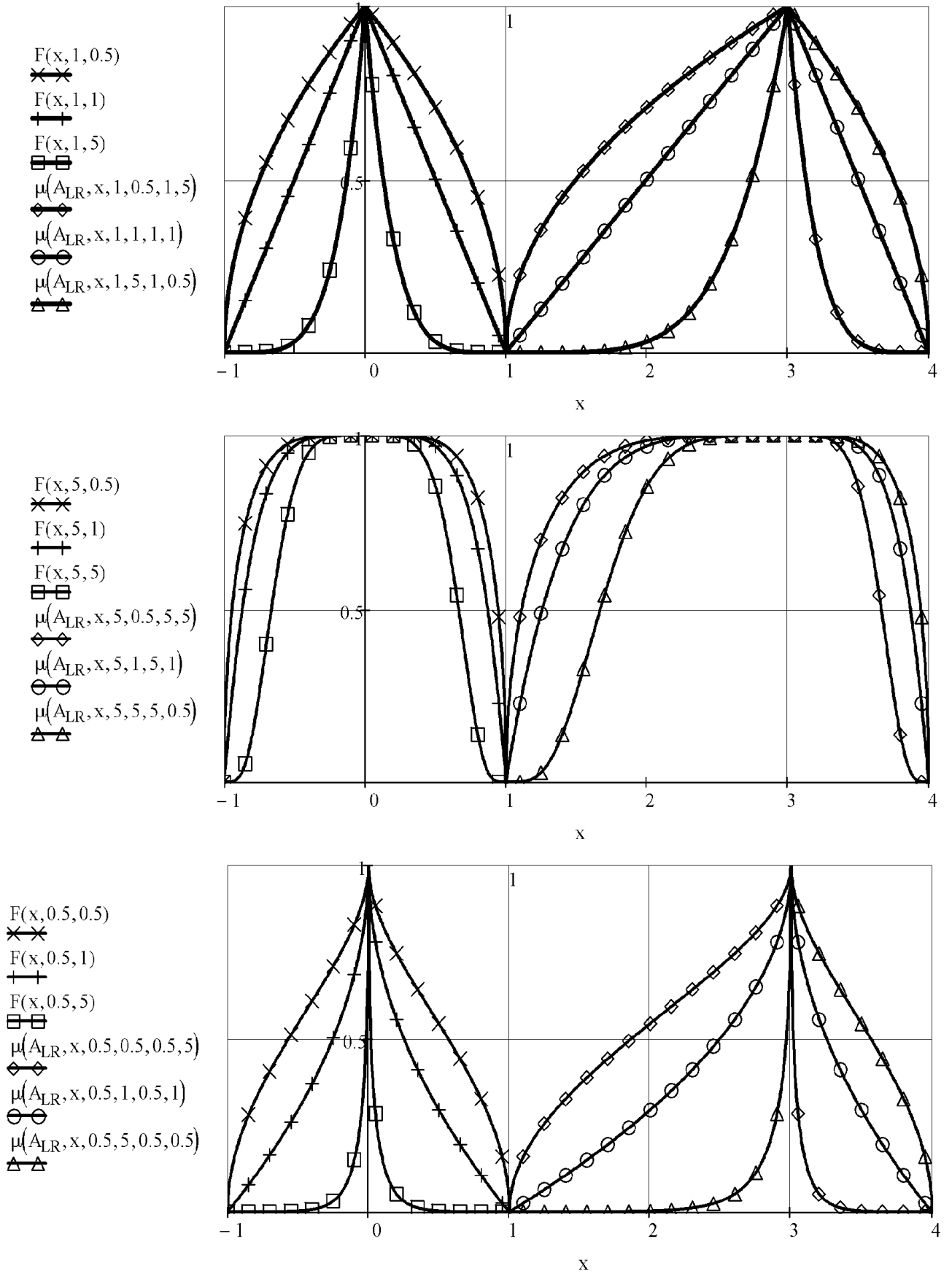
$$M^* = \max_{i \in [1; |M|]} (Kr(M_i)) \quad (2.10)$$

$$\text{где } Kr(x) = N \log x + \log \Gamma\left(\frac{x}{2}\right) - x \log \Gamma\left(\frac{1}{2}\right) - \log \Gamma\left(N + \frac{x}{2}\right) + \sum_{k=1}^x \log \Gamma\left(n_k + \frac{1}{2}\right),$$

$n_k$  – количество наблюдений исследуемой величины, попавшее в  $k$ -й

столбец,  $V$  -ширина гистограммы,  $M$  -количество столбцов,  $h_k$  -высота  $k$  -го столбца,  $N$  -количество наблюдений исследуемой величины.

Как было указано выше, поскольку для всех нечетких чисел, используемых при решении одной задачи, функции  $L(x)$  и  $R(x)$  используются одни и те же, коэффициенты  $lk_1, lk_2, rk_1, rk_2$  должны быть одинаковы для всех чисел.

Рисунок 2.16 – Вид LR-функций и числа  $A_{LR} = (3; 2; 1)_{LR}$



Для определения оптимальных параметров  $L(x)$  и  $R(x)$  и параметров LR-чисел необходимо найти глобальный минимум функции (2.11).

$$F(Z) = \sum_{v=1}^{|V|} \sum_{j=1}^{j_{m_v}} \left( \left( \left( 1 - \left( \frac{m_v - x_{v,j}}{l_v} \right)^{kl1} \right)^{kl2} - h_{v,j} \right)^2 \right) + \sum_{v=1}^{|V|} \sum_{j=j_{m_v}+1}^{s_v} \left( \left( \left( 1 - \left( \frac{x_{v,j} - m_v}{r_v} \right)^{kr1} \right)^{kr2} - h_{v,j} \right)^2 \right) \quad (2.11)$$

где  $Z = \{kl1, kl2, kr1, kr2, m_1, l_1, r_1, \dots, m_{|V|}, l_{|V|}, r_{|V|}\}$ ,  $V$  - множество анализируемых входных переменных,  $x_{v,j}$  и  $h_{v,j}$  - центр и высота соответственно  $j$ -го столбца гистограммы для  $v$ -й переменной,  $j_{m_v} : x_{v,j_{m_v}} \leq m_v$ ,  $m_1, l_1, r_1, \dots, m_{|V|}, l_{|V|}, r_{|V|}$  - параметры LR-чисел  $(m_1, l_1, r_1)_{LR}, \dots, (m_{|V|}, l_{|V|}, r_{|V|})_{LR}$ , формализующих входные переменные.

Таким образом, выражение  $F(Z) \rightarrow \min_Z$  является аналитической моделью формализации исходных данных с помощью нечетких LR-чисел.

## 2.4 Модели функционирования сетевой информационной системы в детерминированных и нечетких условиях

В процессе создания и эксплуатации СИС, возникают ситуации, когда в силу возрастающих требований пользователей или недостаточности пропускной способности элементов структуры СИС, требования пользователей не могут быть удовлетворены в полной мере. В этой ситуации необходимо находить такое распределение потоков в СИС, которое не дискриминировало никого из пользователей, и более того, использовало все имеющиеся ресурсы.

Использовать ресурсы пропускной способности наилучшим образом позволяет суперконкурентный мультипоток  $z^W(d)$  [53]:

$$z^W(d) = \begin{cases} \Theta_0 \cdot d_j, j \in M_0, \\ \Theta_1 \cdot d_j, j \in M_1, \\ \dots\dots\dots \\ \Theta_W \cdot d_j, j \in M_W, \end{cases} \quad (2.12)$$

где  $d$  – вектор требований пользователей,  $d_j$  – требование  $j$ -й тяготеющей пары,  $\Theta_0, \dots, \Theta_W$  – значения уровней обеспеченности потоковых требований,  $M_0, \dots, M_W$  – множества индексов тяготеющих пар, требования которых выполнены на соответствующем уровне обеспеченности.

Для отыскания мультипотока  $z^W(d)$  и определения уровней  $\Theta_0, \dots, \Theta_W$  необходимо решить последовательность задач отыскания максимального конкурентного потока (MCFP) [92, 102].

$$\begin{aligned} & \max \theta \\ & \forall e: \sum_{P:e \in P} f(P) \leq C(e) \\ & \forall j: \sum_{P \in P_j} f(P) \geq \theta \cdot d_j \\ & \forall P: f(P) \geq 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

где  $P_i$  – множество путей, по которым в СИС передается продукт  $i$ -той тяготеющей пары;  $P$  – путь для тяготеющей пары;  $f(P)$  – количество продукта, проходящее по пути  $P$ ;  $e$  – дуга пути  $P$ ,  $C(e)$ -пропускная способность дуги  $e$ ;  $\theta$  – уровень выполнения пользовательских требований.

Наглядной характеристикой использования имеющихся ресурсов служит диаграмма обеспеченности требований [24, 53], которая представляет собой ступенчатую диаграмму, каждому её уровню соответствуют множества тяготеющих пар, доля выполнения требований которых и соответствует высоте данного уровня.

В функционировании СИС всегда присутствует элемент неопределенности, который необходимо учитывать. Неопределенность информации в СИС вызвана рядом факторов: невозможностью точных измерений значений информационных потоков, т.к. используется усредненное значение, в то время как мгновенные значения передаваемых потоков могут иметь значительный разброс относительно среднего; влиянием факторов внешней среды на пропускные способности ребер.

В случае создания новой СИС требования пользователей на пропускные способности, необходимые для передачи информационных потоков, вовсе неизвестны, их можно лишь приблизительно оценить методом экспертных оценок. Таким образом, параметры СИС не могут быть определены на детерминированном уровне. При их описании предлагается использовать нечеткие LR-числа вида  $\tilde{A}_{LR} = (m_A, \alpha_A, \beta_A)_{LR}$ . Тогда, задача (2.13) для случая нечетких параметров примет вид:

$$z^w(\tilde{d}) = \begin{cases} \tilde{\Theta}_0 \sim \tilde{d}_j, j \in M_0, \\ \tilde{\Theta}_1 \sim \tilde{d}_j, j \in M_1, \\ \dots\dots\dots \\ \tilde{\Theta}_w \sim \tilde{d}_j, j \in M_w, \end{cases} \quad (2.14)$$

где  $\tilde{d}$  – вектор нечетких требований пользователей,  $\tilde{d}_j$  – требование  $j$ -й тяготеющей пары,  $\tilde{\Theta}_0, \dots, \tilde{\Theta}_w$  – значения уровней обеспеченности.

СИС в условиях нечетких данных может быть представлена с помощью двух графов, построенных на одном множестве узлов  $V = \{v_j\}, j = 1, \dots, n$ . Физический граф задан множеством ребер  $Q = \{q_l\}, l = 1, \dots, h$ , которые соответствуют реальным линиям связи СИС. Каждое ребро  $q_l$  представлено двумя ориентированными дугами из множества  $E = \{e_k\}, e_k = \{v_k^{from}, v_k^{to}, \tilde{c}_k\}, k = 1, \dots, 2h$ , где  $v_k^{from}, v_k^{to}$  – индексы начала и конца дуги,  $\tilde{c}_k$  – пропускная способность дуги. Логический граф представлен множеством тяготеющих пар  $P = \{p_i\}, i = 1, \dots, m$ , соответствующих информационным потокам,  $p_i = \{v_i^{from}, v_i^{to}, \tilde{d}_i\}$ ,  $d_i$  – требование на ресурс пропускной способности дуг физического графа для передачи информационного потока, которая способна полностью удовлетворить нужды тяготеющей пары по взаимодействию. Потоки же, которые реально может обеспечить СИС для каждой  $i$ -й тяготеющей пары  $p_i$ , есть  $\tilde{z}_i$ . Для СИС характерно, что каждый узел может являться источником и стоком одновременно для многих видов продуктов, если рассматривать в качестве них сервисы СИС.

Для отыскания мультипотока  $z^w(\tilde{d})$  и определения уровней  $\tilde{\Theta}_0, \dots, \tilde{\Theta}_w$  предлагается решить последовательность задач отыскания максимального

конкурентного потока (MCFP) (2.14) с четкими параметрами, отдельно для значений моды, левых и правых коэффициентов нечеткости параметров, а затем комбинировать их в допустимое решение.

$$\begin{aligned}
 & \max \theta \\
 & \forall e: \sum_{P \in P} x(P) \leq u(e) \\
 & \forall j: \sum_{P \in P_j} x(P) = \theta \cdot d_j, \\
 & \forall P: x(P) \geq 0
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

где  $P_j$  – множество путей, по которым в СИС передается продукт  $j$ -той тяготеющей пары,  $P$  – путь для тяготеющей пары,  $x(P)$  – количество продукта, проходящее по пути  $P$ .

Для оценивания эффективности функционирования СИС при передаче информационных потоков предлагается критерий, имеющий вид:

$$\theta = \min_{i=1, \dots, m} \frac{\sum_{j=1}^{jm_{z_i}} \left( \left( 1 - \left( \frac{M_{z_i}^* - x_{z_i,j}}{L_{z_i}^*} \right)^{l1^*} \right)^{l2^*} - h_{z_i,j} \right)^2 + \sum_{j=jm_{z_i}+1}^{s_{z_i}} \left( \left( 1 - \left( \frac{x_{z_i,j} - M_{z_i}^*}{R_{z_i}^*} \right)^{r1^*} \right)^{r2^*} - h_{z_i,j} \right)^2}{\sum_{j=1}^{jm_{d_i}} \left( \left( 1 - \left( \frac{M_{d_i}^* - x_{d_i,j}}{L_{d_i}^*} \right)^{l1^*} \right)^{l2^*} - h_{d_i,j} \right)^2 + \sum_{j=jm_{d_i}+1}^{s_{d_i}} \left( \left( 1 - \left( \frac{x_{d_i,j} - M_{d_i}^*}{R_{d_i}^*} \right)^{r1^*} \right)^{r2^*} - h_{d_i,j} \right)^2}, \tag{2.16}$$

где  $d_i$  – требование к объему передаваемого информационного потока для  $i$ -той тяготеющей пары,  $z_i$  - величина, которую в реальности может обеспечить СИС,  $\theta$  - показатель эффективности функционирования СИС при передаче информационных потоков. Величины с символом \* являются оптимальным решением задачи (2.11).

При передаче информационных потоков в СИС, для каждой пары выхода и входа существует множество возможных путей, которое определяет максимальную эффективность его передачи. В зависимости от структуры СИС и расположения выходов и входов требования каждой пары будут выполнены на различных уровнях, обеспечивая вместе с тем бесконфликтную передачу, когда увеличение передаваемого информационного потока одной пары не уменьшает таковой для другой пары. Для определения этих уровней необходимо

последовательно решить оптимизационную задачу, аналитическая модель которой имеет вид:

$$F(\tilde{f}) \rightarrow \max$$

$$F(\tilde{f}) = k_1 \cdot F1(\tilde{f}) + k_2 \cdot F2(\tilde{f}) + k_3 \cdot F3(\tilde{f}) + k_4 \cdot \theta \quad (2.17)$$

при ограничениях

$$F1(\tilde{f}) = \frac{\sum_{i=1,p} (N_{\max_i} - |\tilde{f}_i|)}{\sum_{i=1,p} (N_{\max_i} - 1)}; \quad F2(\tilde{f}) = \sum_{i=1,p} \left( L_{\max_i} - \frac{\sum_{j=1,|\tilde{f}_i|} L(\tilde{f}_{i,j})}{|\tilde{f}_i|} \right)$$

$$F3(\tilde{f}) = \frac{\sum_{i=1,p} \sum_{j=1,|\tilde{f}_i|} \tilde{f}_{i,j}}{\sum_{i=1,p} \tilde{d}_i}; \quad \forall e: \sum_{P:e \in P} \tilde{f}(P) \leq \tilde{c}(e); \quad 0 \leq F1(\tilde{f}) \leq 1; \quad 0 \leq F2(\tilde{f}) \leq 1; \quad 0 \leq F3(\tilde{f}) \leq 1$$

где  $k_1-k_4$  – весовые коэффициенты, задаваемые лицом, принимающим решения;  $k_1+k_2+k_3+k_4=1$ ;  $F1(\tilde{f})$  и  $F2(\tilde{f})$  оценивают  $\tilde{f}$  по количеству информационных потоков и узлов в них соответственно,  $N_{\max_i}$  и  $L_{\max_i}$  – максимально возможные количество составляющих и длина пути для информационного потока  $i$ ,  $|\tilde{f}_i|$  – количество составляющих для  $i$ -го потока в распределении  $\tilde{f}$ ,  $L(\tilde{f}_{i,j})$  – длина пути  $j$ -той составляющей,  $F3(\tilde{f})$  оценивает нижнюю границу обеспеченности требований,  $F4(\tilde{f})$  – суммарное выполнение требований тяготеющих пар, где  $\tilde{c}(e)$  – пропускная способность дуги  $e$ ,  $P$  – путь передачи информационного потока,  $\tilde{f}(P)$  – объем информационного потока, передаваемого по пути  $P$ .

Таким образом, было показано, что мультипоток характеризует эффективность СИС при удовлетворении внешних требований, и задача определения эффективности сводится к отысканию мультипотока.

## Выводы по второй главе

В данной главе была описана модель функционирования СИС, построенная на основе модели информационных потоков. Было показано, что для эффективного использования ресурсов СИС по передаче информационных

потоков необходимо гибкое распределение потоков, что требует решения соответствующей задачи.

Было показано, что в функционировании СИС имеется фактор неопределенности, которую предложено учитывать с помощью LR-Чисел. Были приведены основные используемые функции представления формы нечетких LR-Чисел, построена аналитическая модель представления формы нечеткого LR-числа, отличающаяся использованием сложной функции, включающей два параметра для L- и R-частей, определяющихся вследствие решения поставленной оптимизационной задачи.

Также была построена аналитическая модель двухэтапной оптимизационной задачи распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах, отличающаяся использованием предложенной аналитической модели представления нечетких LR-чисел, характеризующих параметры информационных потоков, и представляющая свертку критериев, оценивающих найденное решение по количеству и длине используемых путей передачи информационных потоков, и двух критериев в виде отношения нечетких чисел, представляющих объемы передаваемых информационных потоков, требования к ним и ограничения на их максимальные значения, характеризующих величину нижней границы и суммарное значение выполнения требований к информационным потокам.

### **3 ПРОЦЕДУРНЫЕ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

#### **3.1 Процедурная модель адаптированного к модели сетевой информационной системы генетического алгоритма**

Генетические методы относятся к эволюционным методам приближенной оптимизации, которые содержат три группы наиболее развитых и применимых методов: генетические алгоритмы, методы поведения «толпы» и методы колонии муравьев. [59].

В генетических методах используются специфические термины, взятые из генетики:

- хромосома - решение, стринг, строка, последовательность, родитель, потомок, особь – множество управляемых параметров рассматриваемой задачи;
- популяция - набор решений (хромосом);
- локус - местоположение гена в хромосоме;
- поколение - цикл работы генетического алгоритма, в процессе которого сгенерировано множество решений;
- ген - элемент, характеристика, особенная черта, свойство, детектор;
- аллель - значение гена;
- скрещивание, рекомбинация, кроссинговер - операторы обмена участками хромосом между несколькими особями;
- мутация - оператор модификации значений отдельных генов.

Направленный перебор решений осуществляется с помощью операторов отбора особей - родителей, кроссовера, мутации, селекции. В начале работы генетического алгоритма случайным образом формируется стартовая, исходная популяция, после чего осуществляется вычисление функции оптимальности каждой особи. Далее выбираются родители и с ними осуществляется операция кроссовера – обмена участками хромосом, после чего к выборочным особям применяется операция мутации – изменения случайных участков хромосом. Далее

из всех особей выбирается множество наиболее перспективных и если условие остановки поиска не выполнено, процесс повторяется. В качестве условия остановки может выступать достижение количества популяций заданного числа, либо уменьшение изменения целевой функции наиболее приспособленной хромосомы в популяции до заданного значения, либо приближение значения функции оптимальности к заданному значению.

Среди операторов кроссовера известны: одноточечный и двухточечный кроссовер; однородный; частично совместимый; метод «колонии муравьев», смешанный эволюционный метод [58].

Операторы селекции [58]:

- ранговый выбор – в качестве родителей выбираются наилучшие особи популяции;

- алгоритм рулетки – вероятность выбора особи в качестве родителя равна отношению значения ее целевой функции к сумме значений целевой функции всех особей популяции;

- турнирный выбор – родителями выбираются лучшие особи из подгрупп, на которые разбивается популяция,

- равновероятный выбор;

- выбор из предварительно сформированной репродуктивной группы особей.

В качестве операторов мутации применяются [58]:

- перестановка значений двух генов;

- локальная оптимизация полученных при кроссовере потомков;

- изменение значения гена на другое допустимое значение, выбранное случайным образом.

**Адаптация генетического алгоритма к модели сетевой информационной системы.** Как было указано в главе 1, МП-сеть, в частности СИС, может быть представлена с помощью двух графов (физического – линии связи, и логического – потоки данных), которые задаются матрицами А и В



соответственно. Условия функционирования МП-сети имеет вид:

$$f_i A = z_i B_i \quad (3.1)$$

где  $f$  – матрица распределения потоков по дугам размерностью  $(m \times 2e)$  с неотрицательными элементами,

$A = \{a_{kj}\}$  – матрица инциденций «ребра-вершины» размерностью  $(2e \times n)$ ,

$B = \{b_{ij}\}$  – матрица связей источник-сток для каждого продукта размерностью  $(m \times n)$ ,

$z$  – вектор-столбец, показывающий, какое количество потока для каждого вида продукта проходит через СИС от источника к стоку,

$i$  – индексы, означающие операции с  $i$ -тыми строками матриц.

Выражение (3.1) задает условие неразрывности потока, согласно которому все значение потока порождается только в источнике, поглощается только в стоке, а через остальные узлы проходит без потерь и приростов.

Также должно быть выполнено условие: суммарный поток, проходящий по дуге, не должен превышать ее пропускной способности:

$$\sum_i f_{ik} \leq c_k \quad (3.2)$$

Применим генетический алгоритм для решения оптимизационной задачи поиска такого распределения  $f$  потоков по МП-сети, при котором требования пользователей  $d_i$  выполнены в наибольшей степени и не хуже, чем для самой «неудовлетворенной» пары, т.е. необходимо найти оптимальное значение функции

$$F(f) = \max_f \min_i \frac{z_i(f)}{d_i} \quad (3.3)$$

Для решения задачи отыскания распределения потоков необходимо иметь возможность определять все пути, по которым поток может быть передан из источника в сток, с целью сузить пространство поиска. Для этого используем алгоритм сцепления.

Пусть  $s_1$  и  $s_2$  – элементарные пути длиной  $p+1$  и  $q+1$  соответственно,

заданные последовательностью вершин  $v$ , через которые они проходят:  $s_1 = (v_{i_1}, \dots, v_{i_p}, v_k)$  и  $s_2 = (v_l, v_{j_1}, \dots, v_{j_q})$ . Если один из путей заканчивается в вершине, в которой второй начинается ( $v_k = v_l$ ), то их можно объединить (сцепить) в один путь:

$$s_1 * s_2 = \begin{cases} \emptyset, & \text{если } v_k \neq v_l \\ (v_{i_1}, \dots, v_{i_p}, v_k, v_{j_1}, \dots, v_{j_q}), & \text{иначе} \end{cases},$$

где  $*$  – обозначение операции сцепления.

Свойства операции сцепления:

$$s_1 * \emptyset = \emptyset, \quad \emptyset * s_2 = \emptyset, \quad \emptyset * \emptyset = \emptyset.$$

Если  $s_1 * s_2 \neq \emptyset$ , то

$$s_1 * s_2 = s_1 \bullet s'_2,$$

где  $s'_2$  – последовательность  $s_2$  без первого члена,

$\bullet$  – обозначение операции сцепления с усеченным путем вида  $s'_2$ .

Обозначим  $C_{x_i x_j}^p$  множество элементарных путей длиной  $p$ , проходящих через  $p+1$  вершину из  $x_i$  в  $x_j$ . Тогда

$$C_{x_i x_j}^p = \bigcup_{k=1}^n C_{x_i x_k}^{p-1} \bullet C_{x_k x_j}^1, \quad k \neq i, j,$$

или в матричной форме:

$$\|M\|^{(p)} = \|M\|^{(p-1)} \bullet \|M\|^{(1)}, \quad p = 1 \dots n-1,$$

где элементами  $\|M\|^{(p)}$  являются  $C_{x_i x_j}^p$ . После определения матриц  $\|M\|^{(1)} \dots \|M\|^{(n-1)}$  строится матрица  $\|M\|$  всех возможных путей для каждой пары вершин, где  $M_{ij} = \bigcup_{p=1}^{n-1} \|M_{ij}\|^{(p)}$ .

Распределение потоков будем задавать матрицей  $X$ , в которой первый столбец содержит номера пути  $w_i$  для каждой тяготеющей пары, а остальные столбцы являются копией столбцов матрицы распределения потоков  $f$ :

$$X = \begin{pmatrix} w_1 & f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_m & f_{m1} & \cdots & f_{mn} \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Такой подход позволяет избежать ситуации появления потоков на тех ребрах, которые не составляют пути из источника в сток для  $i$ -й тяготеющей пары

Матрица  $X$  и будет являться хромосомой в рассматриваемом ГА с вещественным кодированием генов.

При инициализации стартовой популяции, для каждой тяготеющей пары всех особей выбирается один случайный путь из допустимых. Далее, каждому ребру выбранного пути присваивается случайное значение потока, наибольшее значение которого не может превышать пропускной способности ребра, т. е.

$$f_{ij} = \{0 \dots c_j\} \quad (3.5)$$

Стандартные операторы генетического алгоритма при таком представлении СИС в виде особи в генетическом алгоритме могут применяться к двум видам объектов: строкам (т.е. путям, по которым передаются информационные потоки); числовым значениям потоков, передающихся по ребрам физического графа.

### **Оператор кроссовера.**

При выполнении операции кроссовера случайным образом выбирается точка разбиения. Она разделяет матрицу потоков по строкам на две матрицы. Далее, эти части матриц особей-родителей обмениваются друг с другом. Возможны несколько вариантов такого обмена:

обмен строк (т.е. происходит обмен путями, по которым проходят информационные потоки  $i$ -й пары),

в случае, если  $i$ -я пара проходит по одному и тому же пути у обоих родителей, случайным образом выбирается вторая точка разбиения, которая делит строку, и происходит обмен частями одноименных строк родителей.

### **Оператор мутации.**

На стадии работы оператора мутации выполняется одна из двух операций:

1) использующийся для пары путь заменяется на альтернативный с

инициализацией значений потоков на его ребрах из диапазона (3.5),

2) изменение числовых значений потоков на некотором количестве ребер на значения из диапазона (3.5).

Поскольку ГА оперирует только одной функцией и не учитывает выполнение имеющихся ограничений, в качестве функции приспособленности будем использовать комбинированную функцию

$$F'(f) = k_1 \cdot F(f) - k_2 \cdot g(f), \quad (3.6)$$

где  $k_1, k_2$  – подстроечные коэффициенты,

$g(f)$  – функция штрафа.

$$g(f) = k_3 \cdot g_1(f) + k_4 \cdot g_2(f), \quad (3.7)$$

где  $k_3, k_4$  – подстроечные коэффициенты,

$g_1(f), g_2(f)$  – штраф за нарушение условий (3.1) и (3.2) соответственно.

Для источника и стока значение штрафа будет равно величине отклонения реального исходящего/приходящего потока от требуемого  $d_i$ , нормированного к этой требуемой величине; для остальных вершин штрафом является неравенство количества пришедшего и ушедшего потоков, т.к. это является нарушением условия неразрывности потока, также нормированного к величине потока.

$$g_1(f) = \sum_{i,j} \left( \left( \frac{d_i \cdot b_{ij} - (f \cdot A)_{ij}}{d_i} \right)^2 \right) \quad (3.8)$$

$$g_2(f) = \sum_k \left( \left( \frac{\sum_i f_{ik}}{c_k} \right)^2 \right) \quad (3.9)$$

### **Численный эксперимент.**

Описанный генетический алгоритм был реализован в среде MathCad. В качестве исследуемого тестового примера был взят граф с 8 вершинами и 9 ребрами, которым соответствуют 18 дуг, представленный на рисунке 3.1.

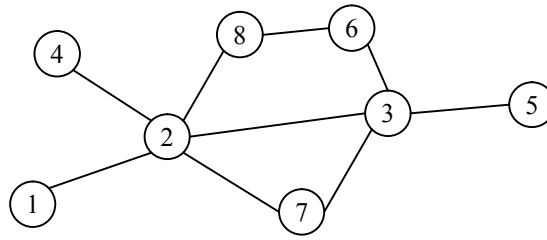


Рисунок 3.1 – Вид тестового графа

Начало  $u_i$  и конец  $v_i$  каждой дуги  $r_i$ , а также их пропускные способности  $c_i$  указаны в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Характеристики ребер и тяготеющих пар

$r_i(u_i, v_i)$	$c_i$	$r_i(u_i, v_i)$	$c_i$	$p_i(s_i, t_i)$	$d_i$
$r_1(1,2)$	200	$r_{10}(2,1)$	190	$p_1(1,5)$	150
$r_2(2,3)$	220	$r_{11}(3,2)$	280	$p_2(1,6)$	100
$r_3(2,4)$	250	$r_{12}(4,2)$	290	$p_3(7,2)$	50
$r_4(2,7)$	200	$r_{13}(7,2)$	210	$p_4(8,3)$	100
$r_5(2,8)$	250	$r_{14}(8,2)$	270	$p_5(5,1)$	110
$r_6(3,5)$	260	$r_{15}(5,3)$	290	$p_6(2,4)$	70
$r_7(3,6)$	300	$r_{16}(6,3)$	210	$p_7(5,1)$	140
$r_8(3,7)$	210	$r_{17}(7,3)$	200	$p_8(2,7)$	100
$r_9(6,8)$	230	$r_{18}(8,6)$	240		

Через граф необходимо пропустить многопродуктовый поток, в наибольшей степени выполняющий запросы 8-ми тяготеющих пар  $p_i$ , источники  $s_i$ , стоки  $t_i$  и требования  $d_i$  которых приведены в табл. 3.1.

Было проведено 20 численных экспериментов, усредненные результаты которых показаны на рисунках 3.2, 3.3. В экспериментах размер популяции составлял 50 особей, время эволюционного поиска равно 150 популяций.

Полученный поток представлен в табл. 3.2, где  $w_i$  – путь для соответствующей тяготеющей пары. Наименьший соотношением поток/запрос ( $z_i/d_i=75,82\%$ ) обладает пара №7.

Таблица 3.2 – Найденные пути и величины потоков

$p_i(s_i, t_i)$	$w_i$	$z_i$	$z_i/d_i$ (%)
$p_1(1,5)$	1-2-6	117,10	78,07%
$p_2(1,6)$	1-4-17-7	82,44	82,44%
$p_3(7,2)$	17-7-9-14	55,97	111,93%

$p_4(8,3)$	18-16	108,76	108,76%
$p_5(5,1)$	15-11-10	83,54	75,95%
$p_6(2,4)$	3	80,53	115,05%
$p_7(5,1)$	15-7-9-14-10	106,15	75,82%
$p_8(2,7)$	5-18-16-8	98,83	98,83%

На рисунке 3.2 показана динамика изменения популяций в ходе эволюционного поиска. Изображенные кривые  $y=0$ ,  $y=10$  и т. д. соответствуют значениям функции выживаемости  $F'(f_y^i)$  для  $i$ -той особи в  $y$ -той популяции. В начале поиска значения намного меньше 0, что обусловливается большими значениями функции штрафа за нарушение условий (3.1, 3.2). В процессе эволюции отбираются особи с наименьшим штрафом. После пересечения нулевого уровня отбор ведется по наибольшему значению критерия (3.3). Анализ результатов проведенного эксперимента, представленных на рисунке 3.2, показал, что постепенно состав популяции выравнивается.

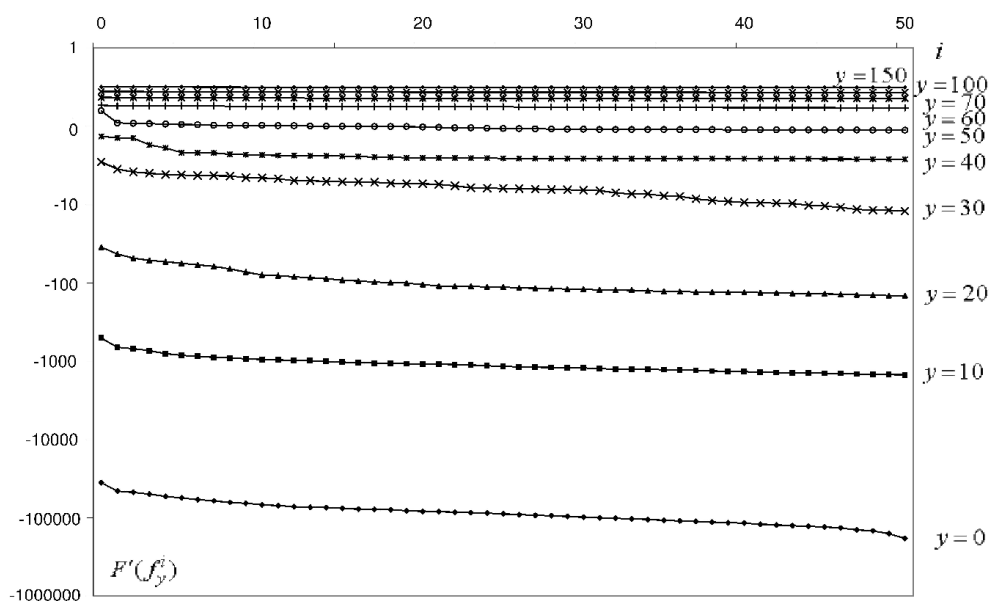


Рисунок 3.2 – Динамика изменения особей в популяциях

На рисунке 3.3 показана динамика изменения значения  $F'(f)$  для наилучшей особи  $f^{opt}$  в популяции  $y$ . После преодоления 0-го барьера поиск замедляется, есть несколько протяженных «плато», а улучшения функции выживаемости происходит скачкообразно. Это является следствием малых значений вероятностей кроссовера и мутации на данном этапе поиска.

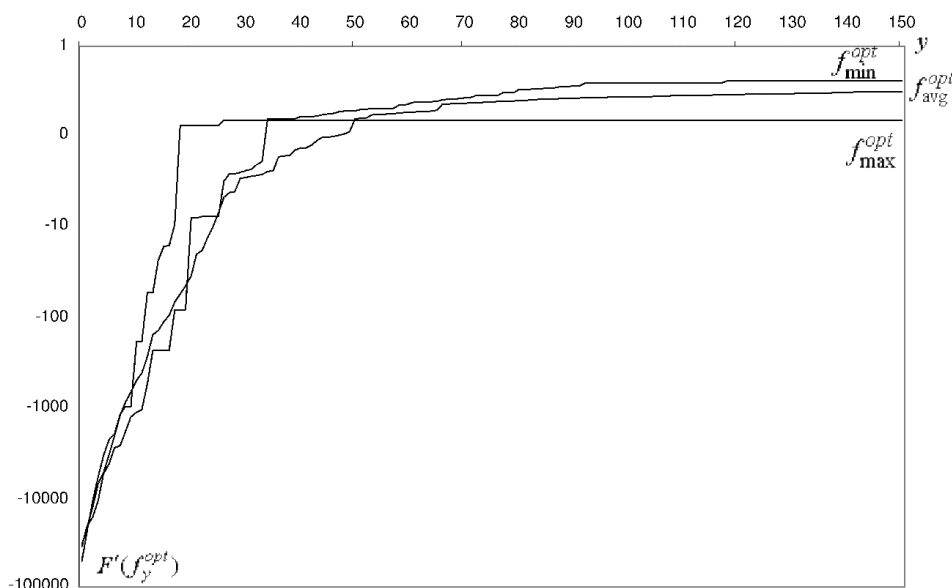


Рисунок 3.3 – Динамика изменения лучшего решения в популяции

Проведенные эксперименты показали работоспособность алгоритма и пригодность его для поиска решения. Данный алгоритм будет нами использован при построении процедурных моделей поиска уровней обеспеченности при четких и нечетких данных.

### 3.2 Процедурная модель формализации неопределенности информации о параметрах сетевой информационной системы с использованием нечетких LR-Чисел

Функция (2.11) многоэкстремальна, поэтому для поиска глобального минимума необходимо осуществлять поиск из различных точек для определения локальных оптимумов, среди которых далее выбрать глобальный. Очевидно, что при непосредственном использовании функции (2.11) в расчетах вычислительные мощности будут использованы нерационально, т.к. при изменении параметров функций (2.8) для левой части также будут пересчитываться все правые части искомых LR-чисел и наоборот, а при изменении параметров  $m_v, l_v, r_v, v = 1, \dots, |V|$  будут пересчитываться все числа.

Более эффективна следующая схема вычислений. Поиск осуществляется в три основных этапа: 1) расчет значений функции (2.11) отдельно для левых и

правых частей; 2) комбинирование полученных левых и правых частей  $LR$ -чисел и определение точек-претендентов на глобальный оптимум; 3) поиск методом многомерной оптимизации из точки-претендента. Для осуществления такой схемы представим оптимизационную задачу  $F(Z) \rightarrow \min_Z$  в виде:

$$\begin{aligned} & \min_{l1 \in [1; |L1|]} \min_{l2 \in [1; |L2|]} \sum_{v=1}^{|V|} \min_{ml \in [1; |M_v|]} \min_{l \in [1; |L_v|]} \sum_{j=1}^{jm_v} \left( \left( 1 - \left( \frac{M_{v,ml} - x_{v,j}}{L_{v,l}} \right)^{L1_{l1}} \right)^{L2_{l2}} - h_{v,j} \right)^2, \\ & + \min_{r1 \in [1; |R1|]} \min_{r2 \in [1; |R2|]} \sum_{v=1}^{|V|} \min_{mr \in [1; |M_v|]} \min_{r \in [1; |R_v|]} \sum_{j=jm_v+1}^{s_v} \left( \left( 1 - \left( \frac{x_{v,j} - M_{v,mr}}{R_{v,r}} \right)^{R1_{r1}} \right)^{R2_{r2}} - h_{v,j} \right)^2 \end{aligned} \quad (3.10)$$

при условии  $ml_v = mr_v, v \in [1; |V|]; M_{v,ml} > L_{v,l}$ ,

где  $L1, L2$  и  $R1, R2$  – множества используемых для построения стартовых точек метода оптимизации значений коэффициентов  $kl1, kl2$  и  $kr1, kr2$  функций  $LF(x, kl1, kl2)$  и  $RF(x, kr1, kr2)$  соответственно;  $M_v, L_v, R_v$ , – множества используемых значений для параметров  $v$ -го  $LR$ -числа,  $v = 1, \dots, |V|$ ;  $l1, l2, r1, r2$  – индексы значений коэффициентов функций (2.8) из множеств  $L1, L2, R1, R2$ ;  $ml, mr$  – индексы значений из множеств  $M_v, v = 1, \dots, |V|$ , используемые при расчете левых и правых частей  $LR$ -чисел соответственно;  $l, r$ -индексы значений из множеств  $L_v, R_v, v = 1, \dots, |V|$ , соответственно.

На рисунке 3.4 приведена обобщенная процедурная модель. В блоке 2 для каждого параметра применяется сглаживающая функция и определяется оптимальное количество столбцов гистограммы плотности распределения, в блоках 3 и 4 вычисляются оптимальные значения коэффициентов выражения (3) для левых и правых частей, которые в блоке 7 объединяются в  $LR$ -число. В блоке 11 выполняется расчет коэффициентов  $LR$ -чисел информационных потоков с учетом ограничений на них, которые в дальнейшем используются для определения оптимального распределения информационных потоков.





Рисунок 3.4 – Процедурная модель определения коэффициентов LR-чисел, соответствующих параметрам СИС

На рисунке 3.5 приведено подробное описание предлагаемой процедурной модели.

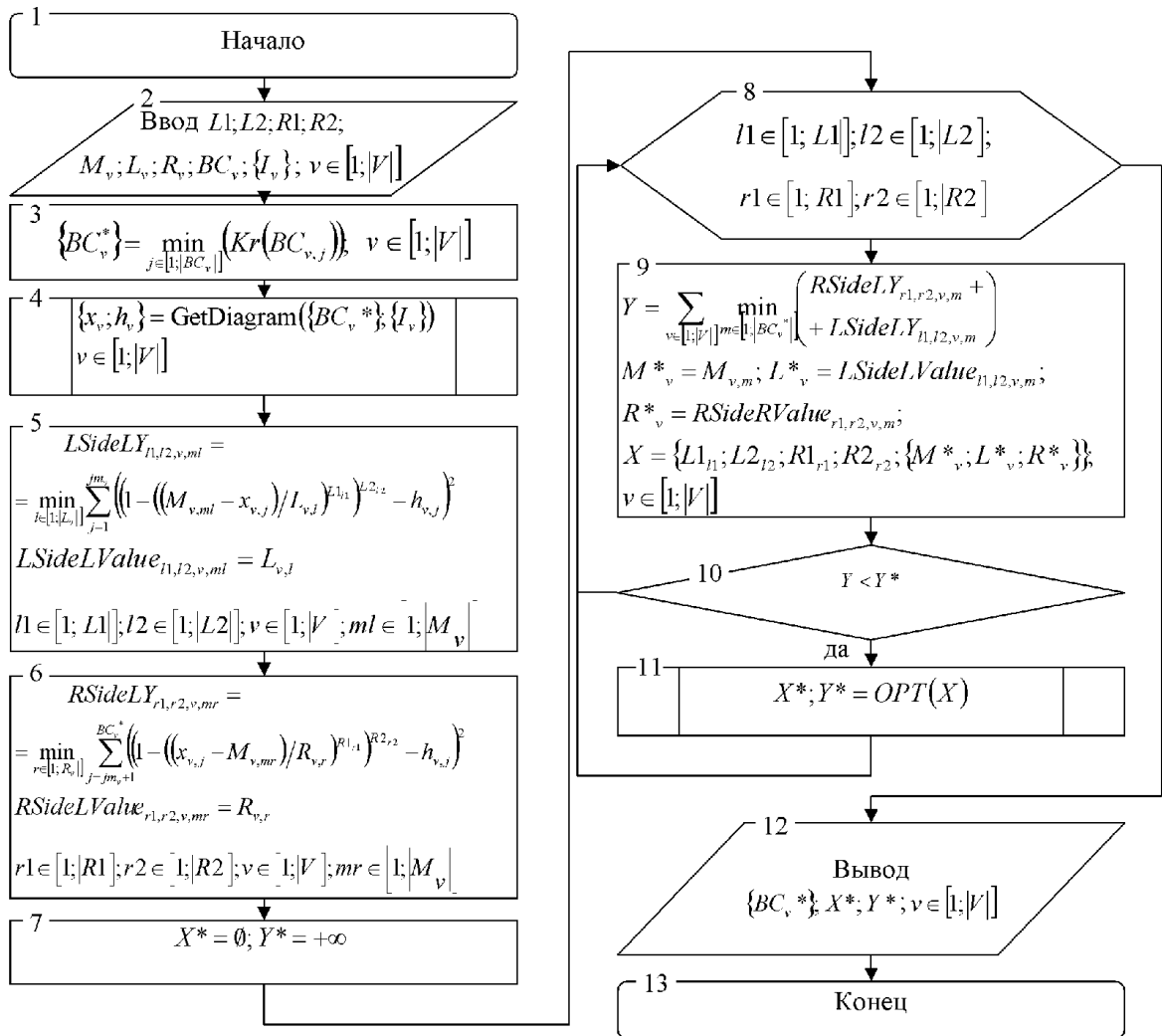


Рисунок 3.5 – Процедурная модель формализации неопределенности информации о параметрах сетевой информационной системы с использованием нечетких LR-Чисел

1. Начало работы алгоритма.
2. Ввод множества  $L1$ , содержащего опорные точки из интервала  $[L1; \bar{L1}]$  с шагом  $dL1$ , множеств  $L2; R1; R2;$ , определенных аналогично; множеств измеренных значений входных переменных  $\{I_v\}; v \in [1; |V|]$ ; множеств  $M_v; L_v; R_v$ , содержащих опорные значения для параметров нечетких чисел;  $BC_v$  – максимальных значений для количества столбцов в диаграмме.
3. С помощью критерия (2.10) определяется оптимальное количество столбцов диаграммы  $BC_v^*$  для каждой переменной.
4. Строятся диаграммы плотности распределения для каждой переменной и

определяются множества  $\{x_v; h_v\}$ , где  $x_v$  – множество середин ширин прямоугольников,  $h_v$  – множества высот прямоугольников.

5,6. Определяются значения  $L$  и  $R$ , нечетких чисел для опорных точек, а также соответствующие им оптимальные значения выражения (2.9), отдельно для левых и правых частей нечетких чисел.

7. Инициализируются значение глобального минимума  $Y^*$  и соответствующего ему значений переменных  $X^*$ .

8. Инициализируются вложенные циклы по переменным  $L1, L2, R1, R2$ .

9. Для каждой переменной объединением левых и правых частей при одинаковых  $M$  определяются такие  $M, L, R$ , при которых сумма по всем переменным минимальна. Определяется вектор переменных как совокупность параметров функции принадлежности  $lk1, lk2, rk1, rk2$  и параметров нечетких чисел  $M, L, R$  для использования на дальнейших этапах.

10. Если значение  $Y$  меньше текущего значения глобального минимума, переход к п. 11, иначе – к п. 8

11. Методом многомерной оптимизации из стартовой точки  $X$  определяем точку локального минимума и значение функции (3.10) в ней, которые становятся значениями глобального минимума. В данной статье были использованы реализованный авторами метод покоординатного спуска и метод Левенберга-Марквардта из библиотеки алгоритмов [83].

12. Осуществить вывод найденных оптимального количества столбцов для диаграмм, точки глобального максимума и соответствующего ей значения функции.

13. Конец работы.

Для проверки работы процедурной модели была собрана статистика использования пропускной способности четырех интерфейсов, скорость передачи информации составила  $A0 \approx 850KB/c$ ,  $A1 \approx 550KB/c$ ,  $A2 \approx 350KB/c$ ,  $A3 \approx 150KB/c$ . (рисунок 3.6). Измерения производились на компьютерах с установленными ОС Windows версий XP-7 с помощью входящего в стандартный комплект системных

утилит системного монитора.

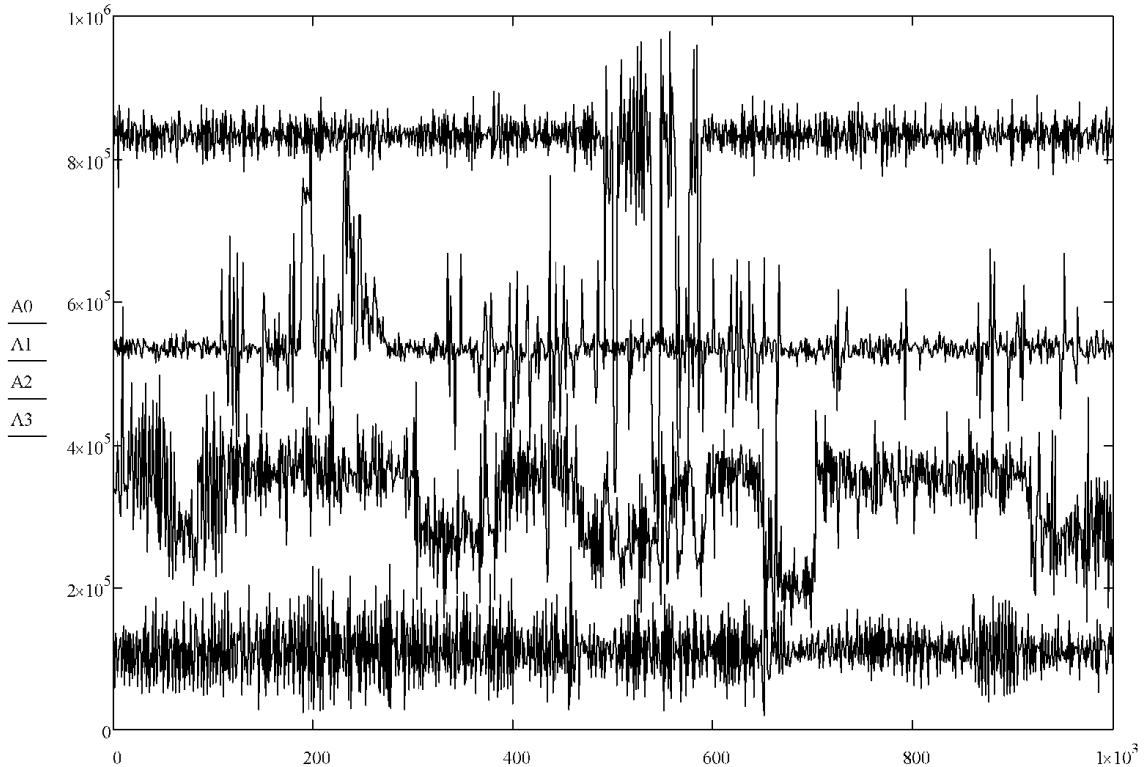


Рисунок 3.6 – Исходные данные

Множества в (3.10) были определены следующим образом: для каждого из множеств  $A_0, A_1, A_2, A_3$  определялось среднее значение  $\bar{A}_v$ , и среднее отклонение от среднего значения в меньшую и большую стороны  $A_v^L$  и  $A_v^R$  соответственно,  $v=0\dots3$ . Затем определялись множества  $M_v = [\bar{A}_v - A_v^L; \bar{A}_v + A_v^R]$ ;  $L_v = [0; \bar{A}_v - A_v^L]$ ;  $R_v = [\bar{A}_v; (\bar{A}_v + A_v^R) \cdot k]$ ;  $k=1.5$ .  $L_1 = L_2 = R_1 = R_2 = [0.1; 10.0]$ ;  $|L_1| = |L_2| = |R_1| = |R_2| = 30$ ;  $|M_v| = 100; |L_v| = |R_v| = 30; v=0\dots3$ .

Полученные в результате оптимизации  $LR$ -числа, соответствующие входным временным рядам, представлены на рисунках 3.7, 3.8, где на рисунках а), б), в), г) представлены найденные оптимальные нормализованные гистограммы и нечеткие  $LR$ -числа  $A_{0LR}, A_{1LR}, A_{2LR}, A_{3LR}$ , соответствующие входным измеренным значениям  $A_0, A_1, A_2, A_3$ . Для представленных на рисунке 3.7  $LR$ -чисел количество вызовов алгоритма по координатного спуска составило 18, суммарное время работы алгоритма – 258 мс, оптимальное значение выражения (3.10) составило 0,1671; параметры функции принадлежности (2.9):

$l1 = 2,2355; l2 = 4,2016; r1 = 3,0742; r2 = 0,7387$

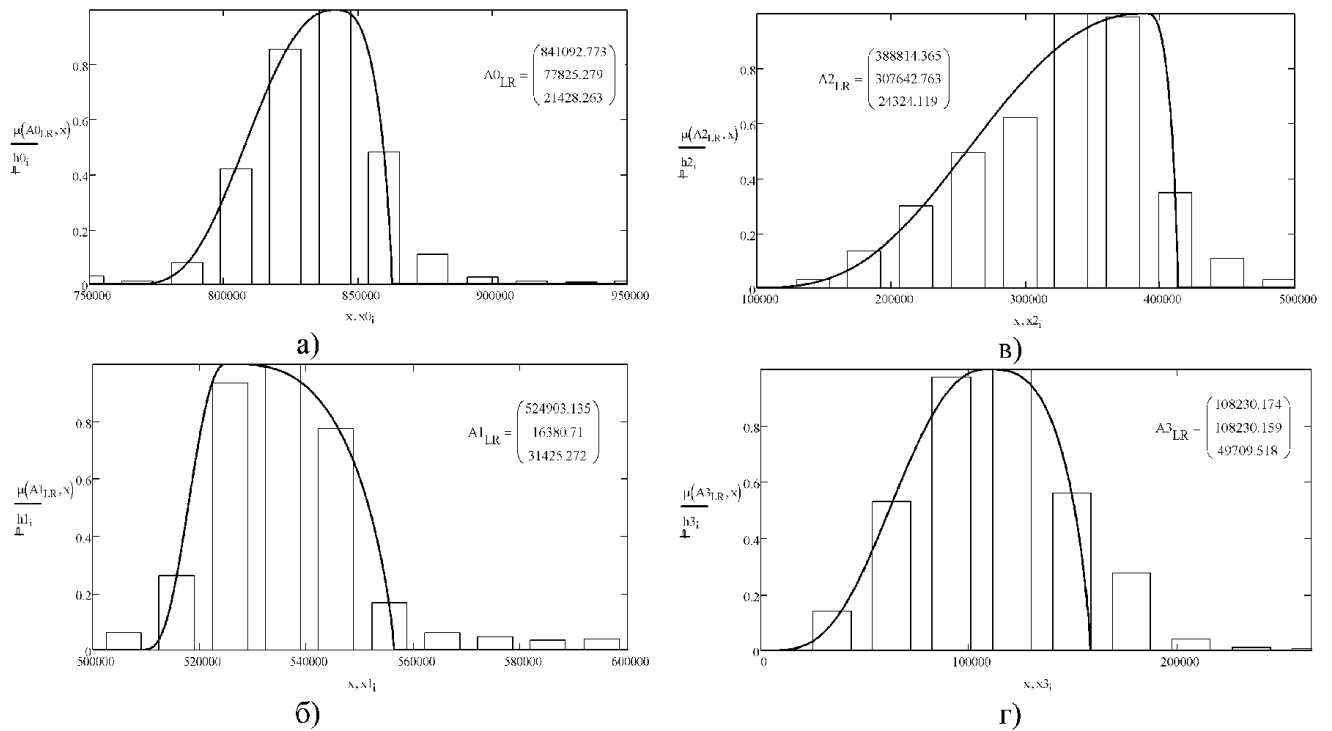


Рисунок 3.7 – Результат оптимизации методом покоординатного спуска

Для алгоритма Левенберга-Марквардта (рисунок 3.8) количество вызовов алгоритма 18, суммарное время работы алгоритма – 675 мс, оптимальное значение выражения (3.10) составило 0,1439; параметры функции принадлежности (2.9):  $l1 = 0,7130; l2 = 0,9529; r1 = 4,4934; r2 = 3,2302$ .

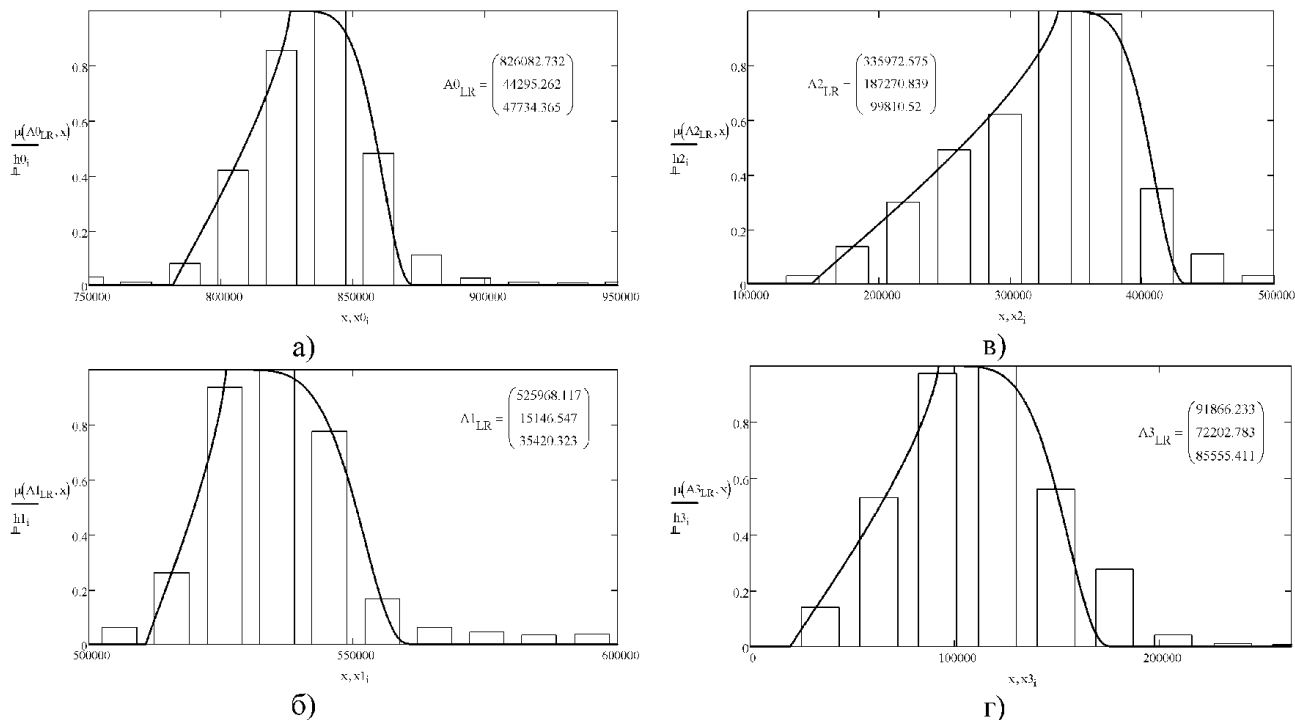


Рисунок 3.8 – Результат оптимизации методом Левенберга-Марквардта

Предложенная процедурная модель содержит последовательности однотипных действий с большим объемом данных, поэтому она может быть выполнена в параллельном режиме. Данная процедурная модель была реализована на языке C# 4.0 в среде Microsoft Visual Studio 2010 Express, в двух видах: однопоточном и многопоточном, с использованием возможности параллельного исполнения циклов *Parallel.For* языка программирования [95]. При выполнении программы на ПК с 4-ядерным процессором Intel Core 2 Quad Q8400 время многопоточной реализации было в 3-3.5 раза меньше однопоточного и составило: 2,85 с. против 9,42 с. при расчете параметров левых частей (блок 5 рисунка 3.5) и 2,78 с. против 9,61 с. для правых частей (блок 6 рисунка 3.5); 8,03 с. против 24,77 с. на этапе объединения левых и правых частей нечетких чисел и определения совокупностей оптимальных параметров  $M, L, R$  (блок 9 рисунка 3.5), ресурсы процессора использовались полностью. Очевидно, при использовании более производительных средств параллельной обработки данных, например, технологии CUDA, работа модели может быть еще ускорена [111].

Следует заметить, что функции принадлежности с параметрами, найденными в процессе оптимизации, не полностью соответствуют наиболее часто используемым треугольным  $LR$ -числам, при использовании которых минимум значения функции (3.10) составил 0.24, это говорит о том, что использование предложенной функции принадлежности позволяет более точно передать исходные временные ряды.

Представленная процедурная модель формализации неопределенности информации о параметрах сетевой информационной системы с использованием нечетких LR-Чисел будет нами использована при построении процедурных моделей поиска уровней обеспеченности при четких и нечетких данных.

### **3.3 Процедурная модель распределения информационных потоков в сетевой информационной системе в детерминированных условиях**

Для решения задачи определения уровней обеспеченности требований

пользователей используем вполне полиномиальную аппроксимационную схему (FPTAS) [92, 102], которая состоит из последовательности этапов, отображенных на рисунке 3.9: фаза, в течение которой распределяется  $d_i; i=1...m$  количество потока для всех пар; фаза состоит из итераций.

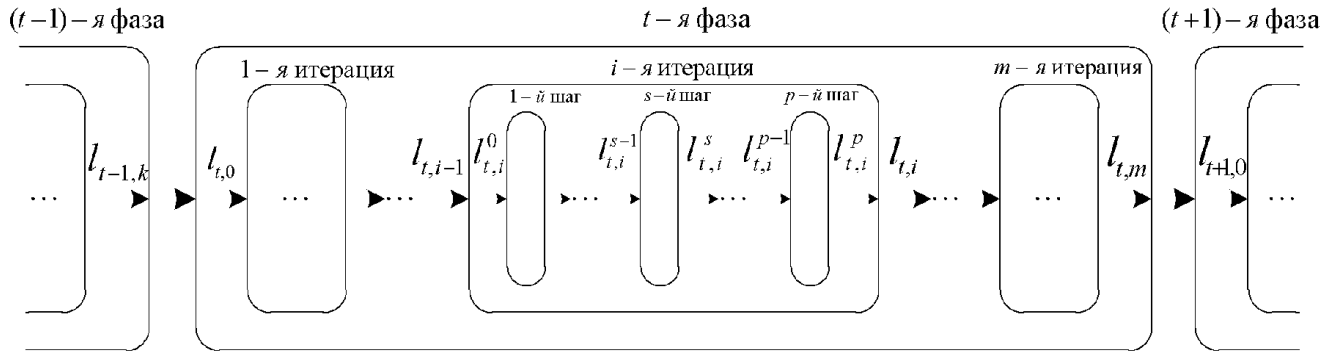


Рисунок 3.9 – Схема работы алгоритма FPTAS для задачи MCFP

В ходе выполнения  $i$ -той итерации распределяется количество потока, равное  $d_i, i=1, \dots, m$  для текущей  $i$ -той тяготеющей пары, итерация состоит из шагов. В течение шага вначале определяется кратчайший путь между источником и стоком  $i$ -той тяготеющей пары, затем определяется минимальная пропускная способность  $u$  среди дуг этого пути, и происходит пропуск количества потока  $d_i$ , но не превосходящего  $u$ , после чего длина всех дуг данного маршрута увеличивается пропорционально пропущенному через них потоку. Обозначение  $l_{t,i}^s$  соответствует значению длин дуг на  $s$ -м шаге  $i$ -той итерации  $t$ -й фазы. Если требование тяготеющей пары выполнено не полностью, то его остаток распределяется на последующих шагах  $i$ -той итерации. Количество шагов различно для каждой итерации и зависит от потребности тяготеющей пары и имеющейся пропускной способности дуг СИС. Как следует из процедурной модели, представленной на рисунке 3.10, она определяет значение  $\theta$ , одинаковое для всех тяготеющих пар, т.е. условие  $\forall j: \sum_{P \in P_i} f(P) \geq \theta \cdot d_i$  в (2.14) заменяется равенством  $\forall j: \sum_{P \in P_i} f(P) = \theta \cdot d_i$ .

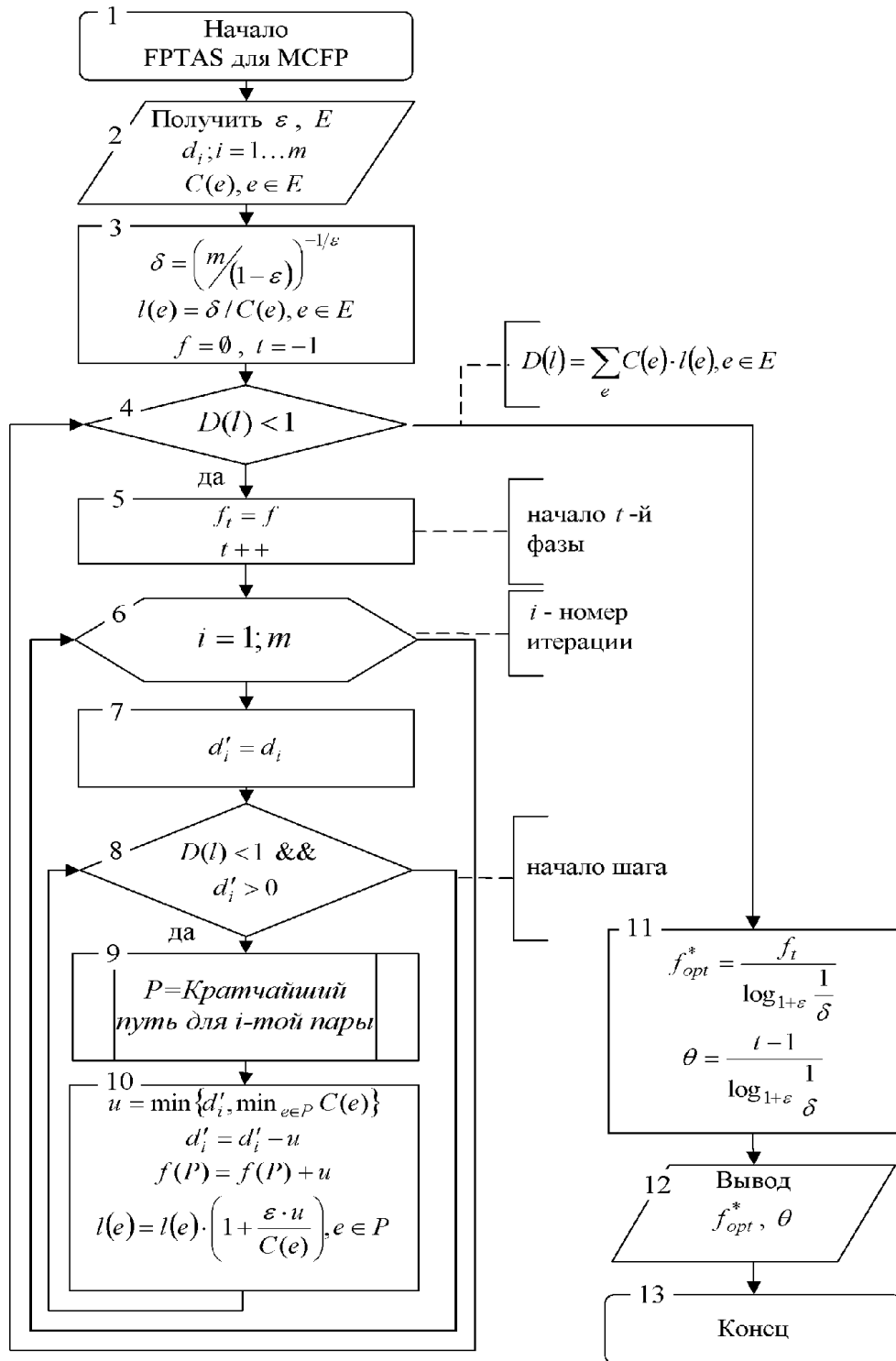


Рисунок 3.10 – Процедурная модель FPTAS для задачи MCFP

Алгоритм FPTAS для максимального конкурентного потока позволяет найти значение обеспеченности для текущих параметров СИС. Поскольку наличие узких мест не позволяет алгоритму определить более высокие значения обеспеченности для тяготеющих пар, не проходящих через узкие места, необходимо циклически повторять процедуру поиска, исключая после каждого



шага узкие места (дуги) и те тяготеющие пары, которые после удаления дуг не имеют более маршрутов от источника к стоку.

Нами предлагается следующая процедурная модель распределения информационных потоков в СИС, представленная на рисунке 3.11.

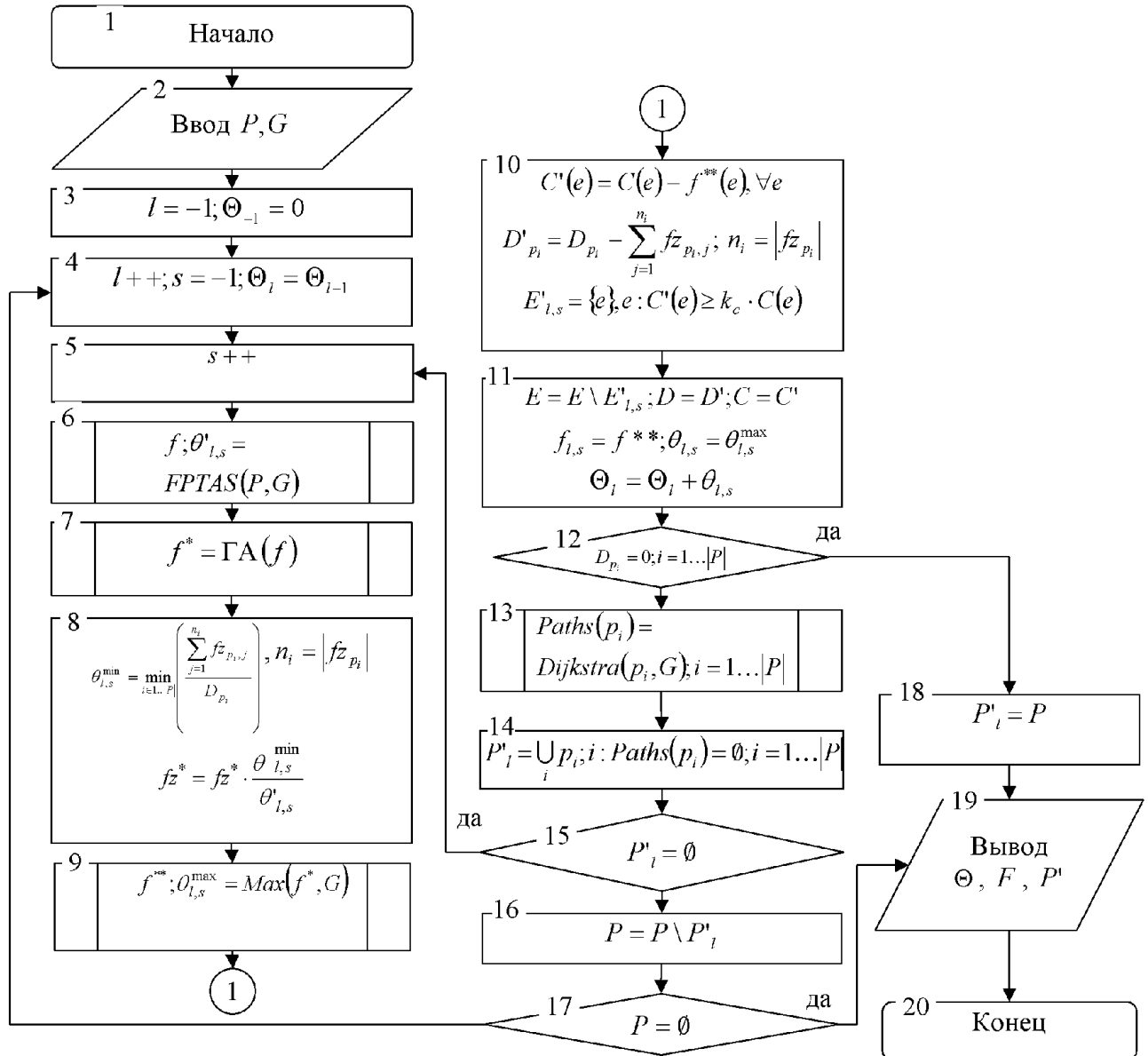


Рисунок 3.11 – Процедурная модель распределение информационных потоков в СИС.

Описание процедурной модели:

1. Начало работы.
2. Ввод исходных данных. Получить данные о структуре графа  $G = \langle V, E \rangle$  и  $P$ .

$P$ .

3. Инициализировать номер текущего уровня обеспеченности  $l$  и соответствующее значение обеспеченности  $\Theta_l$ .

4. Увеличить номер текущего искомого уровня обеспеченности  $l$  на 1, инициализировать соответствующий уровень обеспеченности  $\Theta_l$  и номер этапа  $s$ .

5. Увеличить номер этапа  $s$ .

6. Методом FPTAS найти распределение потоков по СИС  $f$  и соответствующий ему уровень обеспеченности  $\theta'_{0,0}$  (рисунок 3.12, а) для текущих значений множеств  $P, V, E$ . На диаграммах, изображенных на рисунке 3.12, столбцы соответствуют тяготеющим парам, зоны с разным типом штриховки соответствуют потокам, переносящим в СИС продукт тяготеющей пары. Высота столбца соответствует уровню обеспеченности. Ситуация окончания работы FPTAS означает, что были исчерпаны ресурсы пропускной способности одной или более дуг. Поскольку ресурс остальных дуг использован не полностью, значение обеспеченности для них может быть увеличено.

7. Производим отбор потоков для каждой тяготеющей пары, которые будут использованы далее. Отбор осуществляется генетическим алгоритмом. Весовая функция ГА может учитывать различные параметры потоков: их количество для тяготеющей пары, величину продукта в каждом потоке, количество дуг в маршруте и т.д., отсеивая непригодные потоки.

8. После отсева определяется минимальное значение  $\theta_{0,0}^{\min}$  среди значений для всех тяготеющих пар (рисунок 3.12, б), далее значения отобранных потоков пропорционально уменьшаются так, чтобы сумма всех потоков для каждой пары была равна  $\theta_{0,0}^{\min}$ , рисунок 3.12, в).

9. Поскольку часть ресурса дуг после проведенных действий высвобождается, увеличиваем значения потоков, пока пропускная способность одной или нескольких дуг снова не будет исчерпана, на уровне  $\theta_{0,0}^{\max}$  рисунок 3.12, г).

10. Для полученного распределения потоков определяем обеспеченности. Вычисляем значения остаточной пропускной способности  $C(e)$  дуг,  $D'$  –

остаточные (невыполненные) требования тяготеющих пар и  $E'_{l,s}$  – множество дуг, пропускные способности которых исчерпаны.

11. Удаляем из множества дуг  $E$  дуги с исчерпанными пропускными способностями  $E'_{l,s}$ , запоминаем промежуточные результаты.

12. Если требования всех тяготеющих пар выполнены, то поиск окончен, перейти к п. 18; иначе – к п. 13.

13. Определяем множество путей  $Paths$  для множества тяготеющих пар  $P$ .

14. Определяем множество  $P'_l$  пар, для которых не существует путей маршрутов от источника к стоку.

15. Осуществляем проверку, существуют ли для тяготеющих пар маршруты между источником и стоком. Если множество  $P'_l$  пусто, то для всех пар маршруты существуют, осуществляется переход к п. 5 и снова производится поиск  $\theta$  и отбор ГА (в результате чего будет получено значение  $\theta_{0,1}^{\max}$ , рисунок 3.12, д). Если для одной или более пар после удаления дуг маршрутов между источником и стоком нет, это означает, что для них достигнут уровень обеспеченности требований (на рисунке 3.12, д для пар №№ 2,4 найден обеспеченности.  $\Theta_0 = \theta_{0,0}^{\max} + \theta_{0,1}^{\max}$ ), переход к п. 16.

16. Удаляем из множества тяготеющих пар  $P$  пары, для которых в информационном графе отсутствуют пути.

17. Если оставшееся множество тяготеющих пар  $P$  не пустое, переходим к п.4 и осуществляем поиск обеспеченности для следующего уровня ( $\Theta_1$  на рисунке 3.12, е), иначе к п. 19.

18. Принимаем множество пар последнего уровня обеспеченности равным множеству тяготеющих пар последнего этапа.

19. Выводим найденные распределения потоков  $F$ , множества пар с уровнем обеспеченности каждого уровня  $P'$  и значения обеспеченности для всех уровней  $\Theta$ .

20. Конец работы.

Работа процедурной модели будет продолжаться, пока не будут исчерпаны

ресурсы всех дуг, по которым могут пройти пути передачи потоков тяготеющих пар.

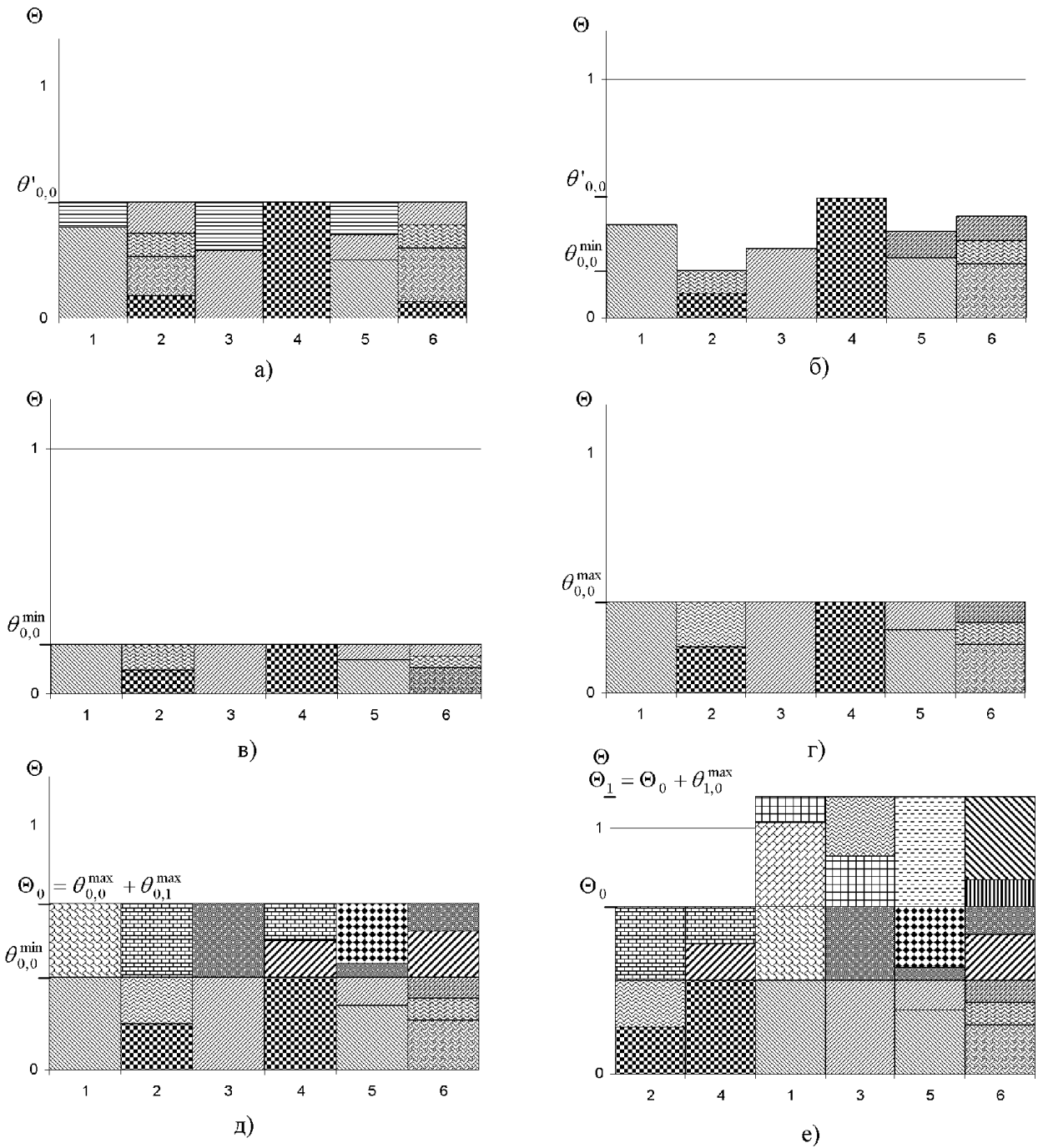


Рисунок 3.12 – Последовательность выполнения процедурной модели распределения информационных потоков в СИС.

Предлагаемая процедурная модель позволяет найти уровни обеспеченности требований  $\theta_l$ , распределения потоков для каждого уровня обеспеченности  $f_l$ . Эта информация показывает, насколько будут выполнены требования

пользователей, где будут находиться узкие места СИС  $E_i$ , наращивание пропускных способностей которых позволит увеличить долю выполнения заявок пользователей СИС.

### 3.4 Процедурные модели распределения информационных потоков в сетевой информационной системе в нечетких условиях

Как упоминалось ранее, для процессов, протекающих в СИС при передаче информационных потоков, характерна неопределенность. Для ее учета предлагается использовать нечеткие LR-Числа. Тогда в процессе выполнения процедурных моделей необходимо выполнять проверки на неперевышение суммарным информационным потоком, проходящим по элементу структуры СИС, его пропускной способности.

Для сравнения LR-чисел используем функцию ранжирования нечетких чисел[114]:

$$\mathfrak{R}(\tilde{A}) = \int_0^{\alpha_{\max}} M(\tilde{A}_\alpha) d\alpha, \quad (3.11)$$

где  $M(\tilde{A}_\alpha)$  – центр  $\alpha$ -уровня  $\tilde{A}_\alpha$  нечеткого числа  $\tilde{A}$ , для нечеткого LR-числа  $\tilde{A}_{LR}$ ,  $M(\tilde{A}_{LR_\alpha}) = \frac{(m_A - \alpha_A \cdot L^{-1}(\alpha)) + (m_A + \beta_A \cdot R^{-1}(\alpha))}{2}$ ;  $\alpha_{\max} = 1$  для нормального LR-числа.

Таким образом, (3.11) примет вид:

$$\mathfrak{R}(\tilde{A}_{LR}) = m_A - \frac{1}{2} \cdot \left( \alpha_A \cdot \int_0^1 (L^{-1}(\alpha)) d\alpha - \beta_A \cdot \int_0^1 (R^{-1}(\alpha)) d\alpha \right). \quad (3.12)$$

Значения определенных интегралов в (3.12) являются характеристиками используемых в конкретной задаче для представления LR-чисел функций  $L(x)$ ,  $R(x)$  и, следовательно, одинаковы для всех чисел задачи.

Введем обозначения:  $I_L = \int_0^1 (L^{-1}(\alpha)) d\alpha$ ,  $I_R = \int_0^1 (R^{-1}(\alpha)) d\alpha$ , тогда

$$\mathfrak{R}(\tilde{A}_{LR}) = m_A - \frac{1}{2} \cdot (\alpha_A \cdot I_L - \beta_A \cdot I_R) \quad (3.13)$$

Для случая симметричного LL-числа получим:

$$I_L = I_R = I_{LR} \Rightarrow \mathfrak{R}(\tilde{A}_{LR}) = m_A - \frac{I_{LR}}{2} \cdot (\alpha_A - \beta_A)$$

Для случая симметричного треугольного числа:

$$I_L = I_R = \frac{1}{2} \Rightarrow \mathfrak{R}(\tilde{A}_{LR}) = m_A - \frac{1}{4} \cdot (\alpha_A - \beta_A)$$

Для решения предлагается использовать аппроксимационный алгоритм

FPTAS [92, 102].

Рассмотрим процедурную модель определения уровней обеспеченности в нечетких условиях, представленную на рисунке 3.13.

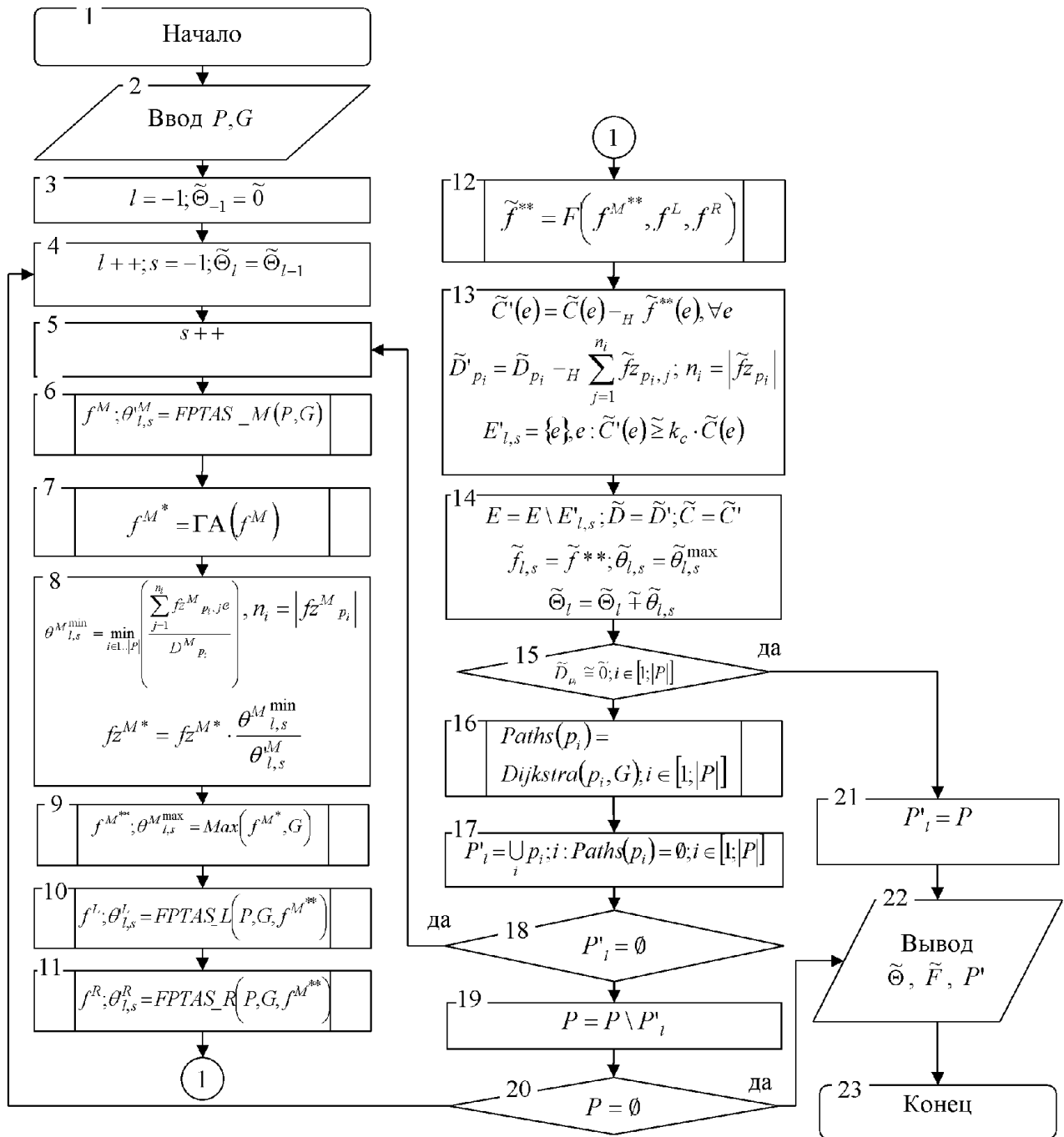


Рисунок 3.13 – Процедурная модель распределения информационных потоков в СИС при нечетких данных

1. Начало работы.
2. Ввод исходных данных. Получить данные о структуре графа  $G = \langle V, E \rangle$  и

$P$ .

3. Инициализировать номер текущего уровня обеспеченности  $l$  и соответствующее значение обеспеченности  $\tilde{\Theta}_l$ .

4. Увеличить номер текущего уровня обеспеченности  $l$  на 1, инициализировать соответствующий уровень обеспеченности  $\tilde{\Theta}_l$  и номер этапа  $s$ .

5. Увеличить номер этапа  $s$ .

6. Методом FPTAS найти распределение потоков по СИС  $f^M$  и соответствующий ему уровень обеспеченности  $\theta^{M}_{l,s}$  для текущих значений множеств  $P, V, E$ .

7. Производим отбор потоков для каждой тяготеющей пары, которые будут использованы далее. Отбор осуществляется генетическим алгоритмом. Весовая функция ГА может учитывать различные параметры потоков: их количество для тяготеющей пары, величину продукта в каждом потоке, количество дуг в маршруте и т.д., отсеивая непригодные потоки.

8. После отсева определяется минимальное значение  $\theta^{M \min}_{l,s}$  среди значений для всех тяготеющих, далее значения отобранных потоков пропорционально уменьшаются так, чтобы сумма все потоков для каждой пары была равна  $\theta^{M \min}_{l,s}$ .

9. Поскольку часть ресурса дуг после проведенных действий высвобождается, увеличиваем значения потоков, пока пропускная способность одной или нескольких дуг снова не будет исчерпана, на уровне  $\theta^{M \max}_{l,s}$ .

10, 11. Методом FPTAS определяем распределение параметров нечеткости по СИС для левых и правых параметров нечеткости, в качестве возможных путей для тяготеющих пар рассматриваются только отобранные после этапа 7 маршруты в распределении потоков  $f^{M**}$ .

12. Осуществляем корректировку найденных решений и формируем LR-решение. Описание процедуры корректировки дано далее.

13. Для полученного распределения потоков определяем обеспеченности, вычисляем значения остаточной пропускной способности  $\tilde{C}(e)$  дуг,  $\tilde{D}'$  – остаточные (невыполненные) требования тяготеющих пар и  $E'_{l,s}$  – множество дуг, пропускные способности которых исчерпаны.



14. Удаляем из множества дуг  $E$  дуги с исчерпанными пропускными способностями  $E'_{l,s}$ , запоминаем промежуточные результаты.

15. Если требования всех тяготеющих пар выполнены, то поиск окончен, перейти к п. 21; иначе – к п. 16.

16. Определяем множество путей  $Paths$  для множества тяготеющих пар  $P$ .

17. Определяем множество  $P'_l$  пар, для которых не существует путей маршрутов от источника к стоку.

18. Осуществляем проверку, существуют ли для тяготеющих пар маршруты между источником и стоком. Если множество  $P'_l$  пусто, то для всех пар маршруты существуют, осуществляется переход к п.5. Если для одной или более пар после удаления дуг маршрутов между источником и стоком нет, это означает, что для них достигнут уровень обеспеченности требований, переход к п. 19.

19. Удаляем из множества тяготеющих пар  $P$  пары, для которых в информационном графе отсутствуют пути.

20. Если оставшееся множество тяготеющих пар  $P$  не пустое, переходим к п.4 и осуществляем поиск обеспеченности для следующего уровня, иначе к п. 20.

21. Принимаем множество пар последнего уровня обеспеченности равным множеству тяготеющих пар последнего этапа.

22. Выводим найденные распределения потоков  $\tilde{F}$ , множества пар с уровнем обеспеченности каждого уровня  $P'$  и значения обеспеченности для всех уровней  $\tilde{\Theta}$ .

23. Конец работы.

Работа процедурной модели будет продолжаться, пока не будут исчерпаны ресурсы всех дуг, по которым могут пройти пути передачи потоков тяготеющих пар.

Рассмотрим операцию сравнения значения суммарного протекающего по дуге потока с максимальной пропускной способностью дуги.

Обозначим сумму проходящих по дуге потоков:

$$\tilde{S}_{LR} = (m_S, \alpha_S, \beta_S)_{LR} = \sum_{p \in P} \tilde{f}_p = \left( \sum_{p \in P} m_{f_p}, \sum_{p \in P} \alpha_{f_p}, \sum_{p \in P} \beta_{f_p} \right)_{LR}$$

Для построения допустимого решения необходимо, чтобы было выполнено условие  $\tilde{S}_{LR} \tilde{\leq} \tilde{C}_{LR}$ , где  $\tilde{C}_{LR} = (m_C, \alpha_C, \beta_C)_{LR}$  – пропускная способность дуги.

Как следует из логики работы FPTAS, пропускная способность дуги  $\tilde{C}'_{LR}$ , остающаяся неиспользованной после очередного этапа ее работы, используется на следующих этапах. Для этого необходимо, чтобы она была представлена LR-числом, т.е. чтобы было выполнено условие:

$$\tilde{S}_{LR} \tilde{+} \tilde{C}'_{LR} \tilde{\leq} \tilde{C}_{LR} \Rightarrow (m_S, \alpha_S, \beta_S)_{LR} + (m_C, \alpha_C, \beta_C)_{LR} \tilde{\leq} (m_C, \alpha_C, \beta_C)_{LR} \quad (3.14)$$

Откуда следует, что

$$\tilde{C}'_{LR} = \tilde{C}_{LR} -_H \tilde{S}_{LR} = (m_C - m_S, \alpha_C - \alpha_S, \beta_C - \beta_S)_{LR}, \quad (3.15)$$

где  $-_H$  – обозначение операции вычитания Нукунга для нечетких LR-чисел [89].

Следовательно,  $0 \leq m_S \leq m_C$ ;  $0 \leq \alpha_S \leq \alpha_C$ ;  $0 \leq \beta_S \leq \beta_C$ .

Применив для условия  $\tilde{S}_{LR} \tilde{\leq} \tilde{C}_{LR}$  функцию ранжирования (3.13), получим:

$$2 \cdot (m_S - m_C) - (\alpha_S - \alpha_C) \cdot I_L + (\beta_S - \beta_C) \cdot I_R \leq 0 \quad (3.16)$$

При  $m_S = -\frac{\alpha_C \cdot I_L}{2} + m_C - \varepsilon \leq -\frac{\alpha_C \cdot I_L}{2} + m_C$  получим:

$$-\alpha_S - 2\varepsilon + (\beta_S - \beta_C) \cdot I_R \leq 0 \quad (3.17)$$

Таким образом, при  $m_S \leq -\frac{\alpha_C \cdot I_L}{2} + m_C$  неравенство (3.17) выполняется всегда.

Опишем процедуру корректировки решения, представленную на рисунке 3.14.

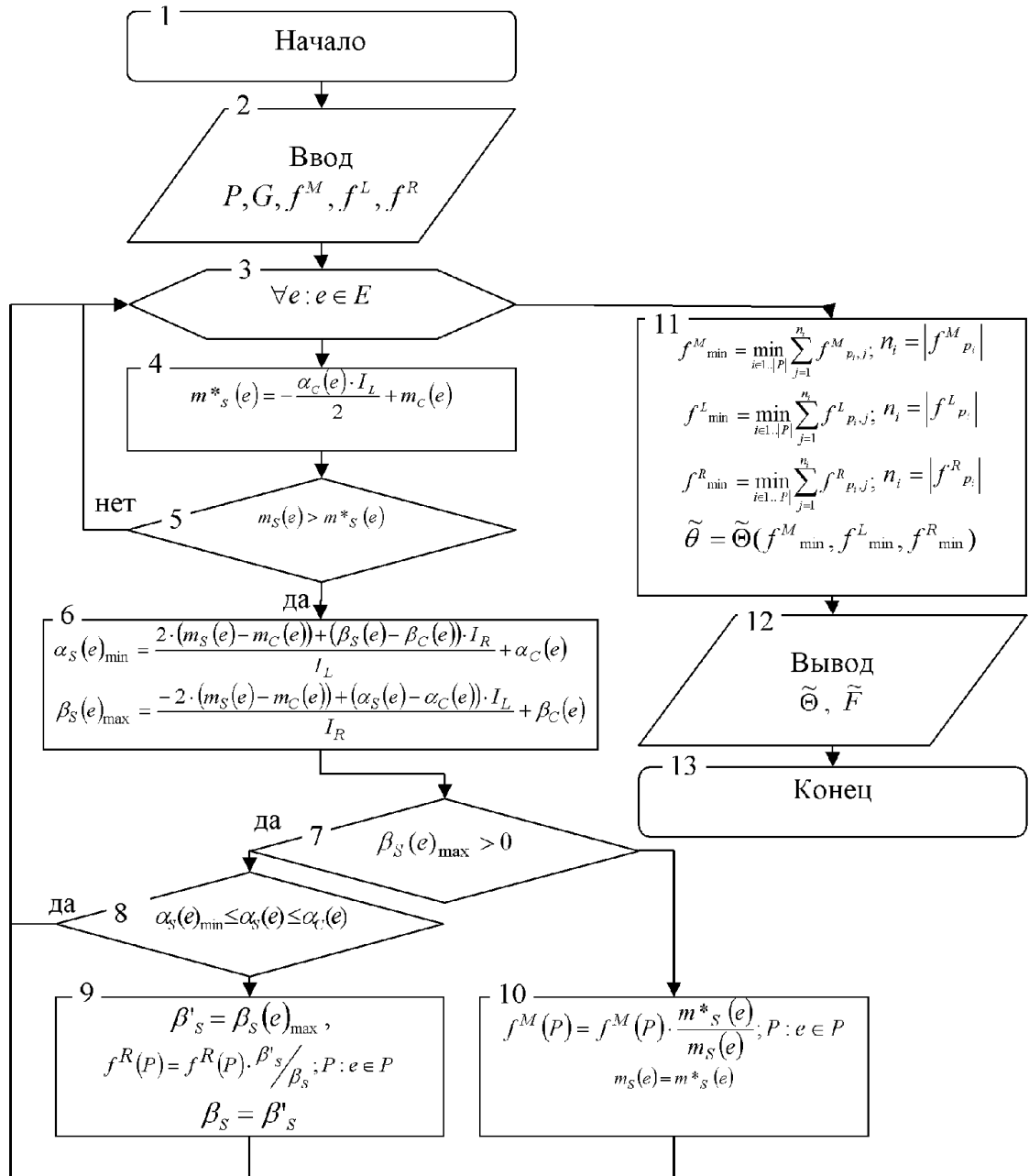


Рисунок 3.14 – Процедурная модель корректировки полученных распределений потоков для составляющих частей LR-чисел

1,2. Начало работы. Получить данные о графе, тяготеющих парах, найденных распределениях потоков для частей M,L,R.

3. Для каждой дуги графа выполнить последовательность действий:

4-10. Вычислить точку равновесия  $m^*_s$ , Если значение  $m_s$  меньше точки равновесия (блок 5), то корректировка не нужна, переход к п. 3. Вычисляем

$$\text{значения } \alpha_S \min = \frac{2 \cdot (m_S - m_C) + (\beta_S - \beta_C) \cdot I_R}{I_L} + \alpha_C, \quad \beta_S \max = \frac{-2 \cdot (m_S - m_C) + (\alpha_S - \alpha_C) \cdot I_L}{I_R} + \beta_C.$$

(блок 6). Если условия  $\alpha_S \min \leq \alpha_S \leq \alpha_C$  и  $\beta_S(e)_{\max} > 0$  выполняются, корректировка не нужна, переход к п. 3. Если  $\beta_S \max < 0$ , значит, LR-решение несовместно, корректировка производится смещением значения  $m_S$  до точки равновесия, значения потоков уменьшаются (блок 10). Если условие  $\alpha_S \min \leq \alpha_S \leq \alpha_C$  не выполнено, это свидетельствует о том, что условие  $\beta_S \leq \beta_S \max$  также нарушено, как следует из (3.12). Поскольку увеличить  $\alpha_S$  невозможно (алгоритмом FPTAS уже найдено максимальное возможное значение), для корректировки уменьшаем значение  $\beta_S$ , корректируем значения R-части для потоков тяготеющих пар, проходящих через данную дугу (блок 9).

11-13. После обработки всех дуг, формируем LR-решение по минимуму выполненности требований. Осуществляем вывод найденных распределений потоков и значений уровней обеспеченности.

Найденные значения  $\tilde{\theta}_{l,s}$  представляют собой треугольные LR-числа, компоненты которых обозначают степень выполнения заявок пользователей отдельно по значениям моды и левого и правого коэффициентов нечеткости, так, полному выполнению заявок соответствует число  $(1;1;1)_{LR}$ . Таким образом, диаграмма уровней обеспеченности [24, 53] для нечетких исходных данных будет иметь следующий вид, представленный на рисунке 3.15:

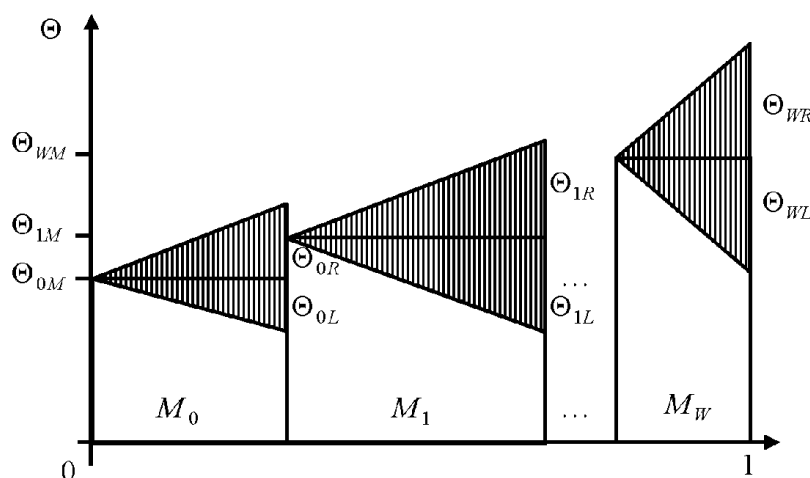


Рисунок 3.15 – Диаграмма уровней обеспеченности для нечетких данных

По оси абсцисс откладываются множества  $M_0, \dots, M_W$ , а по оси ординат – соответствующие им значения выполнения заявок  $\tilde{\Theta}_0, \dots, \tilde{\Theta}_W$  в виде треугольных LR-чисел.

Предлагаемая процедурная модель позволяет найти уровни максимальной обеспеченности  $\Theta_i$ , распределения потоков  $f_i$ . Эта информация показывает, насколько будут выполнены требования пользователей, где будут находиться узкие места  $D_i$ , наращивание пропускных способностей которых позволит увеличить долю выполнения заявок пользователей СИС.

Приведенные в разделе 3.4 процедурные модели применимы, когда оборудование СИС может осуществить найденное распределение потоков и когда возможна передача информационных потоков, полностью выполняющих требования тяготеющих пар. Если же пропускных способностей элементов структуры СИС недостаточно для выполнения требований, необходимо ограничивать пропускную способность, выделяемую каждой тяготеющей паре. Для такого режима работы необходимо разработать процедурную модель.

На рисунке 3.16 представлена обобщенная процедурная модель распределения информационных потоков в СИС.

В блоке 4 модели посредством FPTAS определяются возможные пути и объемы передаваемых информационных потоков, из которых в блоке 5 с помощью генетического алгоритма (ГА) выбираются такие, при которых максимальна эффективность функционирования СИС. Особью является распределение информационных потоков. Для каждой особи задаются комбинации используемых путей передачи информационных потоков из множества, найденного в блоке 4, и объем передаваемого потока.

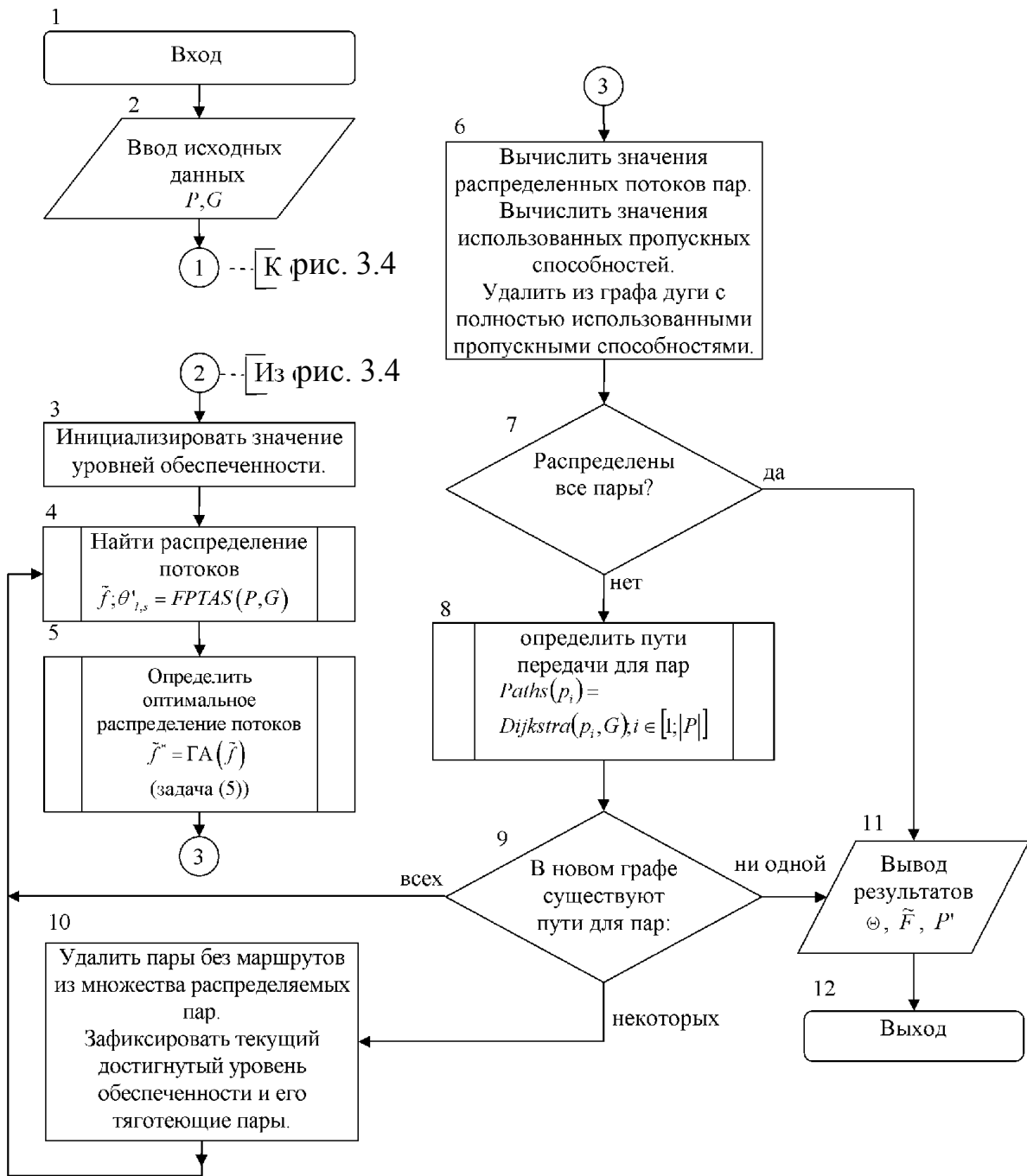


Рисунок 3.16 - Обобщенная процедурная модель распределения информационных потоков в СИС.

На рисунке 3.17 представлена процедурная модель выбора метода поиска распределения информационных потоков.

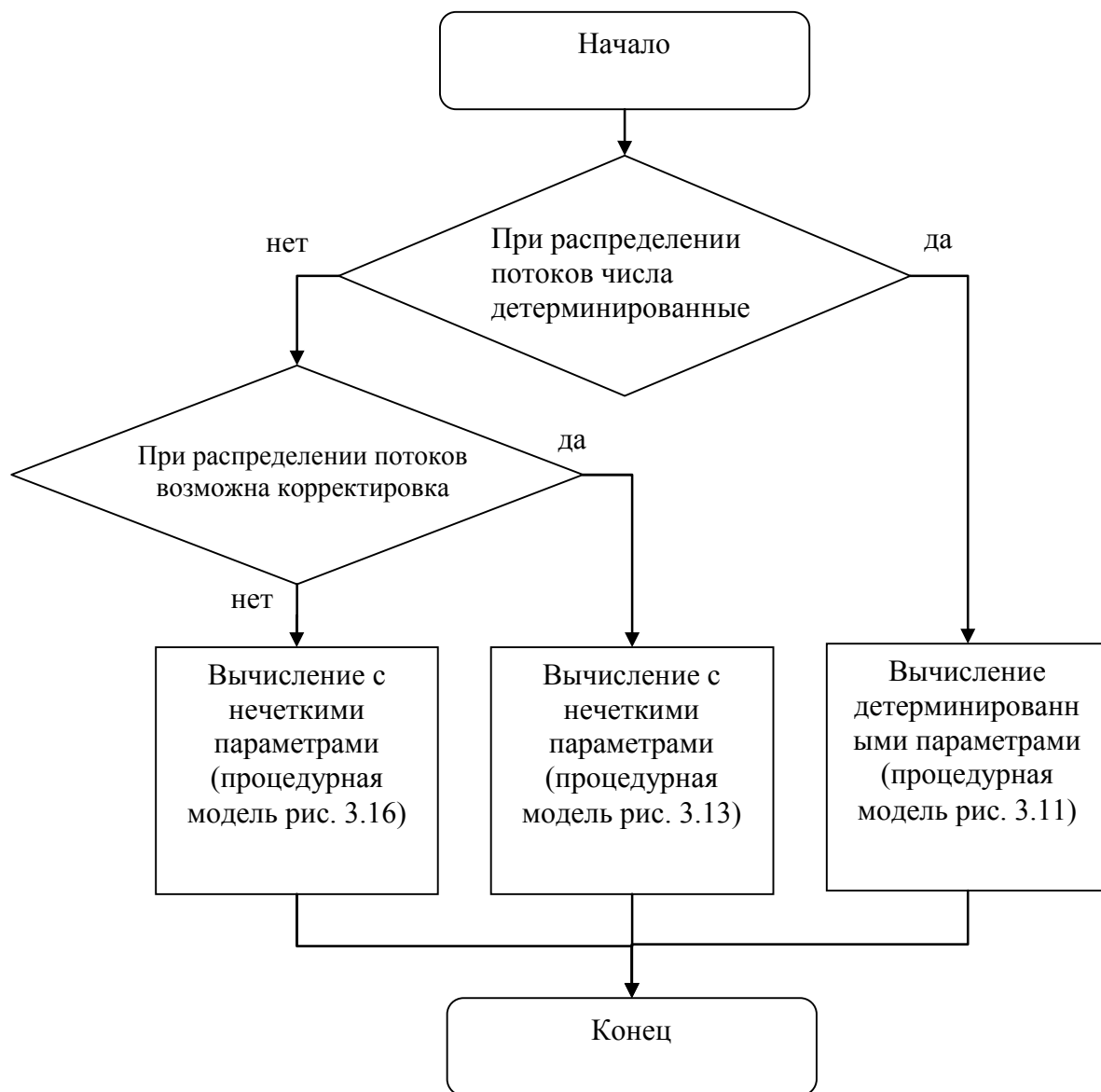


Рисунок 3.17 - Процедурная модель выбора метода поиска распределения информационных потоков

При решении задачи распределения информационных потоков в СИС, в зависимости от характеристик элементов структуры СИС, расположения источников и стоков тяготеющих пар и их требований, необходимо осуществлять выбор используемой процедурной модели, из числа представленных в п. 3.4. Для осуществления такого выбора представляется процедурная модель, приведенная на рисунке 3.17.

## Выводы по третьей главе

В данной главе были построены процедурные модели, позволяющие найти решение приведенных в главе 2 аналитических моделей определения эффективного распределение информационных потоков в СИС, а именно:

- разработана процедурная модель определения коэффициентов LR-чисел, соответствующих параметрам информационных потоков и элементов структуры СИС;
- разработана процедурная модель распределения информационных потоков в СИС, отличающаяся совместным использованием вполне полиномиальной аппроксимационной схемы (FPTAS) для решения задачи определения максимального конкурентного потока с целью разрешения конфликтов и генетического алгоритма для оценки эффективности функционирования СИС.



## **4 ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА РАЗРАБОТАННЫХ МОДЕЛЯХ И ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИС**

### **4.1 Описание структуры информационной системы анализа функционирования сетевой информационной системы**

Любая ИС имеет сложную структуру и включает в себя набор подсистем: функциональных, обеспечивающих и организационных, представленных на рисунке 4.1.

Функциональные подсистемы ИС обеспечивают выполнение задач, поставленных перед информационной системой. Состав функциональных подсистем разнообразен и зависит от предметной области использования ИС [13]. Фактически здесь содержится модель системы управления организацией. Подсистемы реализуют задачи. Обычно в информационной системе функциональная часть разбивается на подсистемы по функциональным признакам:

- уровень управления (высший, средний, низший);
- вид управляемого ресурса (материальные, трудовые, финансовые и т.п.);
- сфера применения (банковская, фондового рынка и т.п.);
- функции управления и период управления.

Состав обеспечивающих подсистем более стабилен и мало зависит от предметной области использования ИС.

1. Информационное обеспечение представляет собой совокупность реализованных решений по объемам, размещению и формам организации информации, циркулирующей в системе управления. Информационное обеспечение – это методы и средства построения информационной базы системы, включающие в себя системы классификации и кодирования информации, унифицированные системы документов, схемы информационных потоков, принципы и методы создания баз данных [13].



Рисунок 4.1 – Состав основных подсистем СИС

2. Техническое обеспечение – комплекс технических средств, задействованных в технологическом процессе преобразования информации в системе: вычислительные машины, периферийное оборудование, аппаратура и элементы структуры СИС, осуществляющие передачу информационных потоков [13].

3. Программное обеспечение включает в себя совокупность программ регулярного применения, необходимых для решения функциональных задач, и

программ, позволяющих наиболее эффективно использовать вычислительную технику, обеспечивая пользователям наибольшие удобства в работе [13].

4. Математическое обеспечение – совокупность аналитических моделей, используемых в системе для обработки информации.

5. Лингвистическое обеспечение – совокупность языковых средств, используемых в системе с целью повышения качества ее разработки и облегчения общения человека с машиной.

Организационные подсистемы направлены в первую очередь на обеспечение эффективной работы персонала, и поэтому они могут быть выделены отдельно.

1. Кадровое обеспечение – состав специалистов, участвующих в создании и работе системы, штатное расписание и функциональные обязанности.

2. Эргономическое обеспечение – совокупность методов и средств, используемых при разработке и функционировании ИС, создающих оптимальные условия для деятельности персонала, для быстрейшего освоения системы.

3. Правовое обеспечение – совокупность правовых норм, регламентирующих создание и функционирование информационной системы, порядок получения, преобразования и использования информации.

4. Организационное обеспечение представляет собой комплекс решений, регламентирующих процессы создания и функционирования как системы в целом, так и ее персонала.

Информационная система анализа функционирования СИС предназначена для повышения эффективности функционирования СИС при выполнении внешних требований путём устранения узких мест.

Для более тщательного рассмотрения структуры данной ИС, рассмотрим все ее компоненты и взаимодействие между ними (рисунок 4.2). ИС состоит из следующих главных компонентов: интерфейс пользователя, базы данных, блока определения параметров функции представления LR-чисел, блока анализа результата.

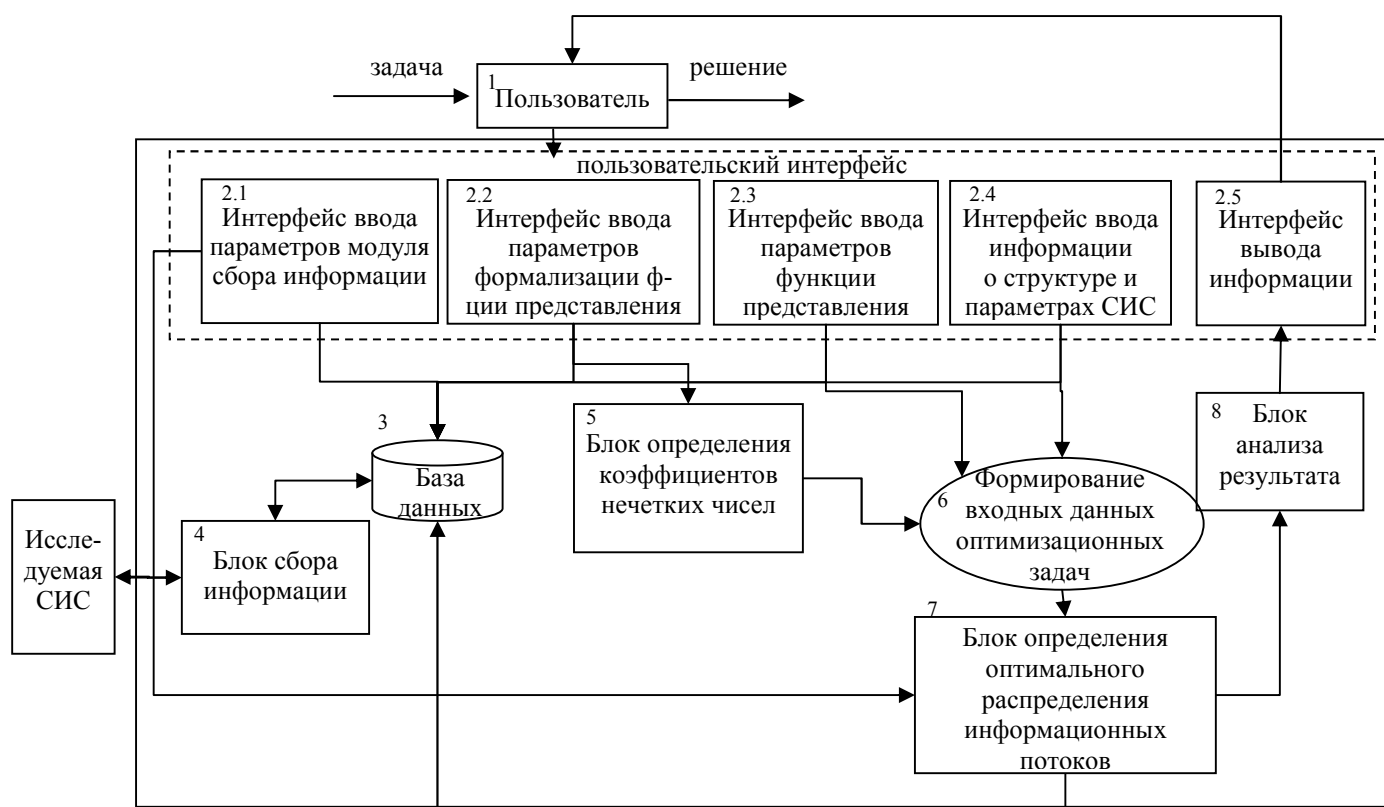


Рисунок 4.2 – Структура ИС анализа функционирования СИС

Интерфейс пользователя предназначен для ввода и модификации данных об исследуемой СИС и состоит из компонентов:

1. Интерфейс ввода параметров процедурных моделей (блок 2.1). В этом интерфейсе пользователь задает параметры моделей определения уровней обеспеченности.

2. Интерфейс ввода параметров формализации функции представления (блок 2.2). В этом интерфейсе пользователь задает параметры процедурной модели формализации нечеткой информации о параметрах СИС.

3. Интерфейс ввода параметров функции представления (блок 2.3). В этом интерфейсе пользователь задает непосредственно сами параметры функции представления нечеткого LR-Числа.

4. Интерфейс ввода информации о структуре и параметрах СИС (блок 2.4). В данном интерфейсе пользователь задает матрицы инцидентий для физического и логического графов, значения пропускных способностей ребер, требования тяготеющих пар на выполнение запросов пользователей СИС по

передаче информации.

5. Интерфейс вывода информации (блок 2.5). Данный интерфейс служит для вывода пользователю ИС результатов работы процедурных моделей – диаграммы уровней обеспеченности пользовательских требований, перечень дуг физического графа, которые являются узкими местами СИС и рекомендации по их устранению.

База данных (блок 3) служит для хранения всей вводимой информации, промежуточных и окончательных результатов расчетов, а также временной информации в процессе работы пользователя над проектом исследуемой СИС.

Блок определения параметров функции представления (блок 4) выполняет на основе введенной пользователем информации процедурную модель определения параметров функции представления нечеткого LR-числа, а также процедурную модель формализации информации в виде нечетких LR-Чисел.

Блок анализа результата (блок 8) на основе информации о распределении потоков и уровнях обеспеченности, полученной от блока решения оптимизационных задач (блок 7), выявляет узкие места исследуемой СИС и определяет перечень мер, которые могут быть приняты для их устранения.

Для организации процесса сбора и формализации статистической информации об информационных потоках, передаваемой в СИС, может быть применено несколько различных схем, приведенных на рисунке 4.3.

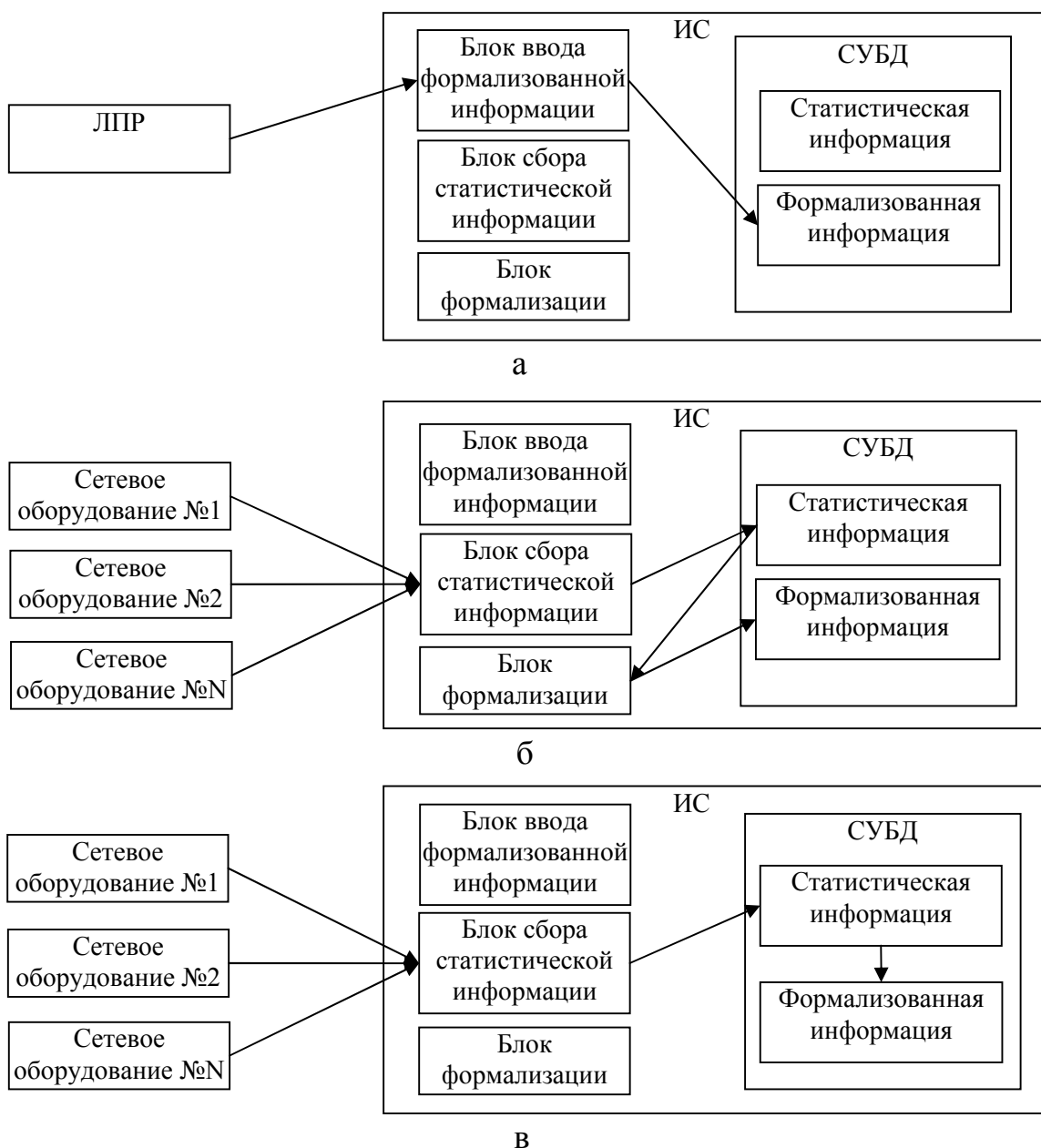


Рисунок 4.3 – Схемы вариантов сбора и обработки информации об информационных потоках в СИС

На рисунке 4.3 а) показан сценарий, когда информацию об информационных потоках задает пользователь уже в формализованной виде, которая интерфейсным модулем помещается в БД формализованных значений.

На рисунке 4.3 б) приведен сценарий, когда часть ИС – блок сбора статистической информации, (коллектор), осуществляет сбор и сохранений информации о потоках информации в БД статистической информации. На

текущий момент существует множество уже готовых коллекторов, поддерживающих различные стандарты представления информации о потоках, с различным функционалом и возможностями настройки, под различные платформы, в то же время может быть использован самостоятельно разработанный модуль. Преимущество использования готового коллектора заключается в сокращении времени и средств на процесс разработки, использование же самостоятельного модуля дает преимущество в гибкости, такой модуль может наряду со сбором информации осуществлять и ее первичную обработку. Также в сценарии на рисунке 4.3 б) задействован блок формализации статистической информации об информационных потоках с помощью нечетких LR-чисел.

На рисунке 4.3. в) приведен еще один сценарий сбора информации, когда процедура формализации возложена не на отдельный блок (программу), а реализована средствами СУБД на ее встроенном языке. Преимуществом такого подхода является непосредственная близость и более тесное взаимодействие данных и методов их обработки, которое в программировании имеет понятие инкапсуляция и получило широкое распространение. Недостатком такого подхода является более низкая производительность реализованных средствами СУБД методов, которая однако может быть устранена средним вариантом – выполнение процесса формализации отдельно разработанным модулем, интегрированным в СУБД в виде внешней библиотеки обработки.

При разработке рассматриваемой ИС анализа функционирования СИС применен вариант на рисунке 4.3 б) как, на наш взгляд, обладающий большей гибкостью, простотой реализации и отладки.

## **4.2 Построение модели информационной системы анализа функционирования сетевой информационной системы с использованием UML. Диаграммы разрабатываемой информационной системы**

Разработка современных информационных систем является сложным процессом, который может быть значительно упрощен при наличии проектной документации, сгенерированной на основе модели системы. В качестве технологии моделирования и документирования работы был выбран язык UML (Unified Modeling Language унифицированный язык моделирования). Язык UML был разработан в 1994 году, когда были объединены методы моделирования, разработанные Бучем (Booch) и Рамбо (Object Modeling Technique – OMT).

С тех пор, UML:

- был принят и поддержан большинством производителей средств моделирования;
- стал важнейшей частью компьютерной науки и инженерных учебных планов в университетах по всему миру и различных профессиональных программ обучения;
- используется академическими и другими исследователями как удобный общий язык.

UML 2.0 включает набор диаграмм (рисунок 4.4), используемых для разработки моделей программных и бизнес систем. Диаграммы подразделяются на структурные и процессные.



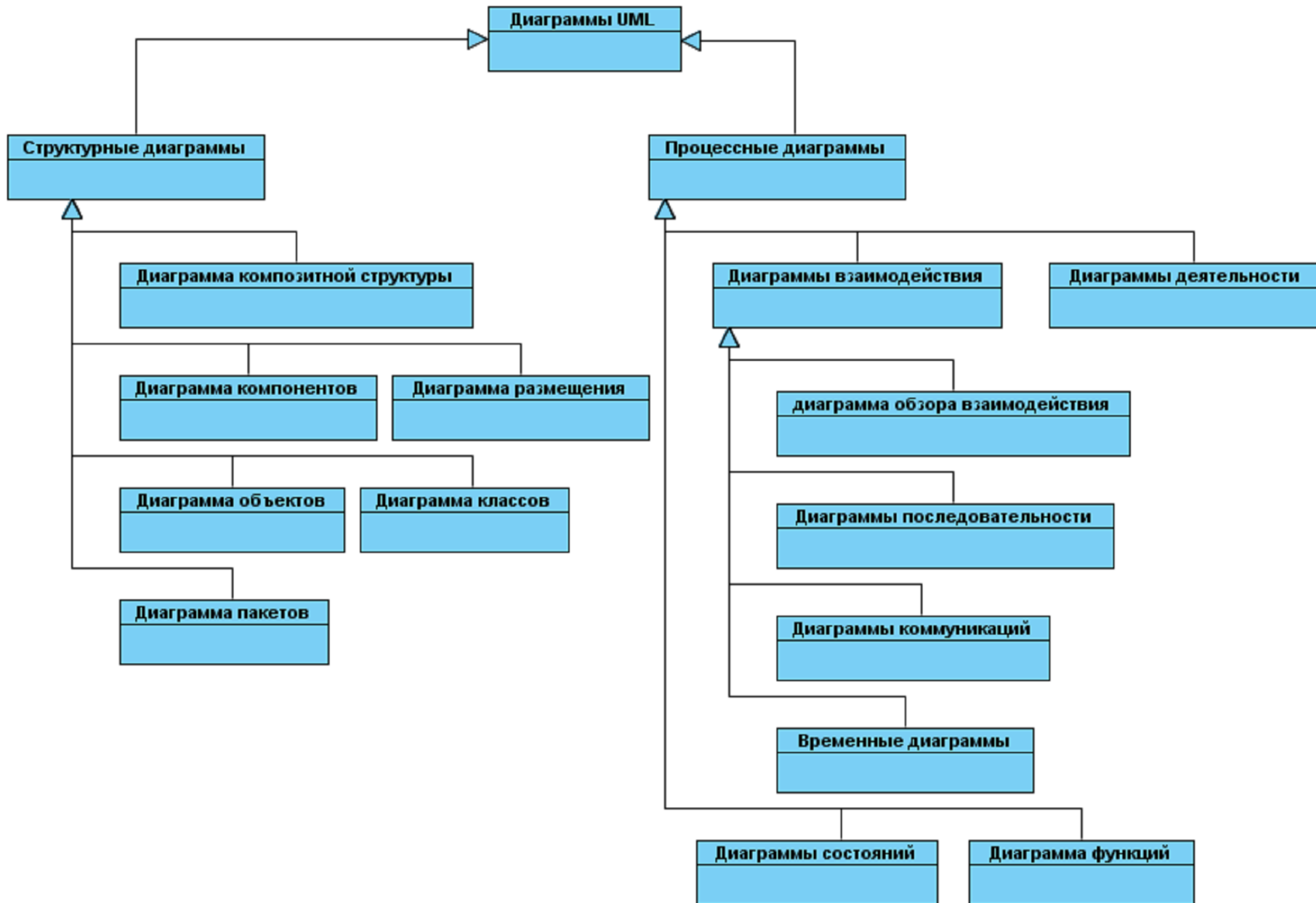


Рисунок 4.4 – Диаграммы UML 2.0.

К структурным диаграммам относятся:

- диаграмма классов;
- диаграмма объектов;
- диаграмма композитной структуры;
- диаграмма компонент;
- диаграмма размещения;
- диаграмма пакетов.

К процессным диаграммам относятся:

- диаграммы взаимодействия;
- диаграммы деятельности;
- диаграммы функций;
- диаграммы состояний.

В свою очередь диаграммы взаимодействия подразделяются на:

- диаграммы последовательностей;
- обзорные диаграммы потоков управления;
- коммуникационные диаграммы;
- временные диаграммы.

На различных этапах создания программной системы могут использоваться диаграммы UML для создания различных моделей.

В качестве средства построения UML диаграмм был выбран программный продукт Visual Paradigm. CASE-средство Visual Paradigm со времени своего появления претерпело серьезную эволюцию и превратилось в современное и мощное средство анализа, моделирования и разработки ИС. В Visual Paradigm язык UML стал базовой технологией визуализации и разработки. Visual Paradigm доступно как для операционной среды типа UNIX, так и для Windows.

Диаграммы прецедентов, или использования, применяют для моделирования статического вида системы с точки зрения прецедентов. Этот вид охватывает главным образом поведение системы, то есть видимые извне сервисы, предоставляемые системой.

При моделировании статического вида системы с точки зрения прецедентов диаграммы использования применяются для описания требований к системе с указанием на то, что она должна делать с точки зрения внешнего наблюдателя, независимо от того, каким образом она это должна сделать.

Вариант использования (use case, прецедент) представляет собой последовательность действий, выполняемых системой в ответ на событие, инициируемое некоторым внешним объектом (действующим лицом).

Действующее лицо (actor, актер) – это роль, которую пользователь играет по отношению к системе.

Диаграмма прецедентов разрабатываемой ИС приведена на рисунке 4.5. Анализ диаграммы показал, что действующими лицами выступает пользователь, который осуществляет всю основную работу по анализу функционирования СИС, задавая ее структуру, тяготеющие пары и их требования на передачу информационных потоков. Администратор системы имеет доступ к определению параметров используемых процедурных моделей.

Для получения информации об информационных потоках, наряду с возможностью ее ввода пользователем в виде LR-числа, существует возможность сбора статистики с последующей формализацией. Действующее лицо «Оборудование СИС» предоставляет информацию о реальных информационных потоках, передаваемых в СИС, «Система мониторинга СИС» – внешняя по отношению к разрабатываемой СИС система мониторинга, осуществляющая сбор информации от оборудования.

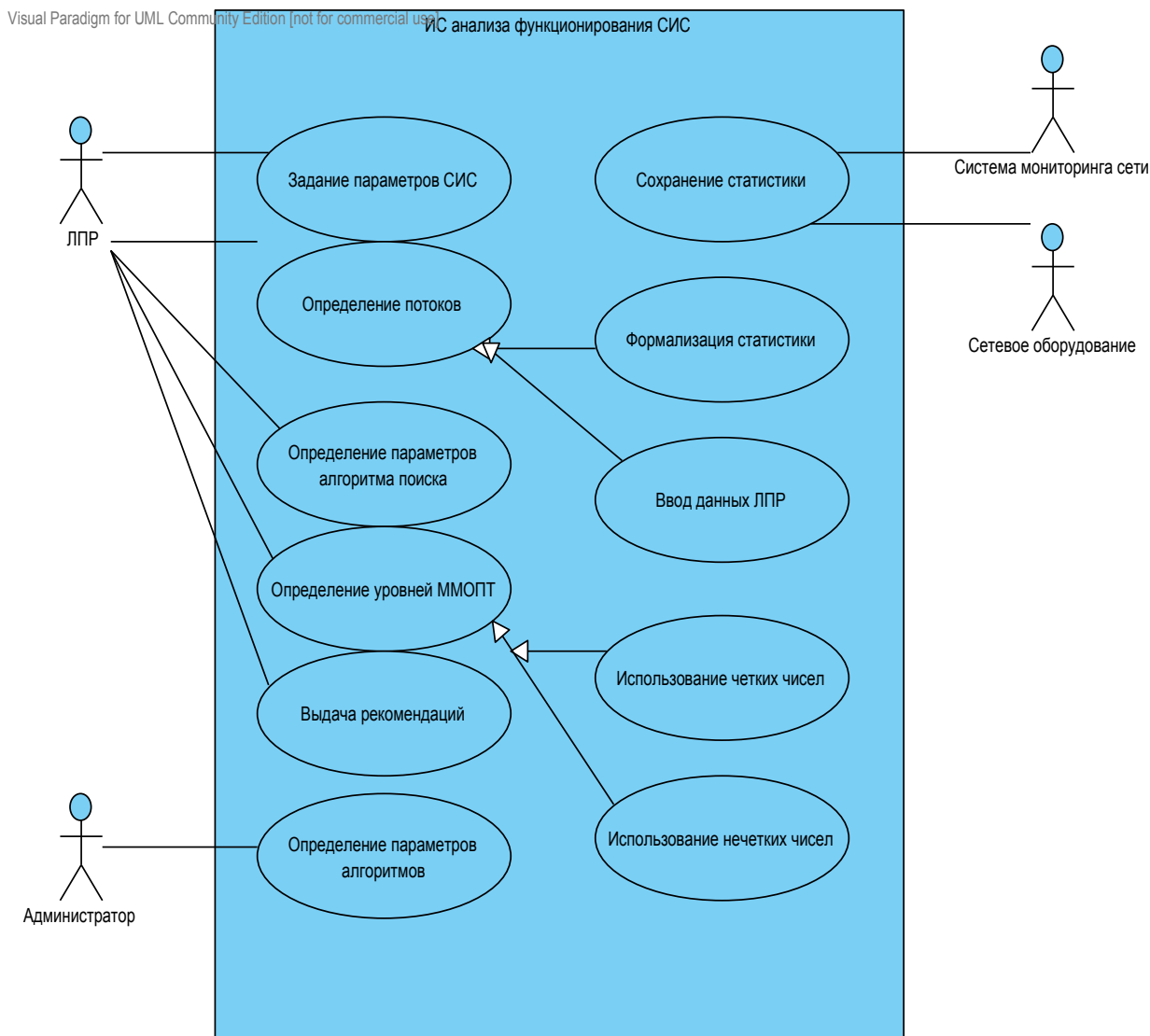


Рисунок 4.5 – Диаграмма прецедентов

Диаграммой классов (Class diagram) называют диаграмму, на которой показано множество классов, интерфейсов, коопераций и отношений между ними. Ее изображают в виде множества вершин и дуг. Диаграмма классов определяет типы классов системы и связи между ними. На диаграммах классов изображаются также атрибуты классов, операции классов и ограничения, которые накладываются на связи между классами.

Диаграммы классов применяют для моделирования статического вида системы с точки зрения проектирования. В этом представлении удобнее всего описывать функциональные требования к системе – услуги, которые она предоставляет конечному пользователю.

Диаграмма классов разрабатываемой ИС приведена на рисунке 4.6.

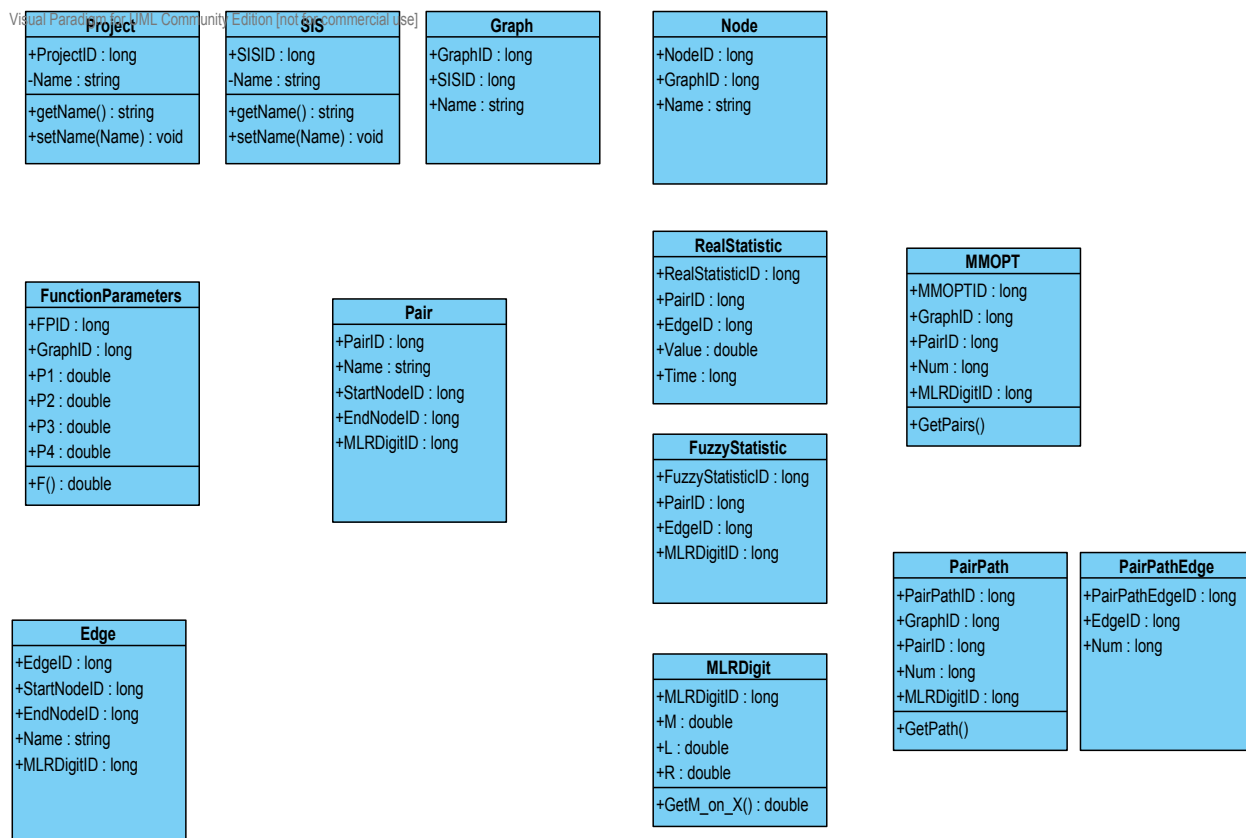


Рисунок 4.6 – Диаграмма классов

Опишем основные классы разрабатываемой ИС:

Класс `FunctionParameters` служит для хранения информации о параметрах функции представления формы LR-Числа, используемых в том или оном проекте СИС.

Класс `MLRDigit`. Экземпляры данного класса хранят коэффициенты нечеткого числа, которое характеризует нечеткие параметры СИС.

Класс `Project` – хранит информацию о конкретном проекте, в рамках которого производится анализ функционирования конкретных СИС.

Класс `SIS` – служит для хранения информации о рассматриваемых СИС.

Следующие три класса используются для хранения информации о структуре физического графа исследуемой СИС:

Класс `Graph`. В процессе анализа СИС пользователь имеет возможность менять различные ее параметры, в том числе и структуру ее физического графа,

для хранения различных построенных вариантов структуры и служит данный класс.

Класс Node. Экземпляры данного класса хранят информацию об узлах графа СИС, которая используется для построения структуры графа.

Класс Edge – информация о дуге графа – начальный и конечный узел, а также величина пропускной способности, выраженная нечетким LR-Числом.

Экземпляры Классов RealStatistic и FuzzyStatistic хранят статистическую информацию о величинах информационных потоков, передаваемых по СИС. RealStatistic содержит информацию, получаемую, например, с оборудования, а FuzzyStatistic – уже формализованную информацию в виде нечеткого LR-числа. Эта информация может быть задана либо ЛПР, либо получена с помощью процедурной модели формализации параметров СИС.

Следующие три класса служат для хранения информации о результатах анализа функционирования СИС.

Класс ММОПТ. Экземпляры этого класса хранят информацию о порядковом номере данного найденного уровня обеспеченности требований, его значении, выраженным LR-числом, а также всех тяготеющих пар, требования которых выполнены на данном уровне.

Классы PairPath и PairPathEdge содержат информацию о найденных путях для каждой тяготеющей пары.

### **4.3 Выбор среды реализации**

Разрабатываемая система ориентируется на использование в операционных системах семейства MS Windows , так как она является самой распространенной из устанавливаемых на рабочих станциях. В качестве среды реализации выбрана бесплатная среда разработки MS Visual Studio 2010 Express с использованием ряда бесплатных специализированных библиотек. Для реализации пользовательского интерфейса была использована система WPF.

Windows Presentation Foundation (WPF) – графическая система отображения

для Windows. WPF спроектирована для .NET и ориентирована на использование современных технологий отображения HTML и Flash, а также аппаратного ускорения. В основе WPF лежит графическая технология DirectX. Благодаря этому, приложения WPF используют DirectX независимо от создаваемого типа пользовательского интерфейса, и даже при рисовании простого элемента экранной формы работа по отображению проходит через DirectX, что дает выигрыш от аппаратного ускорения, т.к. при таком подходе как можно больше работы передается видеокарте, в отличие от других подсистем вывода графической информации в Windows.

WPF также обладает рядом других достоинств:

1. Web-подобная модель компоновки. Элементы экранных форм не имеют жестко заданных координат, а принимают размер и положение в зависимости от своего содержимого и заданного режима взаимного расположения.

2. При работе с WPF, разработчик имеет дело с примитивами – базовыми фигурами, блоками текста и прочими графическими составляющими, что упрощает и в конечном итоге ускоряет разработку.

3. Анимация – неотъемлемая часть программного каркаса. Разработчик описывает процедуры анимации, и WPF запускает ее в действие автоматически.

4. Стили и шаблоны. Стили позволяют стандартизовать форматирование и повторно использовать его. Шаблоны позволяют изменить способ отображения элементов, что упрощает создание настраиваемых интерфейсов.

5. Декларативный пользовательский интерфейс. Содержимое каждого элемента описывается в виде XML-дескрипторов в документе XAML. Преимущество такого подхода заключается в том, что это даёт возможность разделить процессы разработки процедурных моделей, выполняемых, приложением, и пользовательского интерфейса, между различными группами разработчиков, не зависящими друг от друга.

6. Независимость от экранного разрешения. В основе WPF лежит векторная система визуализации, не зависящая от разрешения устройства вывода

и созданная с учётом возможностей современного графического оборудования.

В качестве СУБД был выбран Microsoft 2008 SQL Server. Семейство продуктов Microsoft SQL Server считается одним из самых удачных продуктов компании Microsoft, обладая, к тому же, привлекательным соотношением стоимость/функционал, по сравнению с иными коммерческими СУБД. Более того, наличие нескольких редакций с различным функционалом, включая и бесплатную версию, позволяет потребителю выбрать версию под свои нужды, будь это рабочая станция, выделенный сервер или кластер серверов.

#### **4.4 Формы интерфейса пользователя**

На рисунке 4.7 приведена форма задания параметров функции представления нечеткого LR-Числа. Она служит для проведения расчета параметров функции на основе имеющейся в системе статистической информации. Также пользователь имеет возможность откорректировать параметры и визуально проконтролировать результат. Слева от элементов управления приводится вид функции представления нечеткого LR-Числа и вид самого LR-Числа, параметры которого пользователь также может задать самостоятельно.

На рисунке 4.8 приведена форма представления графа структуры СИС с возможностью масштабирования и изменения ракурса отображения. Форма позволяет выбрать уровень обеспеченности для отображения соответствующего ему графа структуры СИС.

На рисунке 4.9 приведена форма вывода диаграммы уровней обеспеченности, полученной в результате выполнения соответствующей процедурной модели. Диаграмма имеет ступенчатую форму, параметры найденных нечетких чисел откладываются по оси абсцисс на вершине соответствующего столбца диаграммы.

На рисунках 4.10, 4.11 приведена форма сборщика (монитора) статистических данных об информационных потоках СИС.



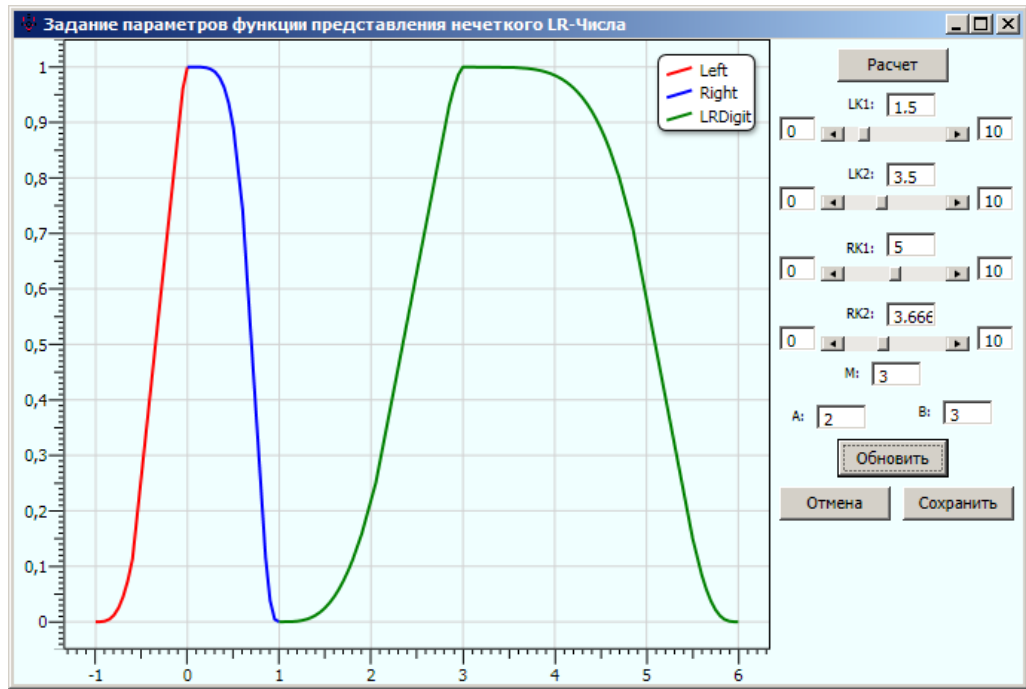


Рисунок 4.7 – Форма задания параметров функции представления нечеткого LR-Числа

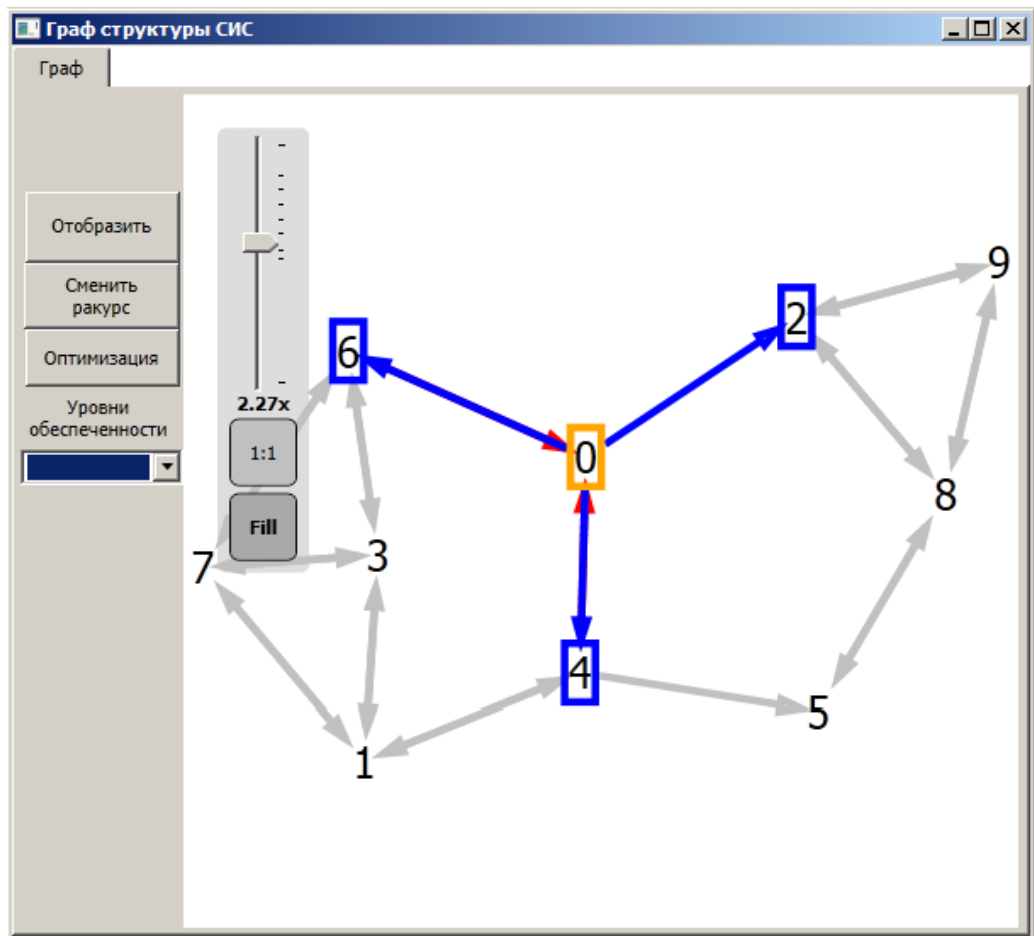


Рисунок 4.8 – Форма представления графа структуры СИС

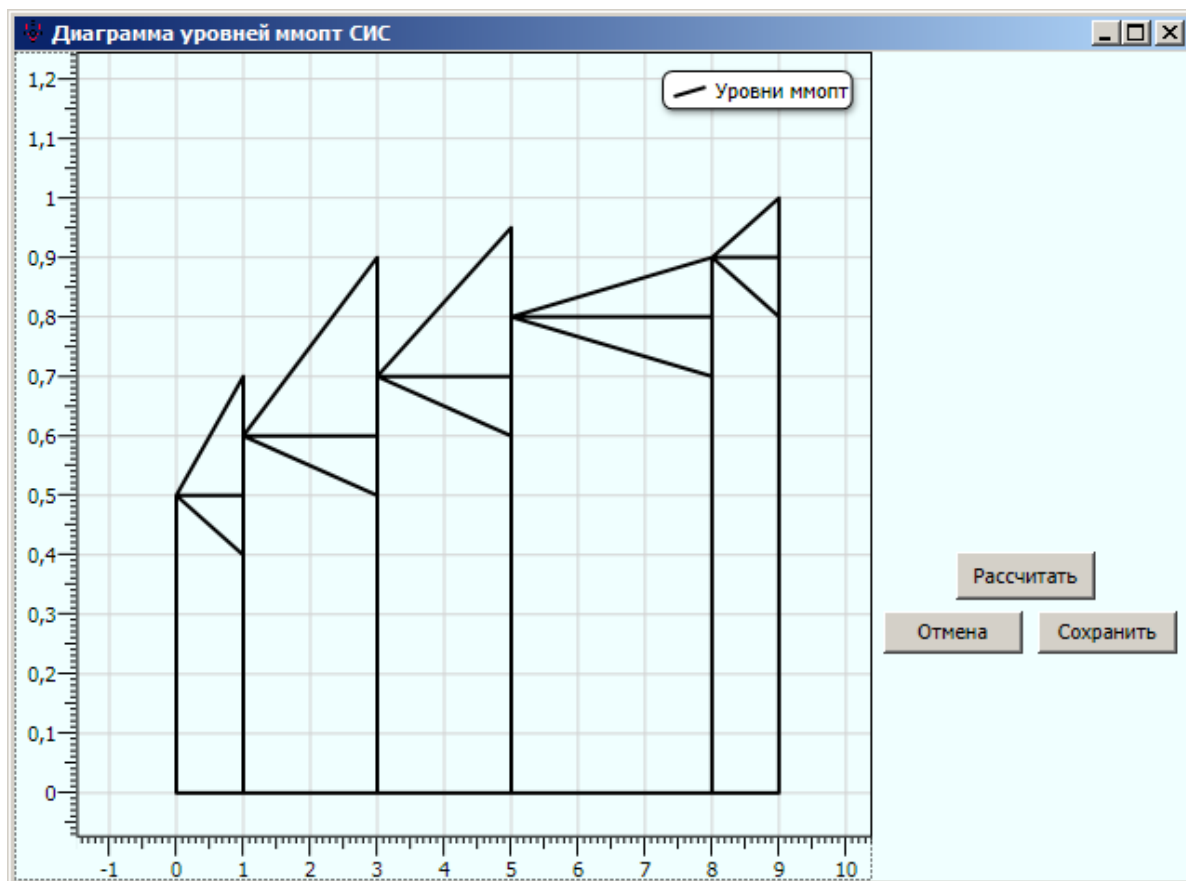


Рисунок 4.9 – Форма вывода диаграммы уровней обеспеченности

№	IP	Протокол	Длина
44	1395904963.179...	Ethernet	74
43	1395904963.171...	Ethernet	74
42	1395904962.179...	Ethernet	74
41	1395904962.170...	Ethernet	74
40	1395904961.179...	Ethernet	74
39	1395904961.171...	Ethernet	74
38	1395904960.179...	Ethernet	74
37	1395904960.170...	Ethernet	74
36	1395904959.179...	Ethernet	74
35	1395904959.170...	Ethernet	74
34	1395904958.179...	Ethernet	74
33	1395904958.170...	Ethernet	74
32	1395904957.179...	Ethernet	74
31	1395904957.170...	Ethernet	74

Eth: \*\*\*\*\* Ethernet - "Ethernet" - offset=? length=74  
 Eth:  
 Eth: destination = 00:0c:29:e6:4b:d9  
 Eth: source = 60:a4:4c:79:4e:90  
 Eth: type = IpV4 (0x0800)  
 Eth:  
 IP: \*\*\*\*\* IPv4 - "Internet Protocol (Version 4)" - offset=? length=60  
 IP:  
 IP: version = IPv4  
 IP: header length = 5 bytes

Получено сообщений: 45, Потеряно сообщений: 0

Рисунок 4.10 – Форма сборщика (монитора) статистических данных об

## информационных потоках СИС (мониторинг)

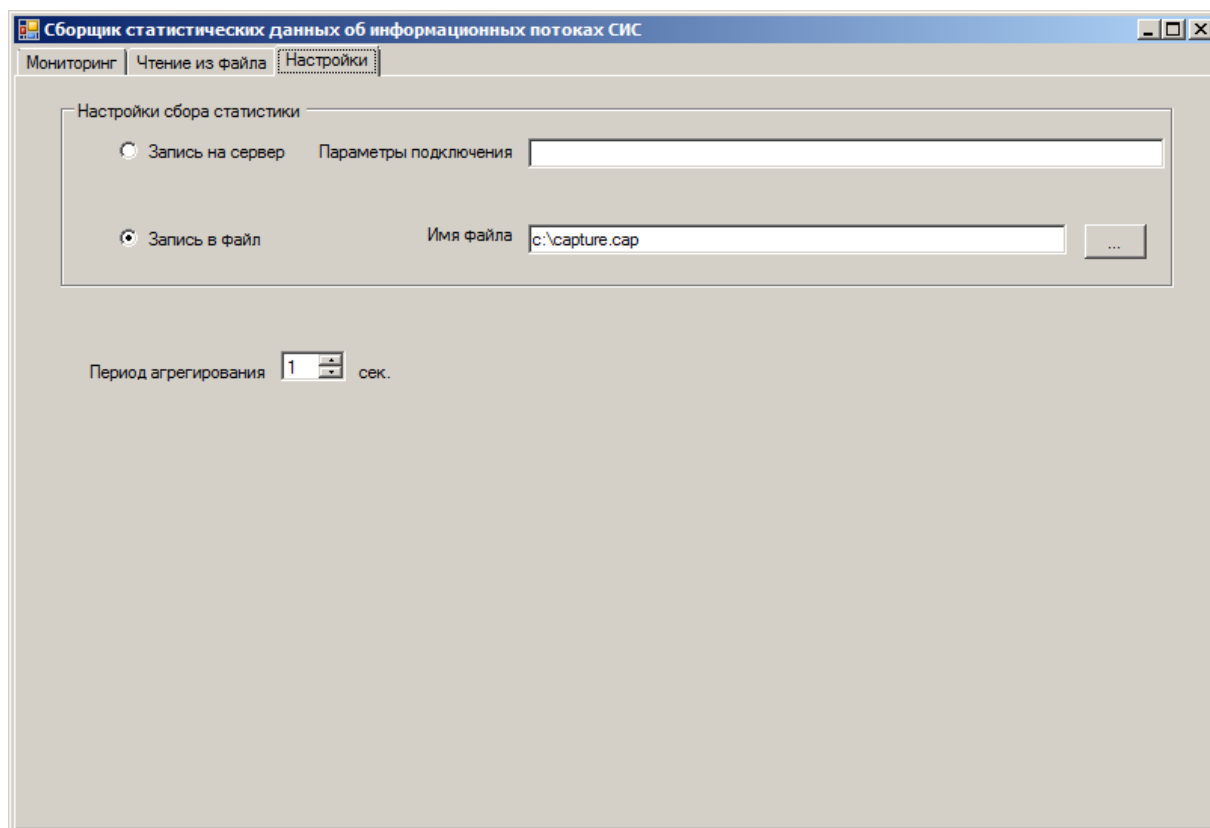


Рисунок 4.11 – Форма сборщика (монитора) статистических данных об информационных потоках СИС (настройки)

#### 4.5 Имитационное моделирование и проверка разработанных аналитических и процедурных моделей

Для проверки разработанных аналитических и процедурных моделей проведем имитационное моделирование в виртуальной среде на базе VmWare. Схема моделируемой СИС приведена на рисунке 4.12.

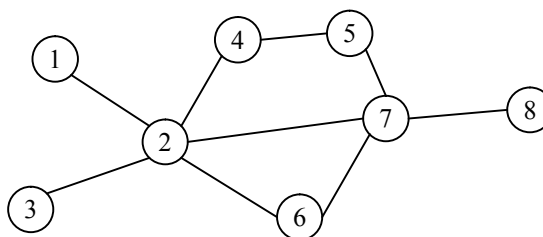


Рисунок 4.12 – Схема моделируемой СИС

Схема соответствующей СИС, реализованной в срезе GNS, приведена на рисунке 4.13.

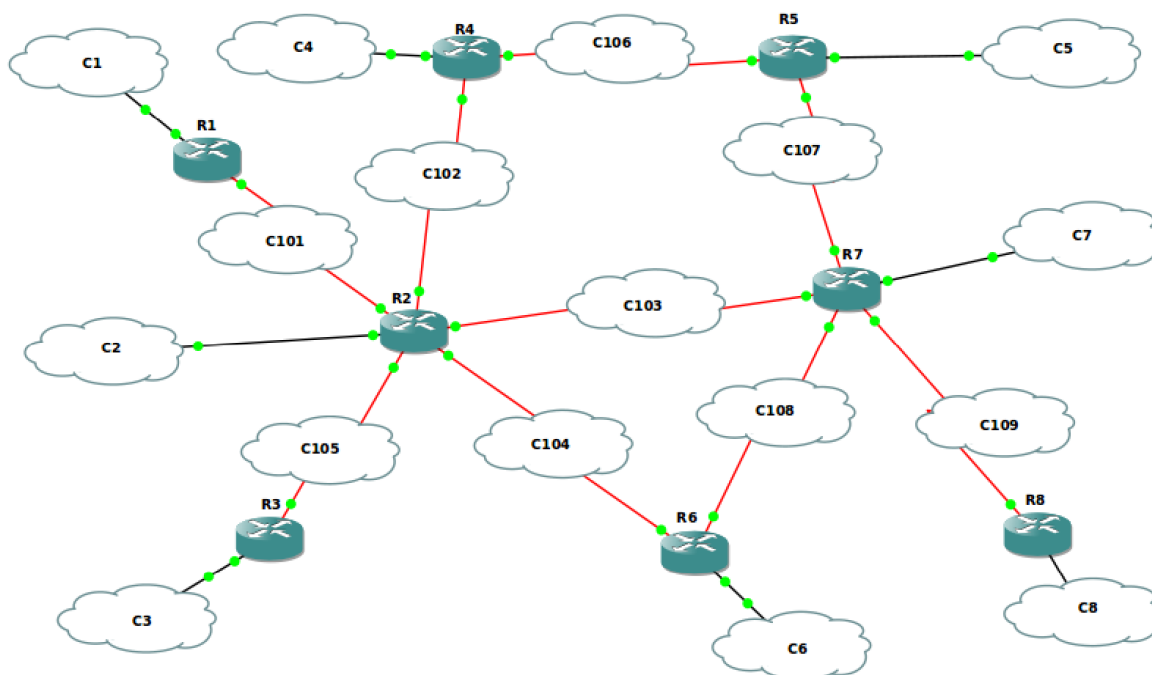


Рисунок 4.13 – Схема моделируемой СИС, реализованной в среде GNS

Среда GNS позволяет проводить имитационное моделирование СИС с помощью гипервизоров оборудования СИС. Однако на текущий момент в ней не реализована важная функция управления пропускной способностью линий передачи информационных потоков. Для реализации этой функции было решено использовать виртуализованную среду на базе VmWare Player. Используя механизм виртуальных сегментов СИС, число которых может быть неограниченно, возможно управлять емкостью дуг физического графа СИС с точностью до 1 кбит/с. Таким образом, необходимо поместить гипервизоры GNS в виртуальную среду, обслуживаемую системой виртуализации, где все интерфейсы будут подключены к виртуальным сегментам. В свою очередь, среда реализации VmWare накладывает ограничение на количество интерфейсов виртуальной аппаратной платформы. Для преодоления данного ограничения необходимо произвести декомпозицию исходной схемы так, как обозначено на рисунке 4.14.

Для проведения имитационных испытаний необходимо устанавливать ограничения на пропускные способности линий связи, для этого эффективно можно использовать средства VMWare Player. Поскольку VMWare Player, накладывает ограничение на количество интерфейсов виртуальной машины, равное 10, первоначальную схему необходимо разделить на несколько виртуальных машин с гипервизорами оборудования СИС, которые соединены между собой посредством виртуальных сегментов.

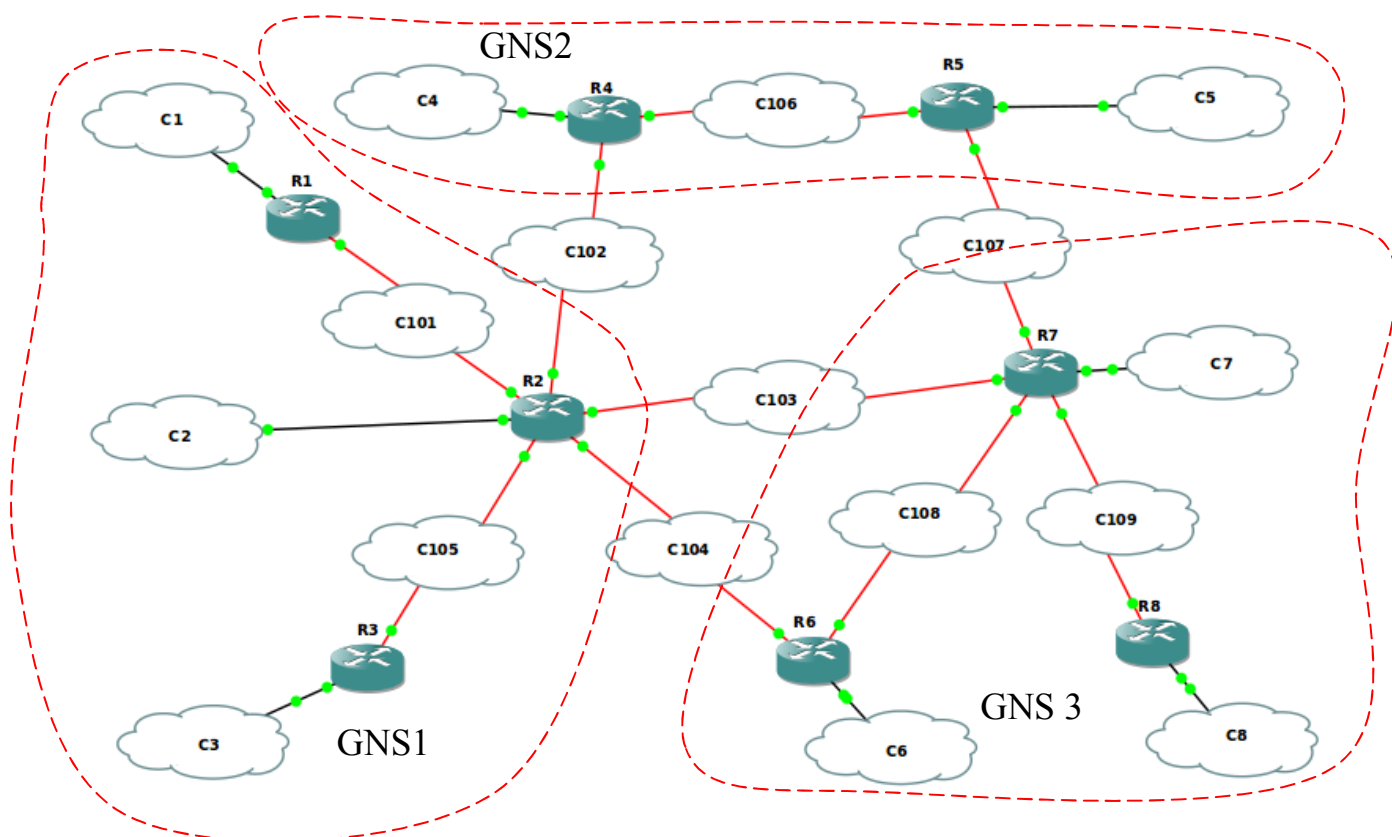


Рисунок 4.14 – Схема декомпозиции моделируемой СИС

Компоненты GNS1-GNS3, реализованные в виртуальных гипервизорах, показаны на рисунке. 4.15.

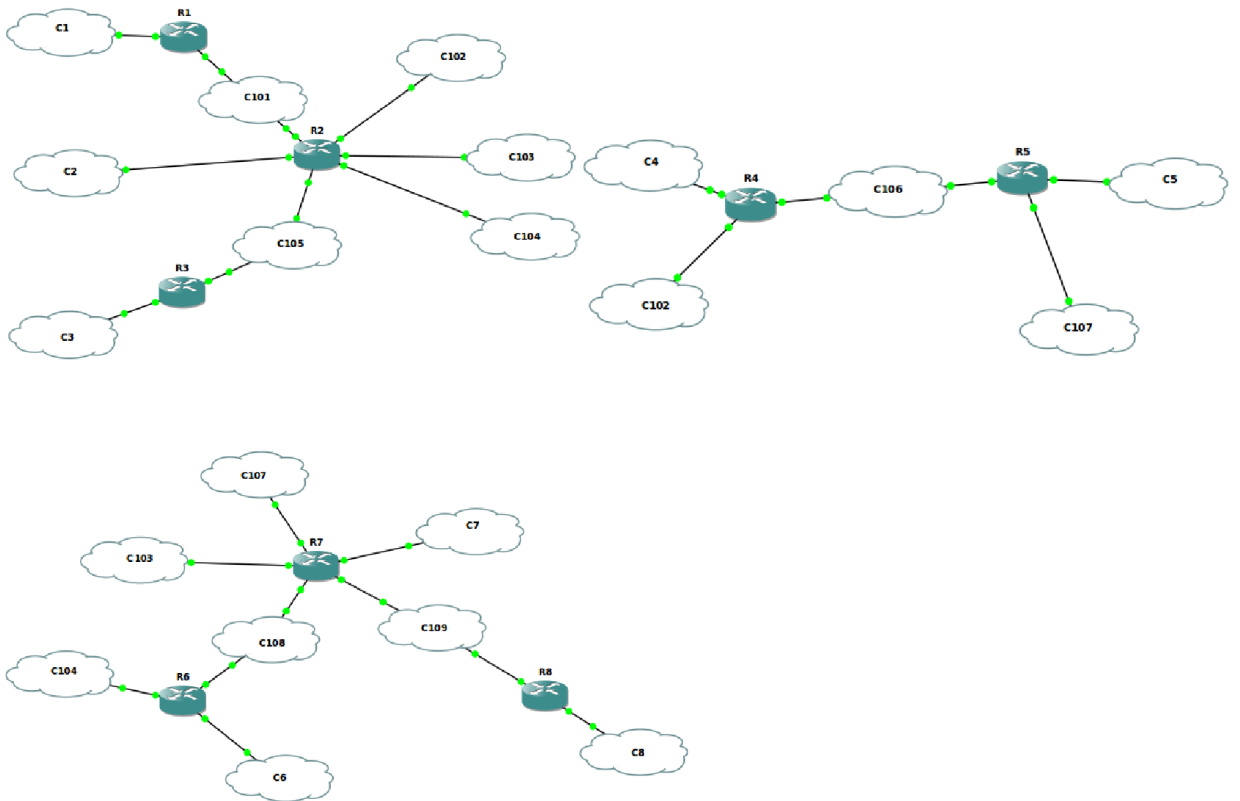


Рисунок 4.15 – Сегменты СИС, реализованные в среде GNS

Структура всего виртуального программно-аппаратного комплекса представлена на рис 4.16.

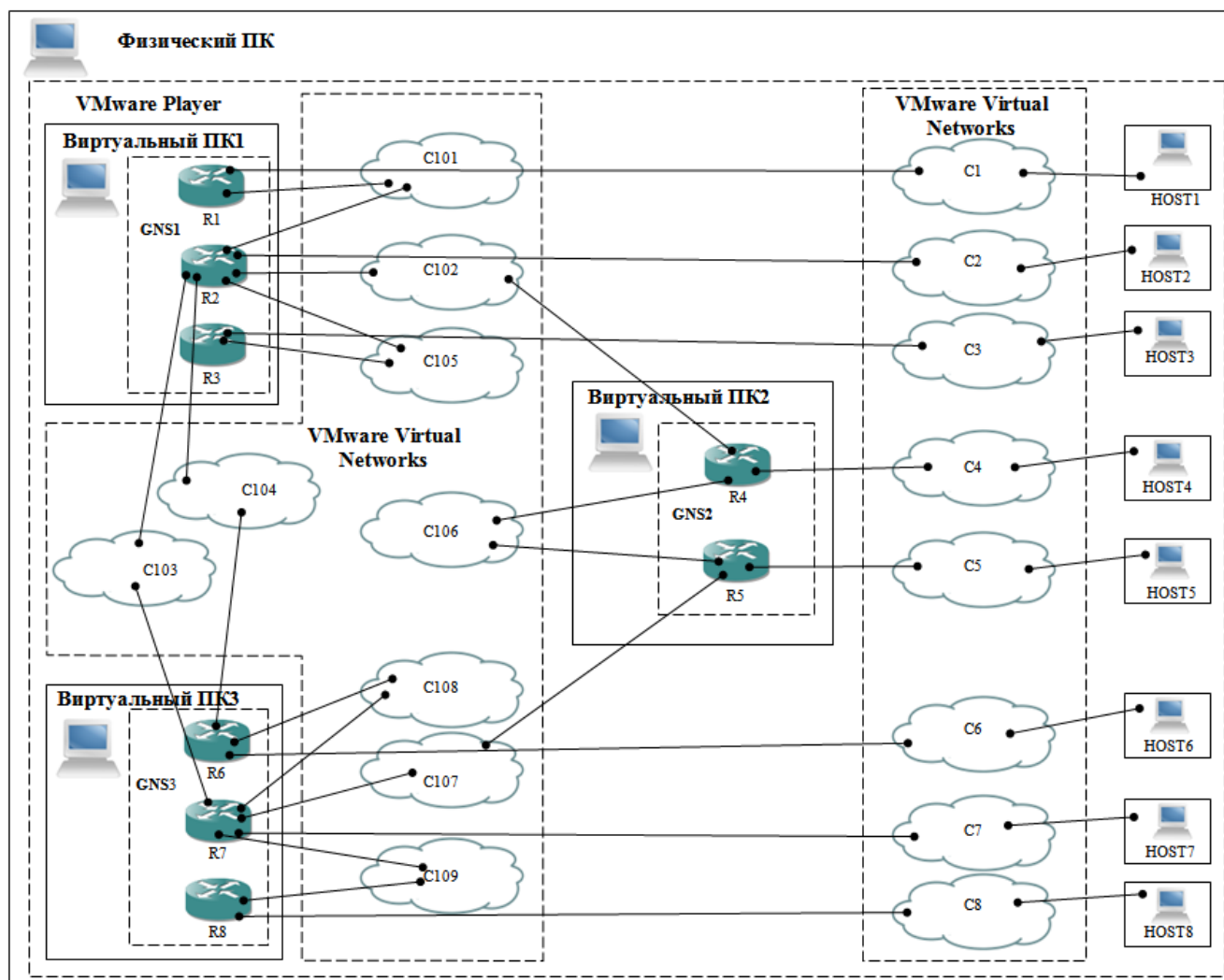


Рисунок 4.16 - Структура виртуального комплекса для проведения моделирования в среде GNS

Таким образом, виртуальный программно-аппаратный комплекс, построенный с использованием GNS, состоит из трех платформ GNS1- GNS3 с гипервизорами оборудования СИС, виртуализирующими 8 единиц оборудования R1-R8, 8 виртуальных сегментов C1-C8 с 8 виртуальными ПК Host1-Host8, по одному в каждом сегменте, являющихся источниками и стоками тяготеющих пар, и 9 виртуальными сегментами C101-C109, соединяющими оборудование и служащими для передачи информационных потоков. В общей сложности, комплекс содержит одну аппаратную платформу, на которой функционируют 11 виртуальных платформ GNS1-GNS3, HOST1-HOST8, 3 гипервизора GNS с 8 виртуальными устройствами и 17 виртуальных локальных сегментов.

Для проверки возможности использования предложенного метода был проведен эксперимент, в ходе которого осуществлялась передача информационного потока из источника в одном виртуальном сегменте в сток, находящийся в другом сегменте, с наложенными ограничениями на пропускные способности дуг.

Также для проверки разработанных моделей был построен второй виртуальный стенд, реализующий предложенную структуру СИС, в качестве оборудования СИС, в котором используются IBM PC-совместимые виртуальные устройства под управлением сетевой ОС FreeBSD v. 9 и основанного на ней дистрибутива, специализированного на построении оборудования, pfSense v. 2. Структура комплекса приведена на рисунке 4.17.

В процессе моделирования в СИС передавались информационные потоки, основанные на данных, приведенных в [106]. Эффективность функционирования СИС по передаче информационных потоков оценивалась выражением (2.17). На рисунках 4.18а, 4.18в приведены фрагменты эксперимента - графики информационного потока без ограничения (4.18а) и с ограничением пропускной способности в 70% (4.18в), на рисунках 4.18б и 4.18г приведены соответствующие им LR-Числа. Параметры информационных потоков и элементов структуры СИС выбраны таким образом, что СИС заведомо не могла в полном объеме передать информационные потоки.



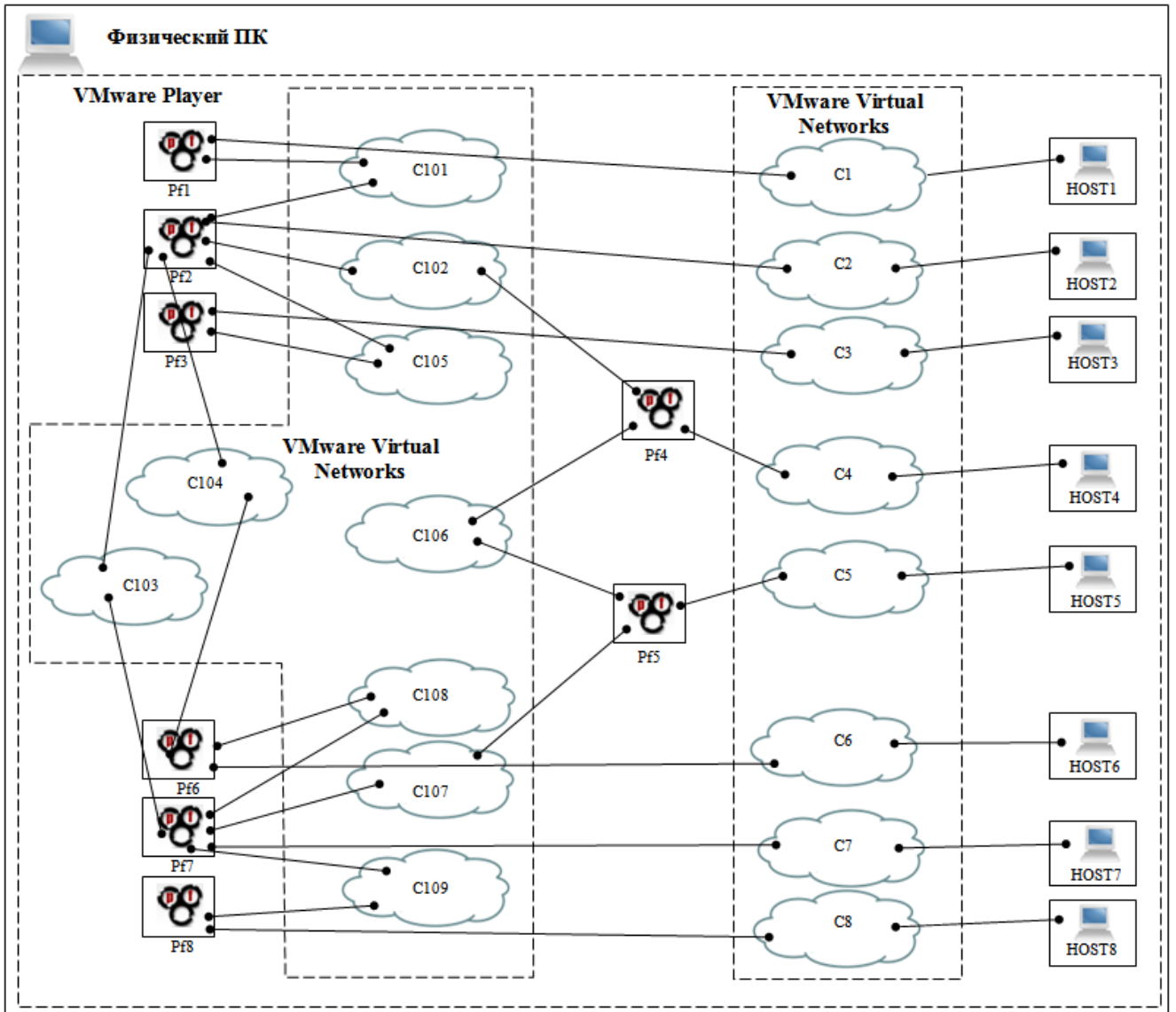


Рисунок 4.17 - Структура виртуального комплекса для проведения моделирования в среде pfSense

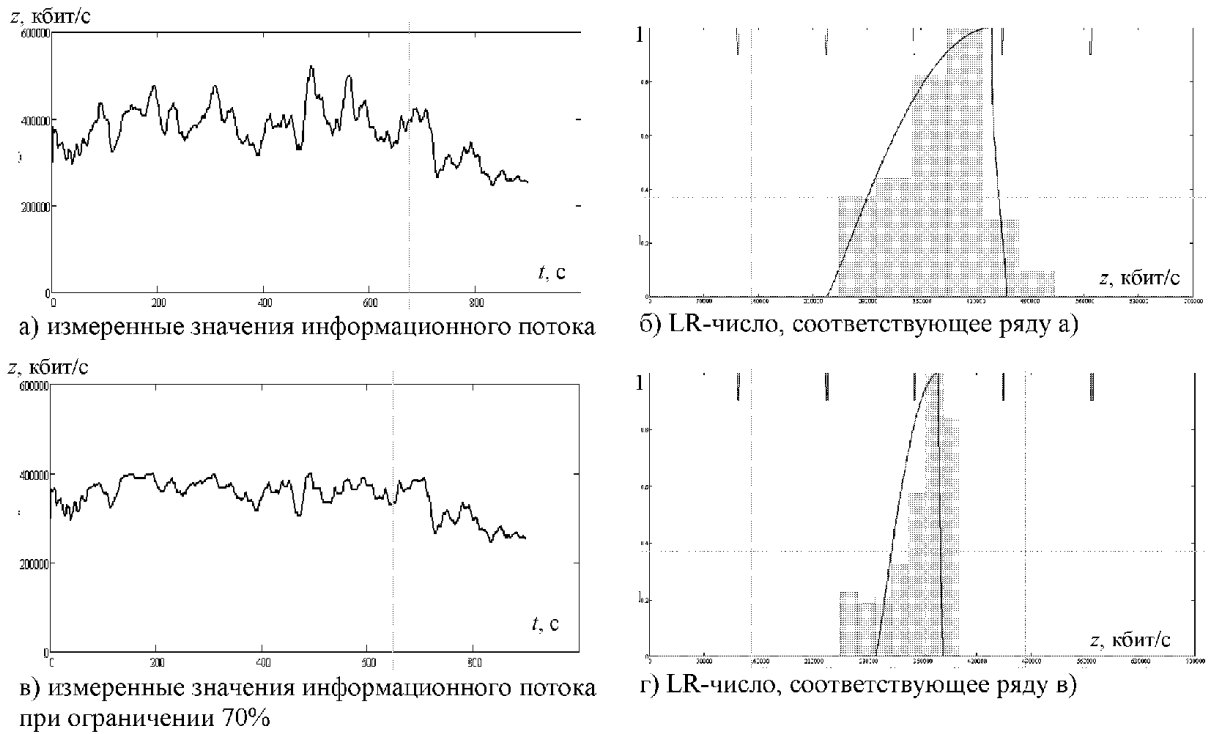


Рисунок 4.18 - Структура виртуального комплекса для проведения моделирования в среде pfSense

Экспериментальные дефазифицированные результаты до введения полученных с помощью предлагаемой процедурной модели путей передачи информационных потоков приведены на рисунке 4.19, расчетные и экспериментальные с учетом путей – на рисунках 4.20-4.21.

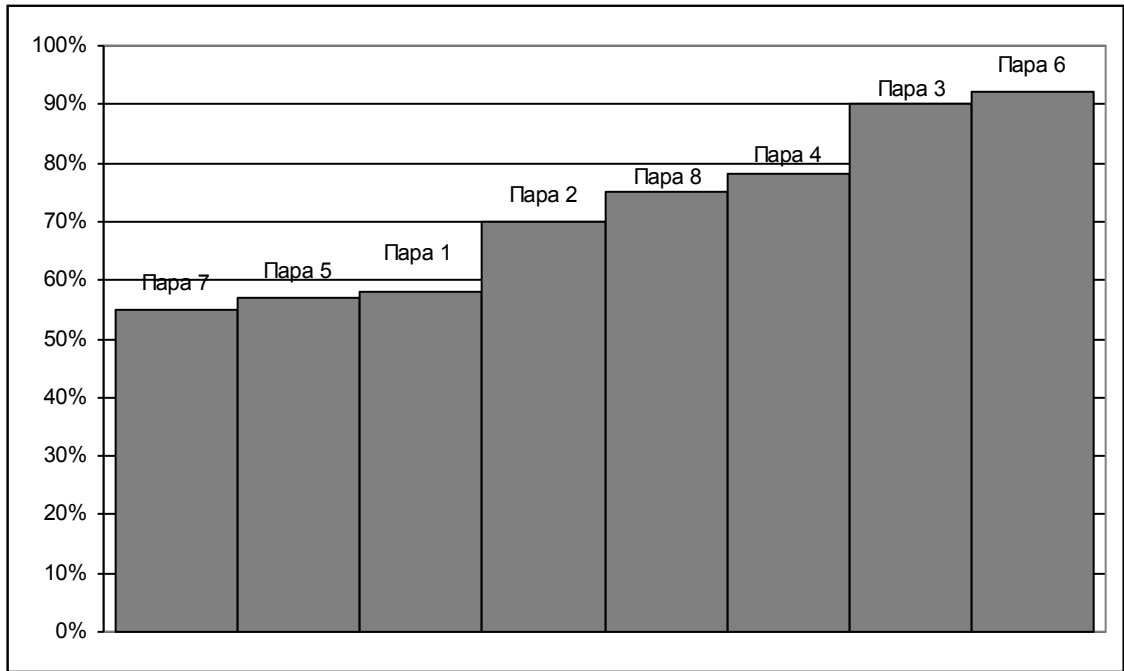


Рисунок 4.19 - Диаграмма уровней обеспеченности в режиме чередования потоков

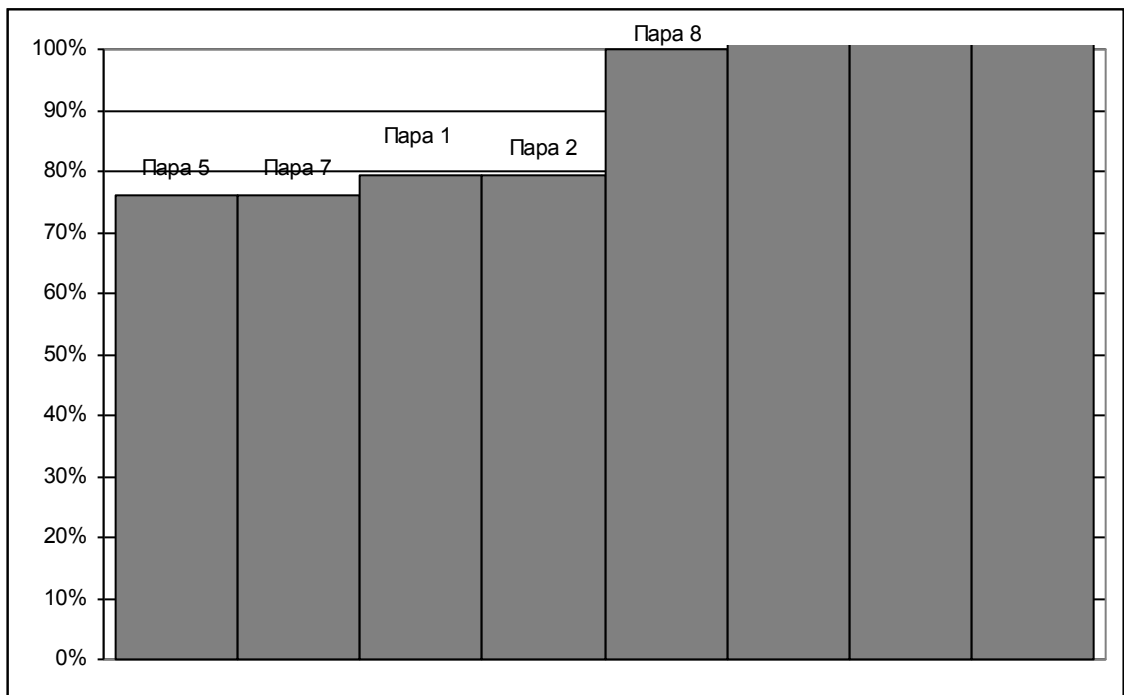


Рисунок 4.20 - Расчетная диаграмма уровней обеспеченности, полученная с помощью предложенной процедурной модели

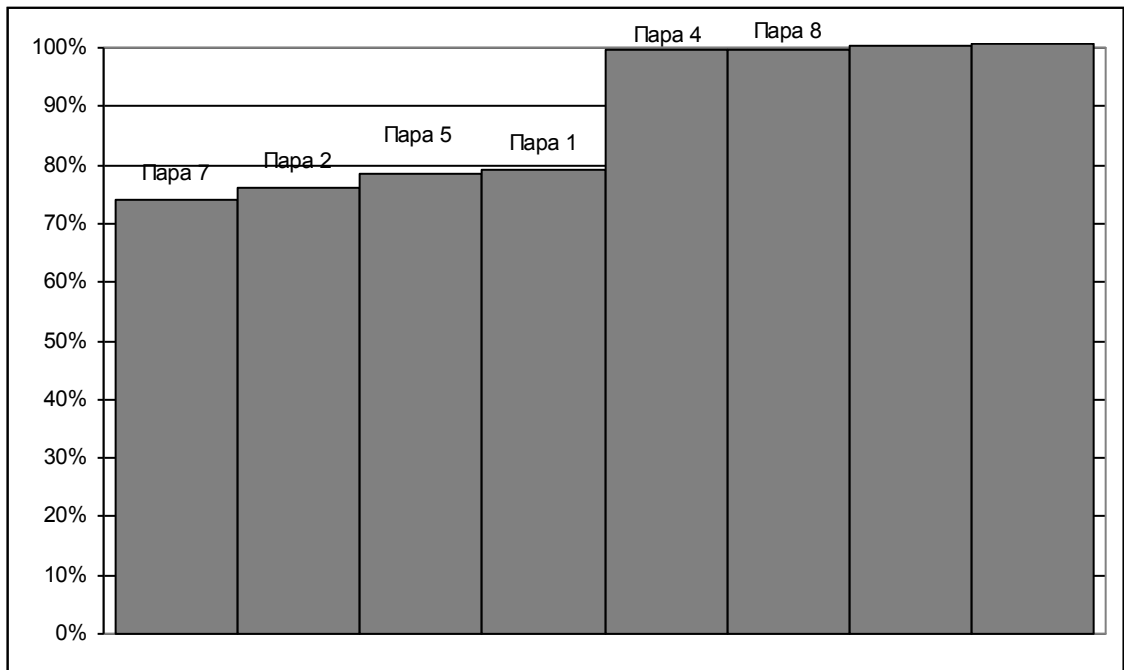


Рисунок 4.21 - Экспериментальная диаграмма уровней обеспеченности.

## **Выводы по четвертой главе**

В четвертой главе была представлена и описана структура программного обеспечения для определения оптимального распределения информационных потоков в СИС.

Была приведена выбранная среда реализации ИС и разработанные формы интерфейса пользователя. В качестве среды реализации выбрана бесплатная среда разработки MS Visual Studio 2010 Express с использованием ряда бесплатных специализированных библиотек. Для реализации пользовательского интерфейса была использована система WPF. В качестве СУБД был выбран Microsoft 2008 SQL Server. Семейство продуктов Microsoft SQL Server считается одним из самых удачных продуктов компании Microsoft, обладая, к тому же, привлекательным соотношением стоимость/функционал, по сравнению с иными коммерческими СУБД.

С использованием разработанных моделей, был проведен вычислительный эксперимент на экспериментальной СИС. Виртуальный стенд был реализован в средах виртуализации оборудования VmWare и GNS, с использованием элементов СИС, базирующихся на ОС Windows, FreeBSD, Ubuntu, Debian. Проведенный вычислительный эксперимент показал работоспособность и адекватность приведенных моделей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коротко сформулируем основные результаты диссертационного исследования:

1. Построена аналитическая модель представления формы нечеткого LR-числа, позволяющая строить функции принадлежности LR-числа, с заданной точностью соответствующие параметрам СИС.

2. Построена аналитическая модель двухэтапной оптимизационной задачи распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах, позволяющая учитывать нечеткость параметров СИС (пропускные способности элементов структуры, пропускные способности элементов структуры, объемы передаваемых информационных потоков и ограничения).

3. Построена процедурная модель распределения информационных потоков в СИС, позволяющая определять для исследуемой СИС эффективное распределение информационных потоков.

Проведенное имитационное моделирование функционирования СИС с применением разработанных моделей показало, что при их использовании эффективность функционирования исследуемой СИС увеличивается в среднем на 15%-20%.

В диссертации решена научная задача – построены модели: определения коэффициентов нечетких LR-чисел, соответствующих параметрам информационных потоков и элементов структуры СИС, и распределения информационных потоков в СИС, что позволяет сделать вывод о выполнении цели исследования.

**Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.** Разработанные модели целесообразно применять в организациях и учреждениях, занимающихся оказанием услуг по передаче информационных потоков, либо имеющих разветвленную сетевую структуру с необходимостью передачи значительных информационных потоков.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Авен, О.И. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем / О.И. Авен, Н.Н. Гурин, Я.А. Коган. – М.: Наука, 1982. – 464 с.
2. Алесинская, Т.В. Основы логистики. Общие вопросы логистического управления / Т.В. Алесинская. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 121 с.
3. Алёшкин, А.С. Динамическая модель обработки и перколяции стохастических данных в сетях с упорядоченной и случайной структурой : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.13 / Алёшкин Антон Сергеевич.- Москва, 2008.- 187 с.
4. Алтунин, А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень: Изд. Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
5. Башарин, В.Г. Анализ очередей в вычислительных сетях / В.Г. Башарин. – М.: Наука, 1989. – 334 с.
6. Башарин, В.Г. Модели информационно-вычислительных систем / В.Г. Башарин. – М.: Наука, 1993. – 69 с.
7. Башарин, Г.П. Модели информационно-вычислительных систем: сборник науч. трудов / Г.П. Башарин. – М.: Наука, 1994. – 78 с.
8. Белман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Белман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений: Сб. переводов / Под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Мир, 1976. – С. 173 – 215.
9. Берштейн, Л.С. Нечеткие графы и гиперграфы / Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк. – М.: Научный мир, 2005. – 256 с.
10. Богуславский, Л.Б. Управление потоками данных в сетях ЭВМ / Л.Б. Богуславский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.
11. Боженюк, А.В. Анализ и исследование потоков и живучести в транспортных сетях при нечетких данных / А.В. Боженюк, И.Н. Розенберг, Т.А. Старостина. – М.: Научный мир, 2006. – 136 с.
12. Борисенко, А.И. Векторный анализ и начала тензорного исчисления / А.И. Борисенко, И.Е. Тарапов. – М.: Высшая школа, 1966. – 252 с.

13. Бройдо, В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебник для вузов / В.Л. Бройдо, О.П. Ильина. – 4-е изд. – СПб.: Питер. - 2011. – 560 с.
14. Будко, П.А. Выбор пропускных способностей каналов при синтезе сети связи в условиях изменяющейся нагрузки / П.А. Будко // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2000. – Т.3. – №3-4. – С. 68-72.
15. Будко, П.А. Управление в сетях связи. Математические модели и методы оптимизации: монография / П.А. Будко, В.В. Федоренко. – М.: Изд. физико-математической литературы, 2003. – 228 с.
16. В ближайшие четыре года нас ждет четырехкратный рост объема интернет-трафика / Компания Cisco. – 2012. – Режим доступа: <http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/2012/060112a.html>.
17. Векуа, И.Н. Основы тензорного анализа и теория ковариантов / И.Н. Векуа. – М.: Наука, 1978. – 296 с.
18. Вишневский, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский. – М: Техносфера, 2003 – 512с.
19. Воеводин, В.В. Математические модели и методы в параллельных процессах / В.В. Воеводин. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1986. – 296 с.
20. Вятчинин, Д.А. Нечеткие методы автоматической классификации: Монография / Д.А. Вятчинин. – Мн.: Технопринт, 2004. – 219 с.
21. Городецкий, А.Я. Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. Учебное пособие / А.Я. Городецкий, В.С. Заборовский. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000 – 102 с.
22. ГОСТ Р 51583-2000. Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения. — Введ. 2001-12-28. — М. : Госстандарт России, 2000. — 12 с.
23. Гриншпан, Л.А. Методы анализа стохастических сетевых моделей вычислительных систем / П. Гриншпан; под ред. В.С. Танаева. – М.: Наука и техника, 1988. – 128 с.
24. Громов, Ю. Ю. Синтез и анализ живучести сетевых систем:



монография / Ю. Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов, О.Г. Иванова – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2007. – 152 с.

25. Громов, Ю.Ю. Фрактальный анализ и процессы в компьютерных сетях. Учебное пособие / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, О.Г. Иванова и др. - Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2004 - 108 с.

26. Давыдов, Г.Б. Сети электросвязи / Г.Б. Давыдов, В.Н. Рогинский, А.Я. Толчан. – М.: Связь, 1977. – 360 с.

27. Давыдов, Э.Г. Игры, графы, ресурсы / Э.Г. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1981. – 113 с.

28. Димитриенко, Ю.И. Тензорное исчисление: учебное пособие для вузов / Ю.И. Димитриенко. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.

29. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990 – 288 с.

30. Ермаков, С.М. Математический эксперимент с моделями сложных стохастических систем / С.М. Ермаков, В.Б. Мелос. – СПб.: изд. СПб. ГУ. 1992. – 268 с.

31. Жожикашвили, В.А. Сети массового обслуживания / В.А. Жожикашвили, В.М. Вишневский. – М.: Радио и связь, 1988. – 192 с.

32. Заде, Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / Л.А. Заде // Математика сегодня / Сост. А.В. Шилейко. – М.: Знания, 1974. – С. 5-48.

33. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 164 с.

34. Зайченко, Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонга. – К.: Техника, 1986. – 167 с.

35. Иванов, А.В. Разработка и исследование алгоритмов прогнозирования и управления очередями в компьютерных сетях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Иванов Алексей Валентинович. – СПб., 2001. – 147 с.

36. К 2015 году объем интернет-трафика в России может вырасти впятеро по сравнению с 2010 годом / Компания Cisco. – 2011. – Режим доступа:

<http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/2011/060611b.html>.

37. Клейнрок, Л. Вычислительные сети с очередями / Л. Клейнрок; пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 595 с.

38. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок; пер. с англ. И.И. Грушко; под ред. В.И. Неймана. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

39. Козловский, А. Л. Модели, методы и алгоритмы распределения ресурсов виртуализованных вычислительных кластеров: автореф. дис. ... Канд. техн. наук: 05.13.05 / Козловский Александр Львович. – М., 2012. – 21 с.

40. Колесов, А. Технологии виртуализации – что это такое / А. Колесов. - 2009. – Режим доступа: <http://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=14808>.

41. Корбут, А.А. Дискретное программирование / А.А. Корбут, Ю.Ю. Финкельштейн. – М.: Наука, 1969. – 370 с.

42. Коренев, Г.В. Тензорное исчисление: учебное пособие для вузов / Г.В. Коренев. – М.: изд. МФТИ, 2000. – 240 с.

43. Костерев, В.В. Агрегирование вероятностной и нечеткой информации в задачах оценки риска / В.В. Костерев // Инженерная физика. - 2000. - №4. - С. 8-12.

44. Котенко, И. В. Моделирование противоборства программных агентов в Интернете: общий подход, среда моделирования и эксперименты: научное издание / И. В. Котенко, А. В. Уланов // Защита информации. Инсайд. - 2006. - № 5. - С. 48-56

45. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман; пер. с фр.; под ред. С.И. Травкина. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

46. Кроновер, Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах / Р.М. Кроновер. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.

47. Круглов, В.В. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю.Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 221 с.

48. Кузьмин, В.Б. Построение групповых решений в пространствах четких и нечетких бинарных отношений / В.Б. Кузьмин. – М.: Наука, 1982. – 168 с.

49. Кузьмин, В.Б. Теория нечетких множеств в задачах управления и принципах устройства нечетких процессоров / В.Б. Кузьмин, С.И. Травкин // Обзор зарубежной литературы. Автоматика и телемеханика. – 1992. – № 11. – С. 3-36.
50. Лазарев, В.Г. Динамическое управление потоками информации в сетях связи / В.Г. Лазарев, Ю.В. Лазарев. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.
51. Леденева, Т.М. Обработка нечеткой информации / Т.М. Леденева. – Воронеж: ВГУ, 2006. – 233 с.
52. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах / Э. Майника. – М.: Мир, 1981. – 326 с.
53. Малашенко, Ю.Е. Модели неопределенности в многопользовательских сетях / Ю.Е. Малашенко, Н.М. Новикова. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 160 с.
54. Михалевич, В.С. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования / В.С. Михалевич, В.А. Трубин, Н.З. Шор. – М.: Наука, 1986. – 264 с.
55. Морозов, А.Д. Введение в теорию фракталов / А.Д. Морозов. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 159 с.
56. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин [и др.]; под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 316 с.
57. Нечеткие множества и теория возможностей: Последние достижения / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 406 с.
58. Норенков, И.П. Метагенетический алгоритм оптимизации и структурного синтеза проектных решений / И.Н. Норенков, Н.М. Арутюнян // Информационные технологии. – 2007. - №3. – С. 10-13.
59. Норенков, И.П. Сравнительный анализ эффективности эволюционных методов на примере задачи синтеза расписаний / И.Н. Норенков, Н.М. Арутюнян, А.А. Бондаренко // Информационные технологии. – 2006. - №5. – С. 16-20.
60. Павлов, А.Н. Принятие решений в условиях нечеткой информации:

учеб. пособие / А.Н. Павлов, Б.В. Соколов. – СПб.: ГУАП, 2006 – 72 с.

61. Пасечников, И.И. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей: монография / И.И. Пасечников. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004. – 216 с.

62. Первин, А. Ю. Система управления специализированными виртуальными инструментами с механизмами оптимального распределения вычислительных ресурсов: автореф. дис. ... Канд. техн. наук: 05.13.11 / Первин Артем Юрьевич. – Переславль-Залесский, 2009. – 23 с.

63. Победря, Б.Е. Лекции по тензорному анализу / Б.Е. Победря. – М.: изд. Московского ун-та, 1979. – 214 с.

64. Райзберг, Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.Ш. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. – 2-е изд., испр. – М.: ИНФРА-М. – 1999. – 479 с.

65. Рахман, П. А. Разработка методики повышения эффективности использования вычислительных ресурсов при применении технологии виртуальных машин: автореф. дис. ... Канд. техн. наук: 05.13.13 / Рахман Павел Азизурович. – М., 2005. – 20 с.

66. Рашевский, П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ / П.К. Рашевский. – М.: Наука, 1964. – 664 с.

67. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

68. Советов, Б.Я. Информационные технологии. / Б.Я. Советов, В.В. Цехановский. - 2-е изд., стер. - М.: Высш. шк. - 2006. — 223 с.

69. Советов, Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 343с.

70. Советов, Б.Я. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации / Б.Я. Советов, О.И. Кутузов, Ю.А. Головин, Ю.В. Аветов. - М.: Высш. шк. - 1987. - 256 с.

71. Столингс, В. Современные компьютерные сети / В. Столингс. – 2-е

изд. – СПб: Питер, 2003. – 784 с.

72. Схоутен, Я.А. Тензорный анализ для физиков / Я.А. Схоутен; пер. с англ.; под ред. И. В. Кеппена. – М.: Наука, 1965. – 456 с.

73. Такеда, Э. Связность расплывчатых графов / Э. Такеда // Вопросы анализа и процедуры принятия решений: Сб. переводов / Под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Мир, 1976. – С. 173–215.

74. Таха, Хэмди, А. Введение в исследование операций / Хэмди А. Таха. – 7-е изд. - М: Издательский дом «Вильямс». – 2005. – 912 с.

75. Федорова, М.Л. Об исследовании свойства самоподобия трафика мультисервисной сети / М.Л. Федорова, Т.М. Леденева // Вестник ВГУ. Серия: системный анализ и информационные технологии. — 2010. — № 1. — С. 46 – 54.

76. Филлипс, Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 496 с.

77. Форд, Л.Р. Потоки в сетях / Л.Р. Форд, Д.Р. Фалкерсон. – М.: Мир, 1966. – 276 с.

78. Фрэнк, Г. Сети, связи и потоки / Г. Фрэнк, И. Фриш; пер. с англ.; под ред. Д. А. Поспелова. – М: Связь, 1978. – 448 с.

79. Ху, Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях / Т. Ху. – М.: Мир, 1974. – 520 с.

80. Шапиро, Д.И. Выбор решений при нечетком описании системы / Д.И. Шапиро, А.Ф. Блищук // Алгоритмы и программы. – 1978. – № 1. – С. 75.

81. Шапиро, Д.И. Принятие решений в системах организованного управления: использование расплывчатых категорий / Д.И. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.

82. Янбых, Г.А. Оптимизация информационно вычислительных сетей / Г.А. Янбых, Б.А. Столяров. – М.: Радио и связь, 1987. – 232 с.

83. ALGLIB – кросс-платформенная библиотека численного анализа. – 2011. – Mode of access: <http://alglib.sources.ru>.

84. An implementation of a combinatorial approximation algorithm for minimum-cost multicommodity flow / A.V. Goldberg [and others] // Lecture Notes in

Computer Science . – 1998. – Volume 1412: Integer Programming and Combinatorial Optimization / Jeffrey D. Oldham , Serge Plotkin , Cliff Stein. – P. 338–352.

85. Bienstock, D. Experiments with a network design algorithm using e-approximate linear programs / D. Bienstock. – 1996. – Mode of access: [www.columbia.edu/~dano/papers/znet.ps](http://www.columbia.edu/~dano/papers/znet.ps).

86. Carbone, M. Dummynet Revisited / M. Carbone, L. Rizzo. – Mode of access: <http://info.iet.unipi.it/~luigi/papers/20091201-dummynet.pdf>.

87. Chanas, S. Maximum flow in a network with fuzzy arc capacities / S. Chanas, W. Kolodziejczyk // Fuzzy Sets and Systems. – 1982. – №8. – P. 165-173.

88. Chanas, S. Real-valued flows in a network with fuzzy arc capacities / S. Chanas, W. Kolodziejczyk // Fuzzy Sets and Systems. – 1984. – №13. – P. 139-151.

89. Diamond, P. Extended fuzzy linear models and least squares estimates / P. Diamond, R. Körner // Computers & Mathematics with Applications. – 1997. – №33. – P. 34-56.

90. Fast approximation algorithms for multicommodity flow problems / T. Leighton [and other] // Journal of Computer and System Sciences. – 1995. – №50. – P. 228–243.

91. Faster approximation algorithms for the unit capacity concurrent flow problem with applications to routing and finding sparse cuts / P. Klein [and other] // SIAM Journal on Computing. – 1994. – №23. – P. 466–487.

92. Fleischer, L. Approximating fractional multicommodity flow independent of the number of commodities / L. Fleischer // SIAM Journal on Discr. Math. – 2000. – №13. – P. 505-520.

93. Ford, L.R. Flows in networks / L.R. Ford, D.R. Fulkerson. – Princeton: Princeton University Press, 1962. – 276 p. .

94. Ford, L.R. Maximal flow through a network / L.R. Ford, D.R. Fulkerson // Canadian Journal of Mathematics. – 1962. – Vol. 8. – P. 399-404.

95. Freeman, A. Pro .NET 4 Parallel Programming in C# / A. Freeman. – Apress, 2010. – 328c.

96. Fujimoto, R.M. Network Simulation // R.M. Fujimoto, K.S. Perumalla,

G.F. Riley. – Morgan & Claypool Publishers, 2007 – 72 c.

97. Garg, N. Faster and simpler algorithms for multicommodity flow and other fractional packing problems / N. Garg, J. Konemann // In 39th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science. – 1998. – P. 300–309.

98. Geer, J.F. A mathematical analysis of information-preserving transformations between probabilistic and possibilistic formulations of uncertainty / J.F. Geer, G.J. Klir // Int. J. of General Systems. – 1997. – Vol. 26. – No. 3. – P. 265-290.

99. Grigoriadis, M.D. Approximate minimum-cost multicommodity flows / M.D. Grigoriadis, L.G. Khachiyan // Mathematical Programming. – 1996. – №75. – P. 477–482.

100. Grigoriadis, M.D. Coordination complexity of parallel price-directive decomposition / M.D. Grigoriadis, L.G. Khachiyan // Mathematics of Operations Research. – 1996. – №21. – P. 321–340.

101. Grigoriadis, M.D. Fast approximation schemes for convex programs with many blocks and coupling constraints / M.D. Grigoriadis, L.G. Khachiyan // SIAM Journal on Optimization. – 1994. – №4. – P. 86–107.

102. Karakostas, G. Faster approximation schemes for fractional multicommodity flow problems / G. Karakostas // Proceedings of the thirteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. – 2002. – P. 166-173.

103. Karger, D. Adding multiple cost constraints to combinatorial optimization problems, with applications to multicommodity flows / D. Karger, Plotkin // Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on Theory of Computing. – 1995. – P. 18–25.

104. Knuth, K.H. Optimal data-based binning for histograms / K.H. Knuth. – 2013. – Mode of access: <http://arxiv.org/pdf/physics/0605197.pdf>.

105. Leong, T. Implementation of a combinatorial multicommodity flow algorithm / T. Leong, P. Shor, C. Stein. // In David S. Johnson and C. McGoech, editors, DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science: The First DIMACS Implementation Challenge: Network Flows and Matchings. – 1993. – Vol. 12. – P. 387–405.

106. MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation. – Mode of access: <http://www-tkn.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.html>.
107. Plotkin, S.A. Fast approximation algorithms for fractional packing and covering problems / S.A. Plotkin, D. Shmoys, E. Tardos // Mathematics of Operations Research. – 1995. – Vol. 20. – P. 257–301.
108. Radzik, T. Fast deterministic approximation for the multicommodity flow problem / T. Radzik // In Proceedings of the 6th Annual ACM/SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA). – 1995. – P. 486–492.
109. Rizzo, L. The dummynet project / L. Rizzo. – Mode of access: <http://info.iet.unipi.it/~luigi/dummynet>.
110. Shahrokhi, F. The maximum concurrent flow problem / F. Shahrokhi, D.W. Matula // Journal of Association for Computing Machinery. – 1990. – Vol. 37. – P. 318–334.
111. Shams, R. Efficient histogram algorithms for NVIDIA CUDA compatible devices / R. Shams, R.A. Kennedy. – 2007. – Mode of access: <http://csce.uark.edu/~jgauch/library/papers/Shams.2007.pdf>.
112. Shmoys, D.B. Cut problems and their application to divide-and-conquer / D.B. Shmoys // Approximation Algorithms for NP-Hard Problems / D. S. Hochbaum, editor. – Boston: PWS Publishing Company, 1997. – P. 192–235.
113. Weingärtner E. A performance comparison of recent network simulators / E. Weingärtner, L. Hendrik, W. Klaus // ICC'09 Proceedings of the 2009 IEEE international conference on Communications. – 2009. – P. 1287-1291.
114. Yager, R.R. A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval / R.R. Yager // Information Sciences. – 1981. – № 24. – № 2. – P. 143–161.
115. Young, N. Randomized rounding without solving the linear program / N. Young // ACM/SIAM Proceedings of the 6th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. – 1995. – P. 170–178.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А. Копии свидетельств о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2012610905

Программа определения максимально соответствующих  
входным статистическим данным параметров функции  
принадлежности и нечетких LR-чисел

Правообладатель(ли): *Осин Вячеслав Николаевич (RU)*Автор(ы): *Осин Вячеслав Николаевич (RU)*

Заявка № 2011617527

Дата поступления 11 октября 2011 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
20 января 2012 г.Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2012610066

Анализ функционирования сетевой информационной системы

Правообладатель(ли): *Осин Вячеслав Николаевич (RU)*Автор(ы): *Осин Вячеслав Николаевич (RU)*

Заявка № 2011616443

Дата поступления 25 августа 2011 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
10 января 2012 г.Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной  
собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Копии актов о реализации результатов исследования


 «УТВЕРЖДАЮ»  
 Директор Тамбовского филиала  
 НАЧОУ ВПО Современная  
 гуманитарная академия  
 Римская М.С.  
 «17» декабря 2014 г.

### АКТ

#### об использовании результатов кандидатской диссертационной работы Осина Вячеслава Николаевича

Комиссия в составе: председатель – зам. директора ТФ НАЧОУ ВПО СГА Римский В.С., члены комиссии: старший менеджер Карева О.Н., ответственный за НИР, менеджер Филимонов Н.В., составила настоящий акт о том, что результаты, полученные в ходе диссертационного исследования Осиним В.Н. по теме «Эффективное распределение информационных потоков в сетевой информационной системе на основе нечетких моделей»: аналитические модели - представления формы нечеткого LR-числа, двухэтапной оптимизационной задачи распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах, процедурная модель распределения информационных потоков в СИС, а также их программные реализации, используются в учебном процессе Тамбовского филиала НАЧОУ ВПО Современная гуманитарная академия при обучении студентов направления «Информатика» в рамках дисциплин «Сетевые технологии», «Сети ЭВМ и телекоммуникации», «Интеллектуальные информационные системы», «Моделирование систем», «Методы оптимизации», что дало возможность повысить качество и эффективность учебного процесса.

Председатель комиссии:

 \_\_\_\_\_ Римский В.С.

Члены комиссии:

 \_\_\_\_\_ Карева О.Н.

 \_\_\_\_\_ Филимонов Н.В.

«УТВЕРЖДАЮ»  
 Зам. генерального директора по  
 безопасности  
 ОАО "ЗАВКОМ"

Р.И. Галиуллин  
 « 19 » декабря 2012 г.



#### АКТ

об использовании результатов диссертационной работы Осина Вячеслава Николаевича на соискание учёной степени кандидата технических наук по теме «Эффективное распределение информационных потоков в сетевой информационной системе на основе нечетких моделей»

Комиссия в составе: председатель – заместитель генерального директора по безопасности Галиуллин Р.И.; члены комиссии: начальник БСТО ОИТ Зуйков М.В., начальник БИРиСПО ОИТ Дубинкина А.А., составила настоящий акт о том, что результаты, полученные в ходе диссертационного исследования Осиним В.Н. – аналитическая модель двухэтапной оптимизационной задачи распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах, процедурная модель распределения информационных потоков и их программные реализации используется в работе открытого акционерного общества "Гамбовский завод "Комсомолец" имени Н.С. Артемова" при оптимизации функционирования СИС предприятия и для распределения передаваемых информационных потоков.

Председатель комиссии:

\_\_\_\_\_/ Р.И. Галиуллин

Члены комиссии:

\_\_\_\_\_/ Зуйков М.В.

\_\_\_\_\_/ Дубинкина А.А.



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

ОСИНА ВЯЧЕСЛАВА НИКОЛАЕВИЧА

на тему: «Эффективное распределение информационных потоков в сетевой  
информационной системе на основе нечетких моделей»

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 ОСИНА ВЯЧЕСЛАВА НИКОЛАЕВИЧА 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  
 ЗАО «ПРОКМА-ТЕЛЕКОМ»

П.В. Шилонов

2014 г.



АКТ

**внедрения результатов диссертационной работы Осина Вячеслава Николаевича на соискание учёной степени кандидата технических наук по теме «Эффективное распределение информационных потоков в сетевой информационной системе на основе нечетких моделей»**

Комиссия в составе: председатель – Генерального директора Шилонова П.В., члены комиссии: начальник коммерческого отдела Дворецковой Е.Ю., специалист группы технической поддержки Лимонова Д.И. составила настоящий акт о том, что полученные в ходе диссертационного исследования результаты – программные реализации разработанных аналитических и процедурных моделей распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах используются в ЗАО "ПРОКМА-ТЕЛЕКОМ" для оценки эффективности функционирования СИС. За счет применения представленных результатов диссертационного исследования при исследовании СИС различной структуры и сложности, соответствующих требованиям клиентов, удалось на 13-17% повысить эффективность функционирования разрабатываемых для нужд заказчиков решений.

Председатель комиссии:

\_\_\_\_\_/ П.В. Шилонов

Члены комиссии:

\_\_\_\_\_/ Е.Ю. Дворецкова

\_\_\_\_\_/ Д.И. Лимонов



**АКТ**  
**внедрения результатов диссертационной работы Осина Вячеслава Николаевича на**  
**соискание учёной степени кандидата технических наук по теме «Эффективное**  
**распределение информационных потоков в сетевой информационной системе на**  
**основе нечетких моделей»**

Комиссия в составе: председатель – заместитель генерального директора Якунин Д.В., члены комиссии: технический директор Зубакин И.С., системный администратор Иванов М.А. составила настоящий акт о том, что полученные в ходе диссертационного исследования результаты – аналитическая модель двухэтапной оптимизационной задачи распределения информационных потоков в СИС при нечетких параметрах, процедурная модель распределения информационных потоков и их программные реализации используются в ООО "ЛАНТА" при разработке структур корпоративных информационных систем клиентов и для исследования эффективности функционирования эксплуатируемой СИС предоставления услуги широкополосного доступа к сети Интернет с целью выявления линий связи, наращивание пропускных способностей которых позволяет увеличить выполнение требований на передачу информационных потоков, что в итоге привело к повышению на 12,7 % эффективности функционирования СИС.

Председатель комиссии: \_\_\_\_\_ / Якунин Д.В.

Члены комиссии: \_\_\_\_\_ / Зубакин И.С.

\_\_\_\_\_ / Иванов М.А.