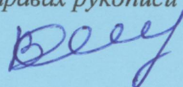


На правах рукописи



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)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Тамбов – 2014

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»).

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор
Громов Юрий Юрьевич

Официальные оппоненты:

Сумин Виктор Иванович,

доктор технических наук, профессор, Федеральное казенное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский институт ФСИН России», кафедра управления и информационно-технического обеспечения, профессор

Седых Ирина Александровна,

кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет», кафедра высшей математики, доцент

Ведущая организация

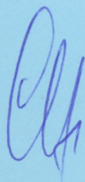
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана» (г. Москва)

Защита состоится 27 июня 2014 г. в 13 ч на заседании диссертационного совета Д 212.260.05 при ФГБОУ ВПО «ТГТУ» по адресу: г. Тамбов, ул. Ленинградская, д. 1, ауд. 160.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «ТГТУ» www.tstu.ru.

Автореферат разослан «25» апреля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Селиванова Зоя Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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, передача информационных потоков в сети Интернет за ближайшие четыре года увеличится в 4 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 характеристик информационных потоков, так как используются усредненные значения, 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 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 ее функционирования. Поэтому вопросы, связанные с поиском эффективного распределения информационных потоков в СИС, основанные на применении интеллектуальных методов раскрытия неопределенности (пропускных способностей элементов СИС, объемов передаваемых информационных потоков и требований к ним), становятся актуальными.

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

Вопросы производительности потоковых сетей рассмотрены в работах N. Garg, D. B. Shmoys, S. Plotkin, A. V. Goldberg, L. Fleischer. 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 Р. В. Тыщук, М. Ghatee, Р. Diamond, R. Körner, Л. С. Берштейн, А. В. Боженюк рассмотрены оптимизационные

задачи в нечетких сетях, где проанализированы 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, который бы позволил осуществить бесконфликтную передачу информационных потоков.

Вышесказанное определяет **практическую задачу** – повышение эффективности функционирования СИС при передаче информационных потоков путем их оптимального распределения и соответствующую ей **научную задачу**, которая заключается 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.

Цель и задачи. Целью исследования является повышение эффективности функционирования СИС при передаче информационных потоков путем их распределения с помощью построенных нечетких аналитических и процедурных моделей. Для достижения поставленной цели были решены 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, требова-

ния 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 в целях 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 в целях ее 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. Разработана 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. Разработана 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. Разработана процедурная модель распределения информационных потоков в СИС, отличающаяся совместным использованием вполне полиномиальной аппроксимационной схемы (FPTAS) для решения задачи определения максимального конкурентного потока в целях 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;

использовании 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, 2008); VI Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в системе образования» (г. Тамбов, 2008); V Международной научно-практической конференции «Достижения ученых XXI века» (г. Тамбов, 2010); VI Международной научно-практической конференции «Глобальный научный потенциал» (г. Тамбов, 2010); Международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии» (г. Пенза, 2014).

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 негосударственного аккредитованного частного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Современная гуманитарная академия». Программные реализации разработанных моделей использованы для повышения эффективности функционирования СИС, использующихся в ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец» им. Н. С. Артемова», ООО «Ланта» (г. Тамбов), ЗАО «Прокма-Телеком» (г. Тамбов), что подтверждено актами о внедрении результатов исследования.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, получено 2 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, в получении результатов применения аналитических и процедурных моделей распределения информационных потоков в СИС.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, содержащего 115 наименований, и 2 приложений. Общий объем диссертации составляет 151 страницу, из них список использованных источников – 10 страниц. Основной текст работы содержит 58 рисунков и 14 таблиц.

Работа соответствует Паспорту специальности 05.25.05 «Информационные системы и процессы», 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 человеко-машинное взаимодействие».

Работа выполнена в рамках направления исследований научно-образовательного центра моделирования и управления информационными процессами и системами и информационной безопасности ФГБОУ ВПО «ТГТУ», в рамках научных школ ФГБОУ ВПО «ТГТУ» и Института радиотехники и электроники (ИРЭ) РАН, плана стратегического развития Института автоматики и информационных технологий ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** представлены актуальность выбранной темы, цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методы исследования, положения, выносимые на защиту, приведены данные о степени достоверности и апробации результатов исследования, о публикациях, о структуре и объеме диссертационной работы.

В главе 1 **«Анализ современного состояния и результатов моделирования процесса передачи информационных потоков в сетевых информационных системах»** рассмотрены методы моделирования СИС, представлен обзор моделей СИС, изучено применение вполне полиномиальных аппроксимационных схем для решения потоковых задач, а также рассмотрены существующие программные комплексы моделирования СИС.

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. В настоящее время существует целый ряд моделирующих систем, которые способны решать задачи анализа конфигурации исследуемой СИС и предоставления информации о возможных последствиях тех или иных изменений. Недостатками подобных систем являются закрытость механизмов, по которым они функционируют, высокая цена на них, зачастую излишняя детализация процессов СИС, необходимость знания внутренних процессов СИС, навыки программирования.

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 применять для решения оптимизационных задач распределения потоков в СИС.

Для проверки адекватности разработанных моделей в работе проведен 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.

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

Глава 2 «**Аналитические модели эффективного распределения информационного потока в сетевых информационных системах**» 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.

Процессы, происходящие в СИС при передаче информационных потоков, могут быть описаны в различных видах, но наиболее адекватным является описание на основе нечетких множеств. Это обусловлено невозможностью точных измерений значений информационных потоков, отклонениями мгновенных значений объемов передаваемых информационных потоков от их усредненных значений, неблагоприятными внешними воздействиями. Для учета нечеткости информации о параметрах СИС (пропускные способности элементов структуры, объемы передаваемых информационных потоков и требования к ним) предлагается использовать нечеткие LR-числа вида $A_{LR} = (A_M, A_L, A_R)$, где A_M – мода, A_L, A_R – коэффициенты нечеткости LR-числа A_{LR} . Для оперирования нечеткими LR-числами необходимо, чтобы они использовали одни и те же аналитические модели представления формы нечеткого числа $L(y)$ и $R(y)$ и в то же время, чтобы их функции принадлежности (1) были максимально приближены к наблюдаемым значениям параметров СИС.

$$\mu(x, A_{LR}) = \begin{cases} L\left(\frac{A_M - x}{A_L}\right) & \text{при } x \leq A_M; \\ R\left(\frac{x - A_M}{A_R}\right) & \text{при } A_M \leq x, \end{cases} \quad (1)$$

где $L(y)$ и $R(y)$ – аналитические модели представления формы нечеткого LR-числа.

Для достижения этой цели в качестве функций $L(y)$ и $R(y)$ предложена аналитическая модель представления формы нечеткого LR-числа вида (2), позволяющая построить числа с широким спектром форм функций принадлежности и заменить другие использующиеся для этих целей функции. Показано, что в ряде случаев использование данной модели позволяет с меньшей погрешностью формализовать исходные данные.

$$F(x, p1, p2) = \left(\max(0, 1 - |x|^{p1}) \right)^{p2}, \quad (2)$$

где $p1, p2$ – параметры функции, $p1 > 0, p2 > 0$.

Функция принадлежности LR-числа $A_{LR} = (A_M, A_L, A_R)$ примет вид

$$\mu(x, A_{LR}, l1, l2, r1, r2) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{A_M - x}{A_L} \right)^{l1} \right)^{l2} & \text{при } A_M - A_L < x \leq A_M; \\ \left(1 - \left(\frac{x - A_M}{A_R} \right)^{r1} \right)^{r2} & \text{при } A_M < x < A_M + A_R; \\ 0 & \text{иначе,} \end{cases} \quad (3)$$

где $A_L \leq A_M$, $l1, l2, r1, r2$ – параметры функции (2).

Для определения оптимальных коэффициентов функций $L(x)$ и $R(x)$, единых для всех чисел задачи, и LR-чисел, соответствующих параметрам информационных потоков и элементов структуры СИС, построена аналитическая модель оптимизационной задачи, в которой для определения коэффициентов необходимо найти глобальный минимум функции невязки высот столбцов построенных гистограмм плотности распределения измеренных значений наблюдаемых параметров СИС и функций принадлежности нечетких LR-чисел, которая с учетом (2) и (3) примет вид

$$\begin{aligned} F(X) &\rightarrow \min; \\ F(X) = FL(X) + FR(X) &= \sum_{v=1}^{|V|} \sum_{j=1}^{jm_v} \left(\left(1 - \left(\frac{M_v - x_{v,j}}{L_v} \right)^{l1} \right)^{l2} - h_{v,j} \right)^2 + \\ &+ \sum_{v=1}^{|V|} \sum_{j=jm_v+1}^{s_v} \left(\left(1 - \left(\frac{x_{v,j} - M_v}{R_v} \right)^{r1} \right)^{r2} - h_{v,j} \right)^2; \\ X &= \{l1, l2, r1, r2, M_1, L_1, R_1, \dots, M_{|V|}, L_{|V|}, R_{|V|}\}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $x_{v,j}, h_{v,j}$ – значения центра и высоты j -го столбца гистограммы v -го параметра; M_v, L_v, R_v – коэффициенты v -го LR-числа, $v \in \overline{1, |V|}$; $M_v \in (M_{\min_v}, M_{\max_v})$, $L_v \in (L_{\min_v}, L_{\max_v})$, $R_v \in (R_{\min_v}, R_{\max_v})$, $M_v \in (\underline{M}_v, \overline{M}_v)$, $L_v \in (0, M_v)$, $R_v \in (0, \overline{R}_v)$, $l1 > 0, l2 > 0, r1 > 0, r2 > 0$; s_v – количество столбцов гистограммы для v -го параметра, jm_v : $x_{v,j} \leq M_v$.

Для оценивания нижней границы выполнения требований на передачу информационных потоков при функционировании СИС предложен критерий, имеющий вид

$$\theta = \min_{i=1,m} \frac{\sum_{j=1}^{jm_{z_i}} \left(\left(1 - \left(\frac{M^* z_i - x_{z_i,j}}{L^* z_i} \right)^{l^*} \right)^{l_2^*} - h_{z_i,j} \right)^2 + \sum_{j=jm_{z_i}+1}^{s_{z_i}} \left(\left(1 - \left(\frac{x_{z_i,j} - M^* z_i}{R^* z_i} \right)^{r_1^*} \right)^{r_2^*} - h_{z_i,j} \right)^2}{\sum_{j=1}^{jm_{d_i}} \left(\left(1 - \left(\frac{M^* d_i - x_{d_i,j}}{L^* d_i} \right)^{l^*} \right)^{l_2^*} - h_{d_i,j} \right)^2 + \sum_{j=jm_{d_i}+1}^{s_{d_i}} \left(\left(1 - \left(\frac{x_{d_i,j} - M^* d_i}{R^* d_i} \right)^{r_1^*} \right)^{r_2^*} - h_{d_i,j} \right)^2}, \quad (5)$$

где d_i – требование к объему передаваемого информационного потока для i -й тяготеющей пары; z_i – величина информационного потока, которую в реальности может передать СИС. Величины с символом * являются оптимальным решением задачи (4).

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

$$F(\tilde{f}) \rightarrow \max; \\ F(\tilde{f}) = k_1 F1(\tilde{f}) + k_2 F2(\tilde{f}) + k_3 F3(\tilde{f}) + k_4 \theta \quad (6)$$

при ограничениях

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

где $k_1 - k_4$ – весовые коэффициенты, задаваемые лицом, принимающим решение; $k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1$; $F1(\tilde{f})$ 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 -й составляющей; $F3(\tilde{f})$ – суммарное выполнение требований тяготеющих пар; θ оценивает нижнюю границу обеспеченности требований; $\tilde{c}(e)$ – пропускная способность дуги e ; P – путь передачи информационного потока; $\tilde{f}(P)$ – объем информационного потока, передаваемого по пути P .

Приведенные аналитические модели (4) и (6) являются последовательными этапами двухэтапной модели, позволяют формализовать недетерминированную информацию о параметрах СИС в виде LR-чисел и определить оптимальное распределение информационных потоков.

В главе 3 «Процедурные модели эффективного распределения информационных потоков в сетевых информационных системах» представлены модели: распределения информационных потоков в СИС; определения коэффициентов нечетких чисел, соответствующих параметрам информационных потоков и элементов структуры СИС с использованием нечетких LR-чисел, аналитические модели которых были построены во второй главе диссертации.

На рисунке 1 представлена процедурная модель распределения информационных потоков в СИС. В блоке 2 осуществляется ввод исходных данных о тяготеющих парах P и структуре СИС G . В блоке 4 модели посредством FPTAS определяются возможные пути и объемы передаваемых информационных потоков с учетом накладываемых ограничений пропускной способности элементов структуры СИС, из которых в блоке 5 с помощью генетического алгоритма (ГА) выбираются такие, при которых максимальна эффективность функционирования СИС, соответствующая задаче (6). 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.

На рисунке 2 приведена процедурная модель определения коэффициентов LR-чисел, соответствующих параметрам информационных потоков и элементов структуры СИС. 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 (4) 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.

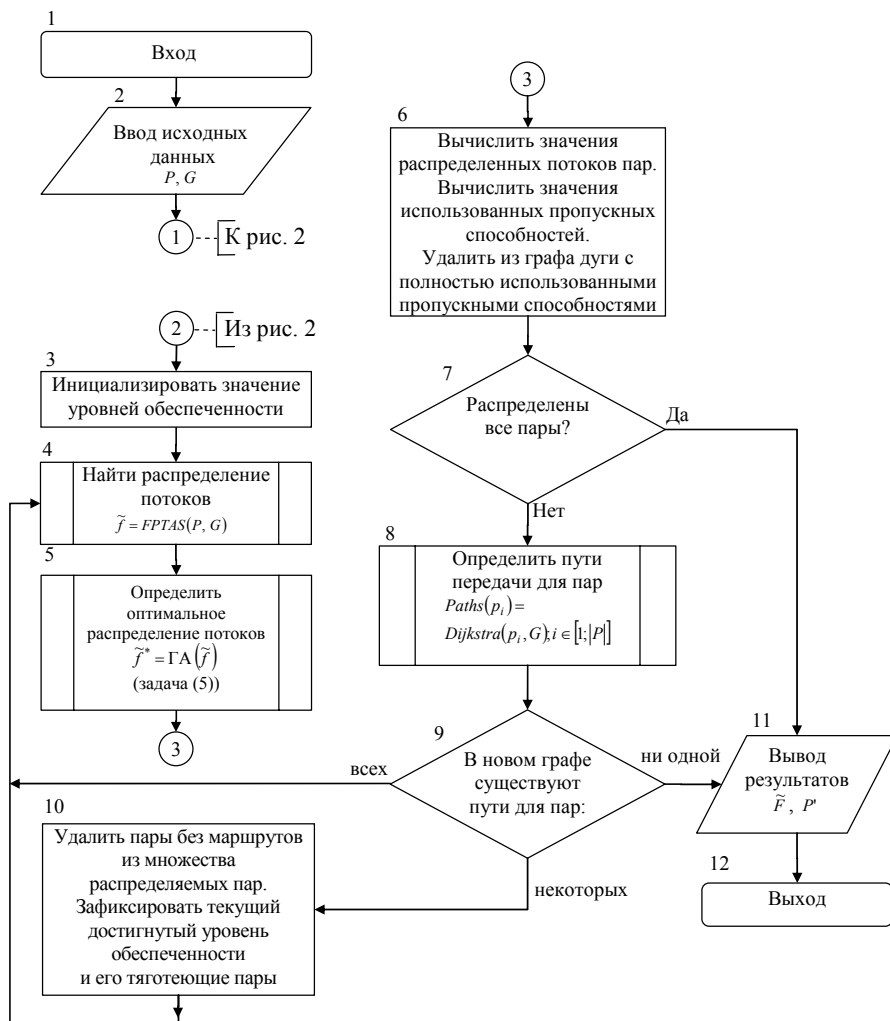


Рис. 1. Процедурная модель распределения информационных потоков в СИС (задача (6))

Предлагаемые процедурные модели позволяют определить эффективное распределение информационных потоков; вычислить оценку эффективности функционирования СИС; сделать вывод, насколько будут выполнены требования пользователей; определить, где будут находиться узкие места СИС, наращивание пропускных способностей которых позволит увеличить долю выполнения требований к СИС на передачу информационных потоков.

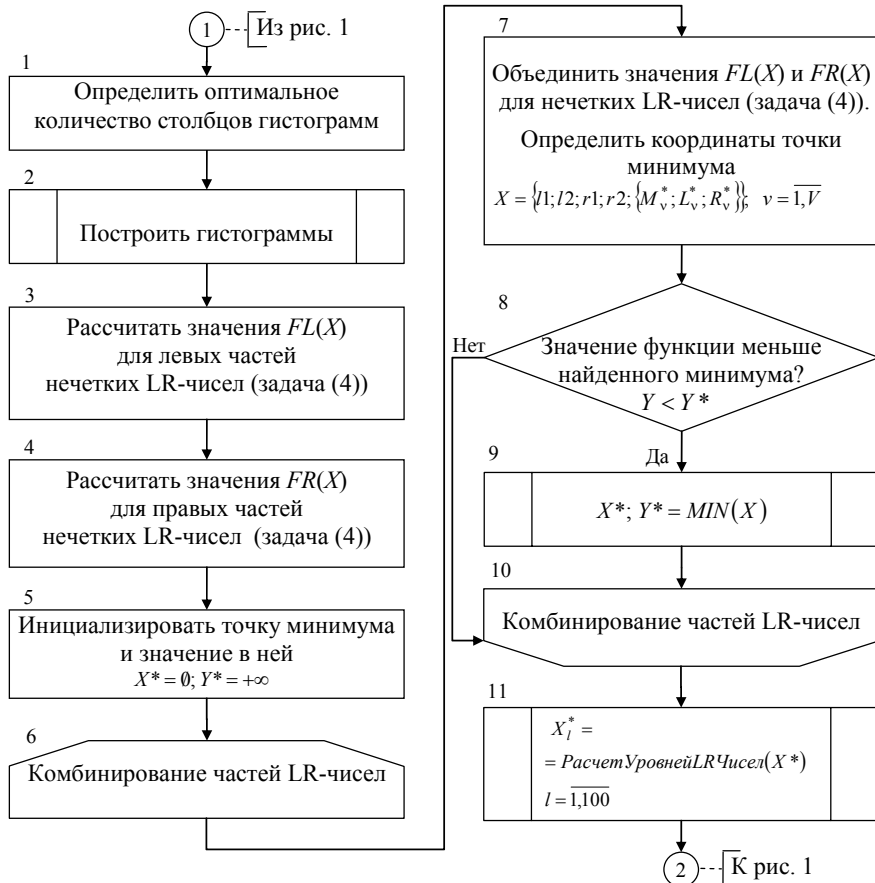


Рис. 2. Процедурная модель определения коэффициентов LR-чисел, соответствующих параметрам СИС (задача (4))

В главе 4 «Вычислительный эксперимент на разработанных моделях и проверка эффективности функционирования СИС» описаны структуры информационной системы анализа функционирования СИС, проведен выбор среды реализации, представлены формы интерфейса пользователя, результаты проведенного вычислительного эксперимента и проверки разработанных аналитических и процедурных моделей.

Для проверки адекватности разработанных моделей выполнена программная реализация разработанных во второй и третьей главах диссертации аналитических и процедурных моделей, структура которой приведена на рис. 3. Посредством блоков 2.1 – 2.5 осуществляется взаимодействие с пользователем, блок 4 служит для сбора статистической информации об информационных

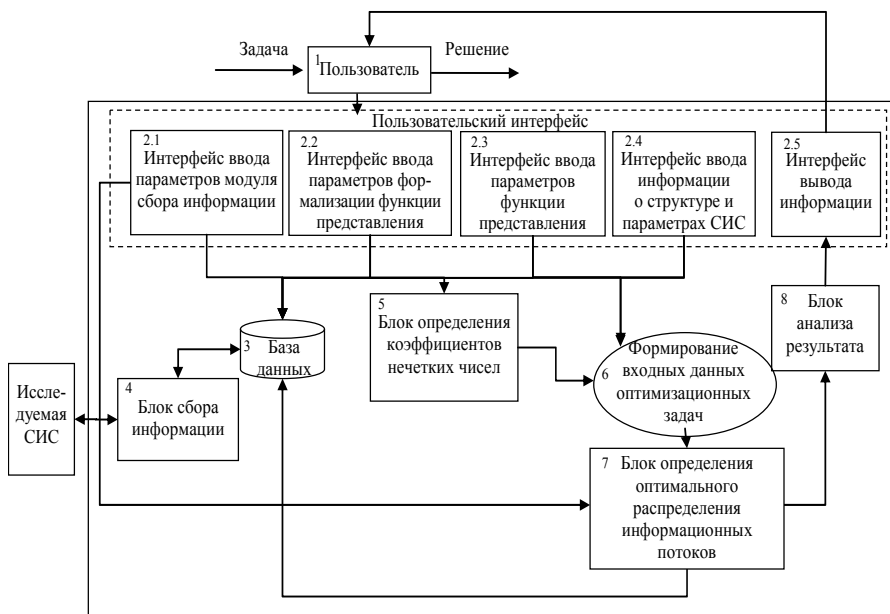


Рис. 3. Структура программного обеспечения для определения оптимального распределения информационных потоков

потоках в СИС, блок 5 реализует процедурную модель, приведенную на рис. 2, блок 7 – на рис. 1. База данных 3 необходима для хранения статистической информации о структуре и информационных потоках рассматриваемой СИС, параметрах используемых моделей, промежуточных и окончательных результатов их работы. Блок 6 формирует исходные данные для задачи определения оптимального распределения информационных потоков, в блоке 8 анализируется, насколько будут выполнены требования пользователей, где будут находиться узкие места СИС, наращивание пропускных способностей которых позволит повысить эффективность функционирования СИС.

С использованием разработанных моделей проведен вычислительный эксперимент на экспериментальной СИС, представленной на рис. 4. Виртуальный стенд реализован в средах виртуализации оборудования VmWare и GNS с использованием элементов СИС, базирующихся на ОС Windows, FreeBSD, Ubuntu.

В процессе моделирования в СИС передавались информационные потоки, основанные на данных, приведенных в <http://www-tnk.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.html>.

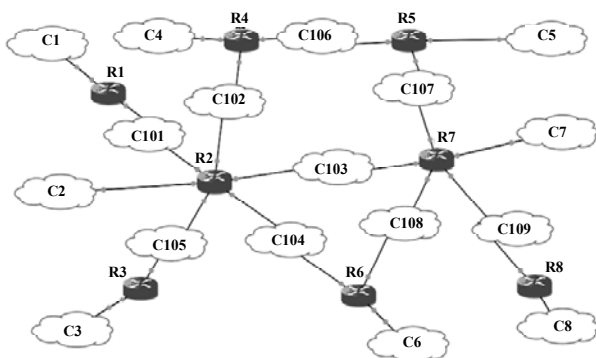


Рис. 4. Структура экспериментальной СИС

На рисунках 5, *а* и *в* приведены фрагменты эксперимента – графики информационного потока без ограничения (рис. 5, *а*) и с ограничением пропускной способности в 70% (рис. 5, *в*), на рис. 5, *б* и *г* приведены соответствующие им LR-числа.

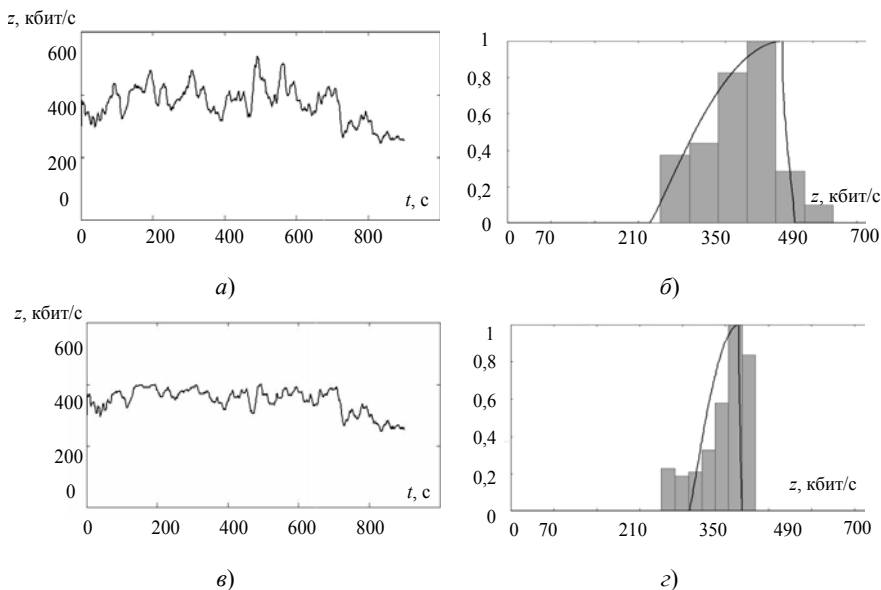
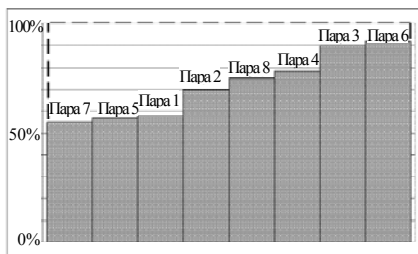
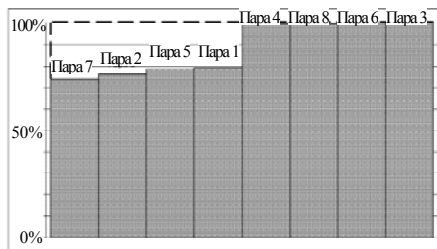


Рис. 5. Фрагменты вычислительного эксперимента:

а – измеренные значения информационного потока;
б – LR-число, соответствующее ряду *а*); *в* – измеренные значения информационного потока при ограничении 70%; *г* – LR-число, соответствующее ряду *в*)



а)



б)

Рис. 6. Фрагменты вычислительного эксперимента:

а – диаграмма уровней обеспеченности в неоптимизированной СИС;

б – диаграмма уровней обеспеченности в оптимизированной СИС

Параметры информационных потоков и элементов структуры СИС выбраны таким образом, что СИС заведомо не могла в полном объеме передать информационные потоки. Использование разработанных моделей позволило повысить с $F(x) = 0,53$ до значения $F^*(x) = 0,72$ эффективность функционирования СИС, определяемую выражением (6), при этом пропускные способности дуг физического графа были использованы полностью. Значения уровней обеспеченности СИС при найденном эффективном распределении информационных потоков приведены на рис. 6, где по оси ординат откладывается значение уровня, а по оси абсцисс – доля информационных потоков каждого уровня в суммарном передаваемом через СИС потоке. Пунктирной линией указаны значения, при которых информационные потоки будут переданы полностью.

Таким образом, проведенный эксперимент показал адекватность разработанных моделей.

В заключении сформулированы основные результаты работы и приведены следующие разработки:

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

2. 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. Процедурная модель распределения информационных потоков в СИС, позволяющая определить 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; 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 эксплуатирующих СИС с разветвленной структурой и передачей значительных по объему информационных потоков.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. **Осин, В. Н.** Реализация аналитических и процедурных моделей анализа функционирования сетевых информационных систем / Ю. Ю. Громов, В. Н. Осин // Информатика и безопасность. – 2013. – Т. 16. – № 4. – С. 526 - 529.

2. **Решение** задачи поиска уровней максиминной обеспеченности требований пользователей в сетевой информационной системе в нечетких условиях / В. Н. Осин, А. Ю. Громова, В. В. Родин, М. Н. Краснянский // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012. – № 3. – С. 5 – 11.

3. **Применение** нечетких LR-чисел для формализации неопределенности информации в сетевой информационной системе / Ю. Ю. Громов, В. Н. Осин, Ю. В. Минин, О. Г. Иванова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – № 11. – С. 1 – 6.

4. **Аналитические** и процедурные модели анализа функционирования сетевой информационной системы при удовлетворении внешних требований в нечетких условиях / Ю. Ю. Громов, В. Н. Осин, Ю. В. Минин, О. Г. Иванова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – № 11. – С. 12 – 16.

5. **Аналитические** и процедурные модели анализа функционирования сетевой информационной системы при удовлетворении внешних требований / Ю. Ю. Громов, В. Н. Осин, Ю. В. Минин, О. Г. Иванова, А. П. Ведерникова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – № 10. – С. 15 – 19.

Статьи и материалы конференций:

6. **Эффективное** распределение информационных потоков в сетевой информационной системе на основе нечетких моделей / В. Н. Осин, А. А. Долгов, М. А. Хорохорин, Ю. Ю. Громов // Современные информационные технологии : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : ПензГТУ, 2014. – Вып. 19. – С. 33 – 38.

7. **Осин, В. Н.** Процедурная модель анализа удовлетворения внешних требований в сетевой информационной системе / В. Н. Осин // Информационные системы и процессы : сб. науч. тр. – Тамбов ; М. ; СПб. ; Баку ; Вена : Изд-во МИНЦ «Нобелистика». – 2011. – Вып. 12. – С. 13 – 17.

8. **Осин, В. Н.** Алгоритм поиска уровней максиминной обеспеченности требований пользователей в сетевой информационной системе в нечетких условиях / В. Н. Осин // Вестник Воронежского института ФСИИ России. – Воронеж : ООО ИПЦ «Научная книга». – 2011. – № 1. – С. 42 – 49.

9. **Осин, В. Н.** Алгоритм поиска уровней максимальной обеспеченности потоковых требований в информационной сети в условиях неопределенности / В. Н. Осин // Достижения ученых XXI века : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во «Тамбовпринт», 2010. – С. 64–65.

10. **Осин, В. Н.** Процедурная модель алгоритма поиска максимального конкурентного потока в информационной сети в условиях неопределенности / В. Н. Осин // Глобальный научный потенциал : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во «Тамбовпринт», 2010. – С. 50–51.

11. **Осин, В. Н.** Модель информационной сети с нечеткими параметрами / В. Н. Осин // Информационные системы и процессы : сб. науч. тр. – Тамбов ; М. ; СПб. ; Баку ; Вена : Изд-во «Нобелистика», 2009. – Вып. 9. – С. 15 – 20.

12. **Осин, В. Н.** Приближенный алгоритм поиска оптимального распределения потоков в многопродуктовой сети с нечеткими параметрами / В. Н. Осин // Информационные системы и процессы : сб. науч. тр., Тамбов ; М. ; СПб. ; Баку ; Вена : Изд-во «Нобелистика», 2009. – Вып. 9. – С. 37 – 46.

13. **Осин, В. Н.** Генетический алгоритм поиска оптимального распределения потоков в многопродуктовой сети / В. Н. Осин // Информационные системы и процессы : сб. науч. тр. – Тамбов ; М. ; СПб. ; Баку ; Вена : Изд-во «Нобелистика», 2009. – Вып. 9. – С. 29 – 36.

14. **Осин, В. Н.** Моделирование функционирования информационной сети в условиях неопределенности / В. Н. Осин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2009. – № 4. – С. 78 – 81.

15. **Осин, В. Н.** Алгоритм Fuzzy FPTAS поиска оптимального распределения потоков в многопродуктовой сети в условиях неопределенности / В. Н. Осин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2009. – № 4. – С. 86 – 90.

16. **Осин, В. Н.** Применение генетического алгоритма для оптимизации многопродуктовой сети / В. Н. Осин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2009. – № 4. – С. 82 – 85.

17. **Осин, В. Н.** Уточнение стандартной модели описания функционирования информационной сети в условиях неопределенности / В. Н. Осин // Составляющие научно-технического прогресса : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во «Тамбовпринт», 2008. – С. 179–180.

18. **Осин, В. Н.** Моделирование информационной сети в условиях неопределенности / В. Н. Осин // Фундаментальные и прикладные исследования в системе образования : сб. тр. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2008. – С. 95–96.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012610905 Российская Федерация. Программа: Программа определения максимально соответствующих входным статистическим данным параметров функции принадлежности и нечетких LR-чисел / В. Н. Осин ; № 2011617527 ; заявление 11.10.11 ; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 20.01.12.

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012610066 Российская Федерация. Программа: Анализ функционирования сетевой информационной системы / В. Н. Осин ; № 2011616443 ; заявление 25.08.11 ; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 10.01.12.

Подписано в печать 23.04.2014.
Формат 60×84/16. 0,93 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 205

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел. 8(4752) 63-81-08. E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru