

Черепков Сергей Анатольевич

**АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ОБМЕНА ДАННЫМИ
В АСУ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ
ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс».

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Орешин Андрей Николаевич.

Официальные оппоненты **Аверченков Андрей Владимирович,**
доктор технических наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Брянский государственный технологический университет», профессор кафедры «Компьютерные технологии и системы»

Фролов Алексей Иванович,
кандидат технических наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел, доцент кафедры «Информационные системы»

Ведущая организация: Федеральное государственное акционерное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

Защита состоится «27» декабря 2013 года в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д212.182.01 на базе ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» по адресу: 302020, РФ, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 40, ауд. «Интернет-центр».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» по адресу: 302020, РФ, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29.

Автореферат разослан «27» ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.182.01 к.т.н., доцент

В.Н. Волков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последнее время на газотранспортных предприятиях (ГТП) выполнен ряд работ по внедрению комплексов средств автоматизации и совершенствованию автоматизации процессов обмена данными с единых методологических позиций и на базе единой технологической платформы.

На сегодняшний день имеющиеся средства автоматизации и передачи данных обеспечивают информационное взаимодействие только на уровне предприятия. Обмен данными на отраслевом уровне, с Администрацией ОАО «Газпром» и смежных предприятий существенно затруднен. Разработка технологий обмена данными ведется часто с использованием разнообразных технических и программных средств, собственных баз данных, локальных систем классификации и кодирования и ориентированы на информационное обеспечение пользователей конкретных подразделений без увязки принятых проектных решений с интересами отрасли в целом. При этом, не обеспечивается решение проблемы автоматизации функций управления предприятиями, как единым технологическим комплексом.

Газотранспортные предприятия через диспетчерские службы обеспечивают заданные режимы работы компрессорных станций и оптимальное регулирование потоков газа в системе в соответствии с указаниями центрального диспетчерского управления единой системы газоснабжения (ЕСГ) страны. Управление газотранспортными предприятиями предусматривает реализацию следующих функций, присущих классическим автоматизированным системам управления (АСУ): *вычислительных функций*, связанных с обработкой информации (учет, контроль, хранение, поиск, отображение, тиражирование, преобразование формы информации); *функций обмена информацией*, которые связаны с доведением выработанных управляющих воздействий до объекта управления и обменом информацией с лицом, принимающим решение (ЛПР); группа *функций принятия решения* (преобразование содержания информации), которые необходимы для создания новой информации в ходе анализа, прогнозирования или оперативного управления объектами.

Указанные функции АСУ реализуются совокупностью комплексов задач, отдельных задач и операций, которые в общем случае включают в себя: планирование и (или) прогнозирование; учет, контроль, анализ; координацию и (или) регулирование. Не смотря на это анализ результатов функционирования существующих прикладных информационных систем газотранспортных предприятий показывает, что созданные приложения часто не могут взаимодействовать между собой даже при наличии совместимых технических и телекоммуникационных средств.

Дополнительные проблемы вызывает необходимость совместной работы различных подразделений с едиными базами данных, т.к. данные в них дублируются. Кроме того, существенное значение приобретает необходимость единого регламента сбора и обработки информации на всех уровнях предприятия.

Вычислительные сети (ВС) газотранспортных предприятий объединяют в единое информационное пространство организационно-технологические си-

стемы и комплексы управления, объекты управления, имеющие сложную распределенную в пространстве организационно-техническую структуру, обеспечивающие решение функциональных задач в интересах оперативно-диспетчерского управления транспортировкой газа. При этом, как показывает проведенный анализ функционирования и использования вычислительных сетей ГТП, встречаются трудности, связанные с необходимостью решения целого класса экстремальных потоковых задач, значительной вычислительной сложностью существующих оптимизационных алгоритмов и невозможностью их использования для реальных сетей за приемлемое время, большим многообразием известных эвристических, квазиоптимальных методов, затрудняющих унифицирование программно-алгоритмического обеспечения.

Различные аспекты построения информационных систем и исследования информационных процессов для газовой отрасли нашли отражения в трудах исследователей: Аносова А. В., Верховского Д. Д., Стреловой М. Д., Радько А. А. и других.

Большой вклад в развитие теоретических основ построения и функционирования информационных систем внесли следующие отечественные ученые как Тютюнник В. М., Башин Ю. Б., Бородакий Ю. В., Данилкин С. В., Романов В. П., Майков Г. П.. Среди зарубежных ученых надо выделить таких как Квантер Дж., Лодон Дж., Сигл Д..

В развитие методов аналитико-имитационного моделирования СМО большой вклад внесли многие отечественные и зарубежные авторы: Вишневский В. М., Иглхарт Д. Л., Жожикашвили В. А., Калашников В. В., Кузнецов Н. Ю., Клейнен Дж., Коваленко И. Н., Полляк Ю. Г., Кутузов О. И., Плакс Б. И., Рыжиков Ю. И., Толмачев А. Л., Zazanis M., Suri R. и другие.

В развитие методов аналитико-имитационного моделирования стохастических сетей значительный вклад внесли Павлов Ю. Л., Кутузов О. И., Тарасевич Ю. Ю., Эфрос А. Л., Albert R. и другие.

Существующие подходы к решению указанных проблем в вычислительных сетях (ВС) носят, как правило, локальный по областям применений и разрозненный по методам характер и не позволяют предотвратить внесистемные прерывания, возникающие при обмене данными в ВС ГТП.

Указанные обстоятельства обуславливают выбор объекта, предмета и цели исследования.

Объект исследования: Процессы обмена данными о транспортировке газа в компонентах распределенных АСУ на примере газотранспортного предприятия.

Предмет исследования: Модели, методы и алгоритмы обмена данными при передаче разнородных потоков данных с пакетной коммутацией в компонентах АСУ газотранспортного предприятия.

Целью работы является: Повышение оперативности управления процессами транспортировки газа в газотранспортных предприятиях на основе повышения объема успешно переданных данных и сокращения внесистемных прерываний.

Для достижения цели были сформулированы и решены следующие **частные задачи**.

1. Анализ тенденций развития технологий обмена данными о транспортировке газа в газотранспортном предприятии на современном этапе.

2. Формализация процессов обмена данными в АСУ газотранспортного предприятия.

3. Анализ способов, приемов и алгоритмов предотвращения внесистемных прерываний процессов обмена данными в АСУ газотранспортного предприятия.

4. Экспериментальные исследования процессов обмена данными в вычислительной сети газотранспортного предприятия.

Методы исследования. При решении указанных задач использовались методы системного анализа, имитационного моделирования, а также математический аппарат теории множеств, теории построения распределенных систем, теории графов, теории распределенных вычислений, теории вероятности и математической статистики, теории объектно-ориентированного программирования.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций достигнута за счет корректного применения используемых известных методов исследования, математического аппарата и подтверждена результатами практического внедрения в производство.

Научная новизна результатов заключается в том, что разработаны:

1. Математическая модель процессов обмена данными в АСУ газотранспортного предприятия, базирующая на аппарате временных сетей Петри с приоритетами, отличающаяся учетом рассмотрения расположения элементов вычислительной сети АСУ ГТП, размеров памяти промежуточных компонентов, порядка обработки сегментов и их приоритета.

2. Алгоритм анализа взаимодействия процессов обмена данными, базирующийся на формальном описании начальной разметки, соответствующей архитектуре ВС ГТП и отличающийся разработанными правилами, учетом допустимых состояний оконечных устройств и процедурой обнаружения внесистемных прерываний.

3. Алгоритм оптимизации процесса обмена данными, отличающийся процессами оценки достижимости стационарной разметки и коррекцией пути следования процесса.

Практическая значимость заключается во внедрении в деятельность ООО «НТЦ Космос–Нефть–Газ» (г. Воронеж) следующих результатов диссертационного исследования: математической модели потоков обмена данными; методика адаптивной маршрутизации вычислительной сети территориально распределенного предприятия.

Применение результатов позволило разработчикам АСУ газотранспортных предприятий усовершенствовать процессы: передачи информации с уровня технологических процессов в контур оперативно-диспетчерского управления; разработки алгоритмов специального аппаратно-программного обеспечения обмена данными, его модернизации и комплексной отладки.

Апробация и публикации. Материалы публиковались и докладывались на Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (2011, г. Орел), III Международной научно-практической конференции "Моделирование и прогнозирование в управлении: методы и технологии" (2012, г. Орел), V Международной научно-практической конференции "Информационные технологии в науке, образовании и производстве" (2012, г. Орел), XI Международной научно-практической интернет конференции "Энерго- ресурсосбережение-XXI" (2013, г. Орел), Международной научно-технической интернет конференции "Информационные системы и технологии" (2013, г. Орел).

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель процессов обмена данными в АСУ газотранспортного предприятия.

2. Алгоритм анализа взаимодействия процессов обмена данными, базирующийся на формальном описании начальной разметки, соответствующей архитектуре ВС ГТП и отличающийся разработанными правилами, учетом допустимых состояний оконечных устройств и процедурой обнаружения внесистемных прерываний.

3. Алгоритм оптимизации процесса обмена данными, отличающийся процессами оценки достижимости стационарной разметки и коррекцией пути следования процесса.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 5 публикаций в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, получено одно свидетельство о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 158 страницах машинописного текста, включающего 22 рисунка, 10 таблиц, список литературы из 178 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ:

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационного исследования; сформулированы цель и задачи работы; отмечены научная новизна и практическая значимость полученных результатов; приведены сведения об их реализации, апробации и публикации.

В первой главе определено, что в практике использования автоматизированных систем управления газотранспортных предприятий наметился новый этап, характеризующийся интеграцией компонентов АСУ на принципах распределенной обработки информации (включающих обмен и хранение информации).

Выявлены особенности регионального управления транспортом газа, требующие обеспечения процессов обработки информации на различных уровнях и согласования информации в базах данных.

По результатам анализа организационной структуры существующей си-

стемы оперативно-диспетчерского управления ГТП и решаемых ею задач (сбор, обработка и дифференцированное распределение информации, анализ принятой информации, прогнозирование, транспортировка газа) определены тенденции развития вычислительных сетей ГТП как компоненты АСУ.

Анализ практического опыта эксплуатации программно-технических комплексов АСУ ГТП, показал, что они могут быть интегрированы в единую систему после значительных переработок и обеспечения поддержки разных форматов данных.

Показано, что в современных условиях в связи с увеличением информационного обмена возрастает нагрузка на вычислительную сеть ГТП и возникает целый ряд проблем, обусловленных внесистемными прерываниями, возникающими при обмене данными. Эти проблемы оказывают существенное влияние на надежность процессов обмена данными в вычислительной сети газотранспортного предприятия.

Установлено, что проблемы совершенствования АСУ газотранспортного предприятия, требуют своего решения в следующих направлениях: определения соответствия различных форм обработки данных нормативно-правовой базе; повышения эффективности использования программно-технического комплекса за счет выбора технологий и средств обмена данными приложениями.

В диссертации рассматривается проектирование вычислительных сетей ГТП с точки зрения иерархической системы оперативно диспетчерского управления. Кроме того рассматривается создание элементов вычислительной сети, характеризующихся потоками данных между территориально-распределенными объектами. Сформулирована задача исследования.

Во второй главе предложена математическая модель процессов обмена данными в АСУ газотранспортного предприятия, базирующая на аппарате временных сетей Петри с приоритетами, отличающаяся учетом рассмотрения расположения элементов вычислительной сети АСУ ГТП, размеров памяти промежуточных компонентов, порядка обработки сегментов и их приоритета.

Проведенное исследование основных характеристик качества обслуживания для пользователя ВС ГТП позволило установить, что основным критерием является время ожидания с момента отправки запроса до получения результатов. На практике в этих сетях пакеты данных, при высокой скорости их движения, поступают на узел не по отдельности, а целой пачкой, что приводит, из-за ограниченности буфера, к отсутствию мест ожидания, и как следствие к их потерям. Установлено, что в настоящее время не существует универсального подхода к обеспечению качества обслуживания в вычислительной сети за счет изменения размера входных и выходных буферов узлов сети, оказывающее влияние на избыточность или недостаточность их размера.

В качестве математической модели процессов обмена данными в распределенной управляющей системе выбрана потоковая, позволяющая учесть взаимодействие нескольких источников и потребителей информации, а также возникающие внесистемные прерывания, обусловленные, тем, что процессы-потребители не могут быть инициированы, не имея достаточного количества требуемых данных от процессов-производителей.

При этом в работе под маркированным потоковым графом обмена данными понимается совокупность множеств и функций $G = (A, S, T, B, T, r, s)$, где $A = \{a_n / n = \overline{1, N}\}$ – множество вершин (узлов) модели вычислительной сети; $S = \{S_k^n / k = \overline{1, N}; n = \overline{1, N}\}$ – множество выходов всех узлов $a_n \in A$ модели сети; $S_k^n = \{s_k^n / k = \overline{1, K^n}; n = \overline{1, N}\}$ – множество всех выходов s_k^n узла $a_n \in A$ модели сети; $T = \{T_l^n / l = \overline{1, N}; n = \overline{1, N}\}$ – множество входов всех узлов $a_n \in A$ модели сети; $T_l^n = \{t_l^n / l = \overline{1, L^n}; n = \overline{1, N}\}$ – множество всех входов t_l^n узла $a_n \in A$ модели сети; $B = \{b_m^{i,j} / m = \overline{1, M}; i, j = \overline{1, N}\}$ – множество ребер, соединяющих узлы a_i и a_j ; $B^{s,t} = \{B_n^{s,t} / n = \overline{1, N}\}$ – множество соединений $a_n \in A$; $T = \{t_i / i = \overline{1, K}\}$ – множество срабатываний входных переходов s_i на интервалах t_i ; $r: (SUT) \rightarrow A$ – функция характеризующая распределение входов и выходов по вершинам; $s: M_{in} \times M_{out} \rightarrow A$ – функция маркировки входов и выходов вершин, в том числе и фиктивных.

При этом множество T включает подмножество ординарных входов, каждому из которых инцидентна одна дуга, и подмножество входов для альтернативного выбора (слияний) входящих потоков данных (slt). В множество S включаются подмножество ординарных выходов и подмножество выходов, соответствующих альтернативным переключениям (swh) и ветвлениям (frk) исходящих потоков данных. В общем случае вход любой вершины $a_i \in A$ может быть ординарным, а так же может быть входом альтернативного выбора потоков данных. Выход вершины $a_i \in A$ является ординарным, выходом ветвления, либо единственным выходом альтернативного переключения, которому инцидентно не менее двух информационных дуг. Этот случай соответствует условному ветвлению. Точкой входа в цикл является вход альтернативного выбора (slt -позиция).

Поток данных в модели представляет поток сегментов. При этом сегмент рассматривается, как вектор, элементами которого являются пакеты. Такое представление позволяет описать процесс обмена данными с очередями в виде маркированного потокового графа.

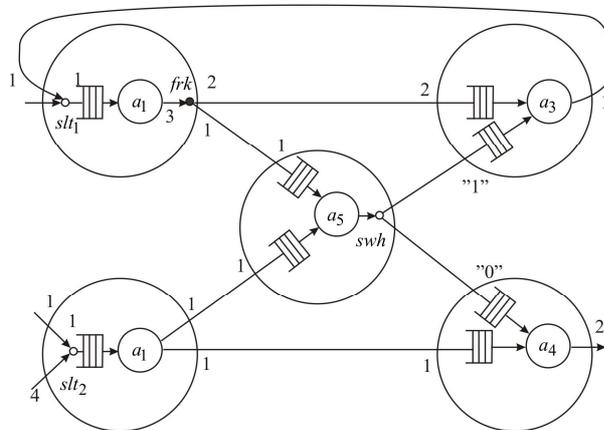


Рисунок 1 – Процесс обмена данными в виде маркированного потокового графа с очередями

Представленный потоковый маркированный граф позволяет формализовать обмен данными с разной структурой, т.е. сегменты могут состоять из разнотипных пакетов данных.

При анализе вычислительных сетей определено, что окружение представляет собой следующий набор компонентов: структурный граф, алгебраическая структура и множество потоковых функций.

Среда обмена данными, представленная в виде структурного графа $G = (A, B)$ включает множество A вершин и множество B дуг. Вершины $a_i \in A$ обозначают объекты коммуникации, а дуги из множества B соответствуют передаче данных или сигналов управления, либо сигналов синхронизации процессов.

Вторая компонента – алгебраическая структура в виде решетки (M, \cap, \cup) , где M – множество меток вершин, \cap, \cup - операции пересечения и объединения на множестве меток (свойств) из множества M .

Третья компонента – множество $\Psi : M_{in} \rightarrow M_{out}$ функций $O_u = \psi_u(I_u)$ преобразователей свойств ψ , где $I_u \in M_{in}$, $O_u \in M_{out}$.

Четвертая компонента окружения – это частичное отображение $2^A \times 2^B \rightarrow \Psi$, сопоставляющее подмножествам вершин и дуг графа некоторую потоковую монотонную функцию ψ .

Представленная потоковая функция ψ_u ассоциируется с определенной вершиной $u \in A$ графа G и характеризует отображение меток входящих дуг в метки исходящих дуг вершины u .

Величины $I_u \in M_{in}$ и $O_u \in M_{out}$ являются метками входа и выхода вершины u . При этом они связаны посредством потоковой функции $O_u = \psi_u(I_u)$. Эта связь описывается потоковым уравнением вида $O_u = \psi_u(I_u) = I_u \cap P_u \cup G_u$, или $O_u = \psi_u(I_u) = I_u P_u + G_u$, где $P_u, G_u \in M$.

Таким образом, с графом вычислительной сети связывается система из $|A|$ уравнений вида: $H_u : O_u = \psi_u \left(\begin{matrix} \mathbf{I} O_a \\ a \in Pred(u) \end{matrix} \right)$ или $H_u : O_u = \psi_u \left(\begin{matrix} \mathbf{U} O_a \\ a \in Pred(u) \end{matrix} \right)$, где $Pred(u)$ – вершина-предшественник u .

Представленная математическая модель позволяет учесть все допустимые состояния конечных устройств и предотвратить внесистемные прерывания за счет согласования параметров очередей сообщений (входных и выходных буферов).

В математической модели рассматривается расположение элементов сети и каналы передачи данных между ними, размеры памяти промежуточных компонентов, порядок обработки сегментов и их приоритет. Элементы вычислительной сети отображаются в виде графа соответствующими алгоритмами обработки сообщений с указанием источников и получателей сообщения. Это обеспечивается применением в модели слияний входящих потоков данных,

ветвлений исходящих потоков данных и позиций переключений.

В третьей главе представлены алгоритмы анализа и оптимизации процесса обмена данными в АСУ ГТП.

С целью оптимизации обмена данными в вычислительной сети газотранспортного предприятия на основе данных алгоритмов производится процесс обнаружения и предотвращения внесистемных прерываний (разметка сети), который включает в себя четыре этапа.

На первом этапе на основе результатов анализа процессов обмена данными в вычислительной сети ГТП осуществляется построение графа, соответствующего оптимизации процессов обмена данными и задание начальной разметки.

На втором этапе проводится анализ взаимодействия процессов обмена данными, отличающийся процедурой обнаружения внесистемных прерываний и далее проводится разметка графа ВС.

На третьем этапе осуществляется контрольный проход по уровням графа и оценка достижимости стационарной разметки.

На четвертом этапе осуществляется интерпретация полученных результатов.

Особенностью предложенного процесса обнаружения и предотвращения внесистемных прерываний является осуществление глобального анализа графа с учетом взаимного влияния вершин, находящихся в отношениях прямого или обратного транзитивного замыкания с текущей вершиной, но не находящихся в этих отношениях друг с другом. Используемые для этого функции приведения определяют глубину буферов, с учетом которой функции разметки «переносят» свойства выходов на входы или наоборот.

Функции приведения и разметки являются функции, где выходы, инцидентные frk -позиции, имеют метку

$$m(e_{out}) \geq r[r[out(m), in_1], \dots, r[out(m), in_B]].$$

За $r[*]$ принято наименьшее общее кратное, in_j – метка входной позиции ($j = 1, \dots, B$), которой инцидентен ветвящийся выход вершины m , $out(m)$ – метка выходной позиции вершины m .

Функция приведения свойств по выходам – это глубина буферов $d_{out}(m(e_{out}), out(v)) = d(v)$ процесса, которому соответствует вершина v . Эта функция обобщается и на случай, когда у вершины больше одной выходной позиции.

Для теста эта функция определяется для каждого из альтернативных выходов. Т.е. глубина буферов узла вычислительной сети, которому соответствует вершина v , есть

$$d(v) \geq r[r[out_1, in_1]/in_1, \dots, r[out_{B'}, in_{B'}]/in_{B'}],$$

где out_i – метка выходной позиции вершины v'_i , которой инцидентен вход e_i вершины v ($i = 1, \dots, B'$).

Метка любого из входов вершины v есть $m(e_i) = d(v) in_i$, а функция приведения свойств по входам $d_{in}(m(e_i), in_i) = d(v)$ ($\forall i \in \{1, \dots, B'\}$).

Функции разметки по входам и выходам имеют вид

$$\begin{aligned} f_{in}(\mathbf{m}(v), in_i) &= d(v) in_i; \\ f_{out}(\mathbf{m}(v), out(v)) &= d(v) out(v). \end{aligned}$$

В маркированных потоковых графах, используемых в диссертационной работе, функции приведения позволяют построить правила разметки дуг и вершин, учитывающие свойства всех достижимых из вершины $v(l)$ вершин, а также свойства вершин, из которых достижима вершина $v(l)$.

Метки присваиваются дугам и вершинам по следующим заданным правилам замены меток дуг из E_v и вершины v , с учетом того, что на верхней полуструктуре свойств p -е применение любого правила разметки приводит к замене метки дуги или вершины $m^{(p-1)}(*)$ на не меньшую метку $m^{(p)}(*)$:

$$\begin{aligned} \delta_{out}(\mu^{(p-1)}(e_{out}), out) \vee \mu^{(p-1)}(v) &= \mu^{(p)}(v) \Rightarrow \\ \Rightarrow f_{in}(\mu^{(p)}(v), in) \vee \mu^{(p-1)}(e_{in}) &= \mu^{(p)}(e_{in}); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \delta_{in}(\mu^{(q-1)}(e_{in}), in) \vee \mu^{(q-1)}(v) &= \mu^{(q)}(v) \Rightarrow \\ \Rightarrow f_{out}(\mu^{(q)}(v), out) \vee \mu^{(q-1)}(e_{out}) &= \mu^{(q)}(e_{out}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $e_{in}, e_{out} \in E_v, in \in L_{in}, out \in L_{out}, p \geq 1, q \geq 1, p \neq q$.

Разработанный алгоритм анализа взаимодействия процессов обмена данными позволяет исследовать реализуемость процессов обмена данными в ВС ГТП и сводится к процедуре разметки потокового маркированного графа, где маркировка выходных и входных позиций вершин графа соответствует ширине буфера, а метки дуг позволяют получить число сегментов, которые соответствуют глубине буфера и гарантируют отсутствие внесистемных прерываний при любых допустимых изменениях трафика. Достоинством разработанного алгоритма анализа взаимодействия процессов обмена данными, отличающегося процедурой обнаружения внесистемных прерываний является то, что анализ начинается с уровня, у которого отсутствуют предшественники.

Работа данного алгоритма начинается с реализации первого прохода от уровня 1 к уровню L . Для каждого текущего уровня l определяются свойства по правилу (1). Далее свойства текущего уровня l приводятся по правилу (2) относительно его предшественников из уровней $l+1, \dots, L$.

По достижению уровня L реализуется второй (обратный) проход от предшественников к преемникам. Для каждого текущего уровня l , определяются свойства в уровне l по правилу (2). Далее свойства текущего уровня l приводятся по правилу (1), относительно его преемников в уровнях $l-1, \dots, 1$.

Разработанные правила переразметки позволяют за счет прохода по уровням графа от первого до последнего и обратно изменить существующие метки

вершин таким образом, что достигнутая разметка станет стационарной и избыточной. В диссертационной работе доказано, что если $m(e) \in L_E$ ($\forall e \in E$) и $m(v) \in L_V$ ($\forall v \in V$) не изменяются никаким применением правил (2) и (1), то такая разметка является стационарной, причем $(\forall v \in V) (\forall e_{in}, e_{out} \in E_v) d_{in}(m(e_{in}), in) = d_{out}(m(e_{out}), out) = d(v)$.

При этом достигнутая стационарная разметка рассматривается, как избыточная, если из возможных значений метки дуг вершин остаются наименьшими. Если в результате применения указанного алгоритма разметка окажется не стационарной, то такая разметка становится недостижимой как стационарная для данного графа, что объясняется недостатками архитектуры вычислительной сети ГТП.

Предложенные правила предотвращения внесистемных прерываний формализованы на основе введения коэффициента h_{σ} использования ресурсов:

$$h_{\sigma} = \frac{1}{(K + L)} \left(\sum_{k=1}^K h_{\sigma_k} + \sum_{l=1}^L h_{\sigma_l} \right),$$

где K и L – общее количество входных и выходных буферов; h_{σ_k} и h_{σ_l} – коэффициенты использования соответственно входного и выходного буферов.

Предложен критерий предотвращения внесистемных прерываний, который состоит в обеспечении минимума коэффициента использования каналов передачи данных, соответствующего типа, с соблюдением необходимых ограничений.

Установлено, что процессы обмена данными в вычислительных сетях газотранспортного предприятия осуществляется в зависимости от временных параметров подконтрольных событий, которые обусловлены взаимодействием процессов в сети и занятостью её ресурсов. Поэтому для динамического управление параллельными процессами в ВС ГТП необходимо строить на основе их статического прогнозирования.

В четвертой главе проведенное имитационное моделирование ставило целью определение набора вероятностно временных характеристик процесса передачи данных (вычисления временных характеристик связанных с доставкой сообщения), а так же вероятностей событий связанных с доставкой сегментов. В состав имитационной модели входят разработанная математическая модель и алгоритмы предотвращения внесистемных прерываний процесса обмена данными.

Моделирование процессов обмена данными осуществлялось с учетом системных параметров среды и характеристик передачи пакетов (время передачи пакетов, вероятность их потери).

Сценарием моделирования рассматривались несколько вариантов описания задержек пакетов в вычислительной сети. Определено, что при упорядоченных задержках пакетов возрастает среднее времена доставки сегментов.

Основными характеристиками процессов обмена данными, которые

определяются на основе моделирования, являются: коэффициент использования пропускной способности канала, коэффициент разделения потоков данных и средняя длина очереди.

Определена зависимость этих характеристик от следующих параметров вычислительной сети: объема данных, времени двойного прохода пакета запроса на соединение, вероятности ошибки передачи данных.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

В диссертационной работе решена научно-техническая задача по разработке алгоритмов анализа и оптимизации процесса обмена данными на основе согласования параметров очередей сегментов и коррекции путей следования процесса в АСУ ГТП. В рамках проведенных исследований получены следующие основные результаты:

1. В диссертационной работе процессы обмена данными рассматриваются с точки зрения неоднородного характера передаваемых сегментов. Под неоднородностью сегментов понимается, что процессы могут передавать и принимать данные порциями произвольных размеров.

2. В распределенной АСУ ГТП в процессе обмена данными повышается риск появления внесистемных прерываний, так как процессы потребители не могут быть инициированы, не имея достаточного количества требуемых данных от процессов-производителей. Данный недостаток необходимо учитывать как при разработке систем синхронизации, так и при коррекции среды взаимодействия в процессе эксплуатации ВС ГТП.

3. Установлено, что на бесконечном потоке входных данных при любом возможном развитии процессов в ВС АСУ ГТП внесистемные прерывания отсутствуют в случае если композиция процессов может вырабатывать бесконечное число выходных данных. При этом учитываются все возможные сценарии обмена данными с учетом недетерминизма процесса обмена данными, которые обмениваются порциями (сегментами) произвольных размеров.

4. В диссертационном исследовании разработана математическая модель процесса обмена данными базирующаяся на математическом аппарате моделирования динамических дискретных систем (сети Петри) с маркировкой потоковых графов. Данный аппарат позволяет строить модель процесса обмена данными в распределенной АСУ ГТП, учитывающую размеры буферов промежуточных элементов сети, а также приоритет передаваемых сегментов. Поэтому представленная математическая модель учитывает все допустимые состояния маршрутизаторов, серверов и клиентов сети и предотвращает блокировку процесса обмена данными за счет согласования параметров очередей сегментов (входных и выходных буферов).

5. Исследованы причинно-следственные связи между допустимыми состояниями маршрутизаторов, серверов, клиентов и внесистемными прерываниями и разработаны: алгоритм анализа взаимодействия процессов обмена дан-

ными, базирующийся на формальном описании начальной разметки, соответствующей архитектуре ВС ГТП и отличающийся разработанными правилами, учетом допустимых состояний оконечных устройств и процедурой обнаружения внесистемных прерываний; алгоритм оптимизации процесса обмена данными, отличающийся коррекцией пути следования процесса, что позволяет определить перспективы практического использования и совершенствования процессов: передачи информации с уровня технологических процессов в контур оперативно-диспетчерского управления; разработки алгоритмов специального аппаратно-программного обеспечения обмена данными, их модернизации и комплексной отладки.

6. Проведено моделирование процесса обмена данными на ЭВМ с помощью «событийного» метода на языке программирования *Visual C++*. Моделировались все события возникающие, в процессе доставки сообщений от отправителя к получателю (отправка сообщений, повторная передача групп пакетов по истечении тайм-аута отправителя, квитирование доставленных пакетов и т.д.), с учетом временных соотношений.

7. В результате моделирования сделаны следующие выводы: коэффициент разделения потоков данных не зависит от времени двойного прохода пакета запроса на соединение; средняя длина очереди с ростом количества одновременных соединений медленно возрастает; вероятность потери сегментов при росте количества соединений увеличивается за счет переполнения внутренней памяти буферов в промежуточных элементах. Кроме того результаты эксперимента показали, что при передаче данных, с применением процессов обнаружения и предотвращения внесистемных прерываний, продолжительностью 2500-2600 мс. объем успешно переданных данных увеличился на 10000 Кб, что позволило сократить долю потерь пакетов из-за переполнения буферов по отношению к переданным на 1,5 %.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Черепков, С.А. Методика адаптивной маршрутизации вычислительной сети территориально распределенного предприятия [Текст] / С.А.Черепков // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 3. – С. 118-127.

2. Черепков, С.А. Метод проектирования сетей передачи данных, совместимых с неблокируемой маршрутизацией [Текст] / С.А.Черепков, В.Т.Еременко, А.И.Офицеров // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 4. – С. 38-46.

3. Черепков, С.А. Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП [Текст] / С.А.Черепков, В.Т.Еременко, Д.А.Плащенков, Д.А.Краснов, Д.В.Анисимов, А.Е.Георгиевский // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 6. – С. 114-119.

4. Черепков, С.А. Анализ моделей управления трафиком в сетях АСУП на основе технологии MPLS [Текст] / С.А.Черепков, В.Т.Еременко,

С.В.Еременко, Д.В.Анисимов, А.А.Лякишев // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 1. – С. 106-112.

5. Черепков, С.А. Моделирование пропускной способности сегмента беспроводной сети АСУП на базе стандарта 802.11 [Текст] / С.А.Черепков, В.Т.Еременко, Д.В.Анисимов, А.А.Лякишев, П.А.Чухахин // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 2. – С. 82-86.

Статьи в научных журналах и сборниках трудов

6. Черепков, С.А. Математическая модель распределения сетевого ресурса для трафика сервисов реального времени сетей передачи данных предприятий [Текст] / С.А.Черепков, Д.К.Звихачевский, Л.В.Кузьмина; под общ. ред. проф. В.Г.Шуметова и проф. О.П.Овчинниковой // Моделирование и прогнозирование в управлении: методы и технологии: материалы III междунар. науч.-практ. конф. – Орел: Изд-во ОФ РАНХиГС, 2012. – С. 231-239.

7. Черепков, С.А. Поточная математическая модель обмена данными в вычислительной сети систем управления и контроля газотранспортного предприятия на основе аппарата временных сетей Петри с приоритетами [Текст] / С.А.Черепков; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.А.Голенкова, д-ра техн. наук, проф. А.Н.Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С.Степанова // Энерго- и ресурсосбережение-XXI: материалы XI междунар. науч.-практ. интернет-конф. – Орел: Изд-во Госуниверситет-УНПК, 2013. – С. 272-275.

8. Черепков, С.А. Основы анализа информационных потоков в распределительных вычислительных сетях с использованием технологии многоагентных систем [Текст] / С.А.Черепков, В.Т.Еременко, Д.Э.Белякова, Т.М.Парамохина // Информационные технологии в науке, образовании и производстве: материалы V междунар. науч.-практ. конф. – Орел, 2012. – С. 290-299.

9. Черепков, С.А. Методика обнаружения и предотвращения внесистемных прерываний процессов обмена данными в системах управления и контроля газотранспортного предприятия [Текст] / С.А.Черепков; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.А.Голенкова, д-ра техн. наук, проф. А.Н.Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С.Степанова // Энерго- и ресурсосбережение-XXI: материалы XI междунар. науч.-практ. интернет-конф. – Орел: Изд-во Госуниверситет-УНПК, 2013. – С. 275-277.

10. Черепков, С.А. Способы и приемы адаптивной маршрутизации в вычислительной сети промышленного предприятия [Электронный ресурс] / С.А.Черепков // Международная научно-техническая интернет конференция ИСиТ 2013 "Информационные системы и технологии". – 2013. – Режим доступа: <http://isit-conf.gu-unpk.ru/conferences/2/page/18>.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

11. Черепков, С.А. Программное средство управления ресурсами в среде корпоративного портала. / С.А. Черепков, А.А. Лякишев, К.А. Мегаев, Д.В. Анисимов, С.В. Еременко, М.Ю. Рытов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619124 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Заявка № 2013616749 Дата поступления 30 июля 2013г. Зарегистрировано в Реестре 25 сентября 2013 г.

ЛР ИД № 00670 от 05.01.2000 г.
Подписано к печати «26» ноября 2013 г.
Усл. печ. л.1,5 Тираж 100 экз.
Заказ № 175

Полиграфический отдел ГУ – УНПК
302030, г. Орел, ул. Московская, 65