МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»

АВТОРЕФЕРАТ
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБМЕНА ДАННЫМИ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ ШИН В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ АСУТП

Направление 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств»
направленность «Информационные технологии проектирования электронных средств»

Орел 2015

Работа выполнена ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Руководитель магистерской программы д.т.н., профессор Ерёменко В.Т.

Студент Иванова С.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современный этап развития промышленных сетей характеризуется повышением их функциональной насыщенности и направлен на построение единой информационной инфраструктуры промышленных предприятий. На пути резко возрастающих информационных потоков стоят технологические барьеры между различными уровнями автоматизации, возникшими в результате независимого развития автоматизированных систем управления предприятиями (АСУП) и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).

По оценкам экспертов, только сбор данных в реальном масштабе времени о различных аспектах производственных процессов приведет в ближайшие годы почти к тридцатикратному увеличению трафика в распределенных системах промышленного управления, причем значительно возрастут потоки информации между датчиками и программируемыми контроллерами.

Исследователи, используя новый технологический уровень, вернулись к созданию моделей комплексной автоматизации процессов, производств и производственных структур, позволяющих управлять децентрализованными эволюционирующими структурами с ограниченным взаимодействием, способными поддерживать по мере потребностей механизм налаживания новых межуровневых информационных связей или углублять их взаимодействие. Сложная задача здесь состоит в создании системы управления процессами информационного обмена.

Постоянный рост числа управляющих промышленных сетей и увеличение сложности устанавливаемых систем, требуют все более сложных инструментов диагностики сетей для получения высокого качества сервиса, предоставляемого этими сетями. Создание таких инструментов является актуальной задачей. Решением этой задачи может стать разработка программно-аппаратного комплекса оптимизации ресурсов сети, основой которого является анализатор протокола. Подобно тому, как отладчик контролирует выполнение программы в процессоре и помогает программисту на этапе проектирования, анализатор протокола отслеживает трафик в каналах связи и помогает системным интеграторам и администраторам сети обозревать, анализировать и диагностировать поведение сети.

В исследовании сеть АСУТП на основе полевых шин представляется совокупностью совместно и целенаправленно функционирующих пространственно и функционально распределённых динамических объектов (подсистем) и может быть классифицирована (в соответствии с современной теорией систем), как сложная динамическая система.

Объект исследования – сети АСУТП на основе полевых шин с переменной структурой.

Предмет исследования – методы, модели и алгоритмы информационного обмена в сетях АСУТП.

Цель исследования – оптимизация ресурсов сетей АСУТП на основе полевых шин.

Для достижения сформулированной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ процессов информационного обмена и способов организации передачи данных в сетях АСУТП на основе полевых шин.
2. Анализ способов и приемов оптимизации использования ресурсов в сетях на основе полевых шин.
3. Проведение моделирования процессов информационного обмена в сетях АСУТП с переменной структурой.
4. Разработка структуры программно-аппаратного комплекса оптимизации ресурсов сети АСУТП на основе полевых шин.

Методы и средства исследования: При решении указанных задач использовались методы системного анализа, теория сетей массового обслуживания, теория телетрафика, методы имитационного моделирования, математической статистики и математической логики, теория вероятностей.

Достоверность научных положений, результатов, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертационной работе, достигнута: за счет сочетания формальных и неформальных методов исследования; использования методов, адекватных природе изучавшихся процессов и явлений; обобщения накопленного опыта работы по процессам информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин; верификации отдельных результатов в рамках известных теоретических конструкций, широко используемых в теории сложных технических и информационных систем; непротиворечивости и воспроизводимости результатов, полученных теоретическим путем; а также проведения оценки адекватности разработанной модели.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что получены новые научные результаты:

1. *Разработана математическая модель процессов информационного обмена в сетях на основе полевых шин*, базирующаяся на математическом аппарате многопотоковых систем массового обслуживания сложной структуры, отличающаяся использованием замкнутых марковских сетей для описания трафика сообщений и позволяющая оптимизировать процессы управления ресурсами сети.
2. *Разработана имитационная модель процессов информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин*, включающая разработанные математическую модель и методику и позволяющая осуществить вероятностное моделирование среды.

Положения, выносимые на защиту:

1. Анализ концепции построения сетей АСУТП на основе полевых шин.
2. Математическая модель процессов информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин.
3. Имитационная модель процессов информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин.

Структура и объем работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и библиографического списка. Работа изложена на 113 страницах машинописного текста, включающего 25 рисунков, 12 таблиц, библиографический список из 38 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ:

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу концепции построения сетей АСУТП.

В настоящее время в самых разных специализированных прикладных областях используется более 50 -ти типов промышленных шин. Применение технологии промышленных шин знаменует собой совершенно новую эпоху в управлении технологическими процессами. Исследования показали, что переход от централизованного управления к распределенным архитектурам на базе промышленных шин позволяет достичь экономии до 40 % средств, затрачиваемых на развертывание сетей АСУТП.

Распространенные ранее системы автоматизации, создавались для конкретных узких целей. Это не позволяло эффективно использовать оборудование и объединять несколько систем автоматизации. Более того, создание нового типа оборудования приводило к необходимости полной замены старой и, следовательно, разработке новой АСУТП.

Данная ситуация дала толчок к появлению микропроцессорных систем автоматизированного управления с использованием сетей на основе полевых шин (fieldbus-

сетей), объединяющих интеллектуальные контроллеры, датчики и исполнительные механизмы.

Проведенный анализ показал, что, сети АСУТП на основе полевых шин занимают на данный момент ведущее положение в сфере автоматизации технологических процессов. Их идеологической основой является децентрализация процесса управления. Это означает, что задача управления распределяется между компонентами сети управления (микропроцессорными устройствами), каждому из которых отводится определенное задание и которые осуществляют обмен данными по определенному протоколу.

В главе рассмотрены этапы развития сетей АСУТП на основе полевых шин, определены требования к ним и выявлены проблемы их функционирования, а также проведен анализ характеристик некоторых протоколов полевых шин, применяемых в промышленности (LonWorks, PROFIBUS, EIB, P-NET).

На основе проведенного анализа поставлена и формализована задача оптимизации ресурсов сетей АСУТП на основе полевых шин.

Дано:

$A = \left\{a_i; i = \overline{1,|A|}\right\}$ – множество сообщений в сети;

$S = \left\{s_l; l = \overline{1,|S|}\right\}$ – множество ошибочных сообщений в сети;

$N = \left\{n_J; j = \overline{1,|N|}\right\}$ – множество узлов сети;

$M = \{m_i; i = \overline{1,|M|}\}$ – множество шин сети;

$C = \left\{c_m; m = \overline{1,|C|}\right\}$ – множество сетевого оборудования;

$P = \{p_i; i = \overline{1,|P|}\}$ – множество топологий сети;

T – средняя задержка сообщения в сети,

D – стоимостная функция построения сети.

При условиях:

$\lambda_m = \sum \lambda_{j_1 j_2} \le \lambda_m^{\max}$, $j_1, j_2 \in \overline{1,|N|}, j_1 \ne j_2$, где λ – интенсивность сообщений;

$D \le D^{\max}$

Найти:

$T(a_i, n_j, n_k) \to \min$, где $a_i \in A$, $n_j, n_k \in N$, $j \ne k$

$T(A, P) \to \min$

Для решения этой задачи необходимо провести моделирование процессов информационного обмена и разработать методику оптимизации ресурсов сети.

Во **второй главе** предложена математическая модель процессов информационного обмена в сетях на основе полевых шин.

Процесс информационного обмена (ПИО) рассматривается как некоторая последовательность действий (операций), связанных с передачей сообщения или его отдельных фрагментов от источника информации к потребителю. При реализации процессов информационного обмена в распределенной сети, подразумевается их взаимодействие посредством управляющих сигналов, либо путём разделения ресурсов.

Математическая модель процессов информационного обмена базируется на математическом аппарате многопотоковых систем массового обслуживания сложной структуры, отличающаяся использованием замкнутых марковских сетей для описания трафика сообщений и позволяющая оптимизировать процессы управления ресурсами сети.

Под системой массового обслуживания (СМО) понимается система, в которой присутствует обслуживающий прибор и заявка на обслуживание.

Рассматривается модель сети на основе полевых шин (СПШ) с коммутацией сообщений, которая имеет M каналов и N узлов. В этой модели предполагается, что

каналы связи и узлы являются надежными, влияние шумов незначительно. Время обработки в узле и время распространения сообщения в канале связи является постоянным и пренебрежимо малым. Трафик, поступающий в сеть из внешних источников образует пуассоновский процесс со средним значением γ_{jk} (сообщений в секунду) для тех сообщений, которые возникают в узле j и предназначаются для узла k. Кроме того, в модели имеются очереди к каналам и задержки при передаче. Пропускная способность *i*–го канала равна C_i (бит в секунду). В узлах выполняются операции по коммутации сообщений. Полный внешний трафик, поступающий в систему (и следовательно, покидающий ее), определяется как

$$\gamma = \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{N} \gamma_{jk} .$$

При информационном обмене имеется буферная память без ограничения по емкости. В СПШ применяется фиксированная процедура маршрутизации. Это означает, что для данной пары источник – адресат на сети имеется только один путь.

Каждый канал в сети рассматривается как отдельный обслуживающий прибор. Среднее число сообщений в секунду, проходящих по i–му каналу, обозначено через λ_i. Полный трафик в каналах сети определяется следующим образом:

$$\lambda = \sum_{i=1}^{M} \lambda_i .$$

Стоимость построения i–го канала с пропускной способностью C_i задается произвольной функцией $d_i(C_i)$, зависящей от длины и пропускной способности канала, а D – стоимость всей сети:

$$D = \sum_{i=1}^{M} d_i(C_i).$$

В исследовании для характеристики трафика используется среднее время задержки сообщения в сети T. Средняя задержка сообщения, которая возникла в узле j и имеет место назначения k определена как Z_{jk}. Эти две средние величины связаны равенством

$$T = \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{N} \frac{\gamma_{jk}}{\gamma} z_{jk},$$

так как доля $\frac{\gamma_{jk}}{\gamma}$ полного входящего трафика сообщений имеет в среднем задержку, равную Z_{ik}. Для получения открытой сети массового обслуживания осуществлено распределение трафика по парам источник–адресат.

Выбор маршрутов передачи сообщений осуществляется на основе фиксированной процедуры, где через π_{jk} обозначен путь, по которому поступают сообщения, возникающие в узле j и идущие в узел k. В путь π_{jk} включен i–й канал (с пропускной способностью C_i), если сообщения, идущие по этому пути, проходят указанный канал $(C_i \in \pi_{jk})$. Отсюда средняя интенсивность потока сообщений λ_i – в i–м канале равна сумме средних интенсивностей потоков сообщений по всем путям, которые проходят через этот канал:

$$\lambda_i = \sum_j \sum_k \gamma_{jk}, \qquad j,k : C_i \in \pi_{jk}.$$

Среднее время, проведенное сообщением в системе, т. е. время, затраченное на ожидание и процесс передачи по i–му каналу определяется как T_i. Под системой здесь понимается i–й канал (обслуживающий прибор) и очередь сообщений, стоящая перед этим каналом.

Среднее число сообщений, ожидающих или использующих канал, равно

$$\overline{N}_i = \lambda_i T_i.$$

Среднее число сообщений в сети равно

$$\overline{N} = \gamma T = \sum_{i=1}^{M} \overline{N}_i.$$

Отсюда

$$T = \sum_{i=1}^{M} \frac{\lambda_i}{\gamma} T_i.$$

Таким образом, рассматриваемая задача анализа среднего времени T сводится к вычислению T_i.

Для описания среднего времени, проведенного сообщением в системе, которая представляет собой отдельный канал, использовался результат, полученный Джексоном. Погруженный канал рассматривается, как такой же канал, действующий независимо от сети, но с пуассоновским потоком на входе, интенсивность которого равна интенсивности, задаваемой сетью. Это позволяет i–й канал представить в виде системы $M/M/1$ с пуассоновским потоком интенсивности λ_i на входе и показательным временем обслуживания со средним значением $1/\mu$ секунд. Решение для T_i получается из равенства:

$$T_i = \frac{1}{\mu_i - \lambda_i},$$

тогда:

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^{M} \frac{\lambda_i}{\mu_i - \lambda_i}.$$

Установлено, что при увеличении нагрузки на сеть никакое слагаемое в выражении для задержки не будет доминирующим до тех пор, пока поток в одном из каналов не достигнет пропускной способности этого канала, который соответствует «узкому» месту сети.

При фиксированной процедуре выбора маршрутов доля трафика r_{ij}, который выходит из узла i по каналу, соединяющему узлы i и j, равна нулю, либо единице, в зависимости от места возникновения и места назначения этого трафика сообщений. При этом подразумевается, что оптимальный выбор трафика в канале $\{\lambda_i\}$ включает отыскание для каждой линии таких теоретических средних интенсивностей потоков сообщений, которые дают минимальную среднюю задержку сообщения.

Сформулирована задача оптимизации ресурсов сети, которая в качестве исходных данных включает множество переменных, варьируемых при проектировании сети. Считается, что заданы положения узлов, требования к внешнему трафику γ_{jk}, стоимости каналов $d_i(C_i)$, постоянная D, а также предполагается, что используемые потоки $\{\lambda_i\}$

являются реализуемыми (т.е. они согласуются с пропускными способностями и ограничениями на внешний трафик). Решение задачи позволяет оптимально распределить ресурсы проектируемой сети с учетом принятых допущений.

Третья глава посвящена разработке имитационной модели процессов информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин.

Предложенная имитационная модель состоит из управляющей, функциональной и информационной частей (Рис. 2).

Управляющая часть содержит: блок управления моделированием, предназначенный для реализации плана эксперимента; блок диалога, обеспечивающий комфортную работу пользователя с интерактивной моделью; блок обработки результатов моделирования, реализующий процедуру расчета заданных показателей за счет статистической обработки результатов моделируемой операции; календарь событий, управляющий появлением событий в системе.

Функциональная часть состоит из функциональных модулей (ФМ), в которых описываются и реализуются все процессы. Один функциональный модуль описывает либо отдельный процесс в системе, либо ее элемент (подсистему) в зависимости от выбранной схемы моделирования.

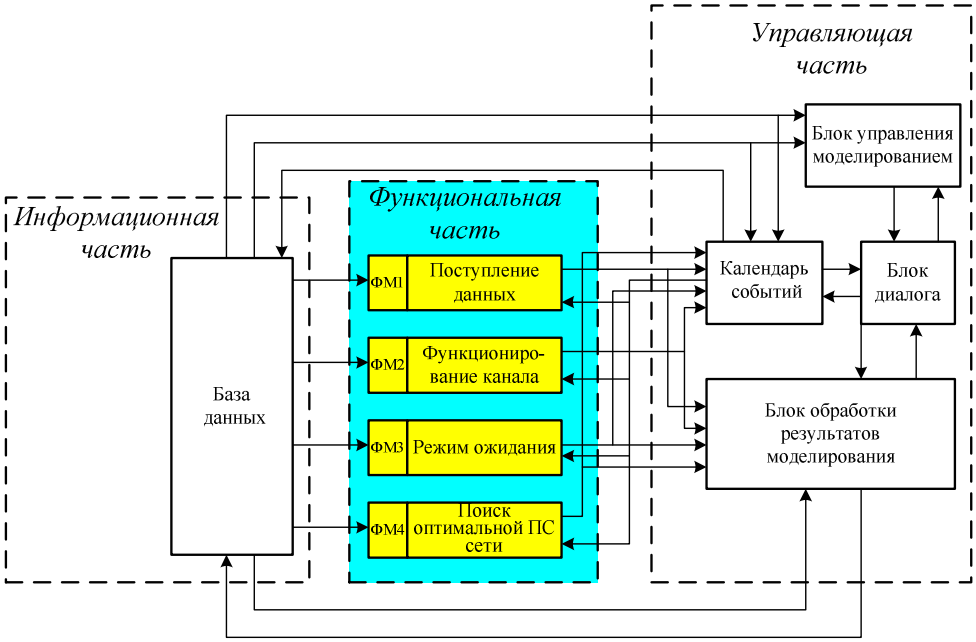

Рис. 2. Схема имитационной модели ПИО в СПШ

Информационная часть (база данных) представляет собой совокупность специальным образом организованных (структурированных) данных о моделируемой системе (операции), а также программных средств работы с этими данными.

В модели процессов информационного обмена выделяются события: поступление заявок на один из терминалов; функционирование канала; режим ожидания; поиск оптимальной пропускной способности сети; окончание моделирования.

На основании теоретических положений и построенной математической модели процессов информационного обмена в работе представлено программное средство, реализующее алгоритмы работы функциональной части предложенной модели.

Разработанный программный продукт состоит из 4 модулей. Каждый из используемых модулей реализует свои строго определенные функции, управление которым передается в том или ином случае. В таблице 1 представлены модули системы с кратким описанием.

В программе построена граф-схема модели, описаны основные события, разработаны их алгоритмы.

В модулях Unit1 и Unit2 реализована работа функциональной части имитационная модели и алгоритмы поиска оптимальной пропускной способности для заданной сети.

В модуле Unit1 реализуются алгоритмы поиска оптимальной пропускной способности сети (процедуры Optimum_Spusk и Optimum_Search соответственно). Кроме того, в нем сосредоточено описание пользовательского интерфейса, составление сводной таблицы результатов моделирования (процедура FillResultTable), а также отрисовка графиков распределения среднего времени обработки сообщения и среднего времени задержки сообщения в сети (процедура Draw).

Таблица 1. Список модулей программы

Файл модуля	Описание модуля
Unit1.pas	Реализует метод покоординатного спуска и поиск оптимальной пропускной способности сети, пользовательский интерфейс
Unit2.pas	Реализует имитационную модель работы сети
Unit3.pas	Реализует документирование результатов моделирования
Unit4.pas	Реализует проверку корректности вводимых данных

В модуле Unit2 осуществляется моделирование работы сети при различной пропускной способности (от минимальной до максимальной) и вычисляется среднее время задержки сообщения в сети. В дальнейшем полученные результаты используются для определения оптимального варианта. В процедуре Smpl_model2 реализуется имитация работы сети с пропускной способностью, заданной пользователем. Результаты моделирования приводятся в файле 1.txt.

В модуле Unit3 реализована функция документирования полученных результатов моделирования, позволяющая пользователю сохранить полученные данные в виде таблицы для последующего изучения.

В модуле Unit4 реализованы проверки корректности ввода данных при описании пользователем сети.

Таким образом, разработанная имитационная модель предусматривает аналитическое задание параметров, реализует методы покоординатного спуска и линейного поиска и позволяет найти оптимальное значение пропускной способности сети. В качестве исходных данных используются: число управляющих устройств на шине; время формирования пакета; начальная пропускная способность; стоимостной коэффициент (затраты на построение сети).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

В диссертационной работе решена научно-техническая задача по оптимизации ресурсов и управлению процессами информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин, позволяющей повысить эффективность функционирования таких сетей и увеличить их пропускную способность за счет оптимального распределения ресурсов.

В рамках проведенных исследований получены следующие основные результаты:

1. Показано, что в результате децентрализации процессов управления в сетях АСУТП происходит перераспределение функций управления по сети. Это означает, что задача управления распределяется между микропроцессорными устройствами, каждому из

которых отводится определенное задание и которые осуществляют информационный обмен с использованием различных стандартных протоколов.

2. Сформулирована задача оптимизации ресурсов сети АСУТП на основе полевых шин, которая заключается в выборе оптимальной топологии сети из некоторого кортежа топологий при ограничениях на пропускную способность каналов и стоимость сети. Критерием оптимизации определена минимальная задержка сообщения в сети.

3. Отмечено что существующее разнообразие моделей процессов информационного обмена (ПИО) не гарантирует их адекватности множеству практических задач, возникающих при разработке распределенных сетей АСУТП. Это обусловлено тем, что требования к таким моделям изначально противоречивы и учитывают различные особенности функционирования этих сетей.

4. Разработана математическая модель процессов информационного обмена, базирующаяся на математическом аппарате многопотоковых систем массового обслуживания сложной структуры, отличающаяся использованием замкнутых марковских сетей для описания трафика сообщений и позволяющая оптимизировать процессы управления ресурсами сети.

5. Разработана имитационная модель процессов информационного обмена, включающая их математическую модель и методику оптимизации ресурсов сетей, которая состоит из управляющей; функциональной и информационной частей. В модели события: поступление заявок на один из терминалов; функционирование канала; режим ожидания; поиск оптимальной пропускной способности сети; окончание моделирования. Модель предусматривает аналитическое задание параметров сети, оптимизацию ее пропускной способности и реализует методы покоординатного спуска и линейного поиска. Варьируемым параметром выступает пропускная способность сети, а критерием эффективности функционирования системы – минимальное значение среднего времени задержки сообщения в сети. Имитационное моделирование осуществлялось исходя из того, что процессы информационного обмена в сетях АСУТП осуществляют некоторую последовательность действий (операций), связанных с передачей сообщения или его отдельных фрагментов от источника информации к потребителю. При этом источник информации формирует заявку, которая может быть помещена в очередь или обслужена немедленно.

Список опубликованных работ:

1. Иванова С.Н. Проблемы обмена данными в интегрированной среде АСУ промышленных предприятий / А.В. Еременко, А.И. Осипов, Д.С. Мишин и др. // Информационные системы и технологии. – 2014. – № 1 – С.59 – 66.

2. Иванова С.Н. Анализ технических решений по построению модульных структур сбора и обработки данных газотранспортных предприятий / А.В. Еременко, А.И. Осипов, Д.С. Мишин и др. // Информационные системы и технологии. – 2014. – № 2 – С.93 – 100.