

На правах рукописи

Сысоев Павел Анатольевич

**МОДЕЛИ И МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПОСЛЕ СБОЕВ
В ИНТЕГРИРОВАННОЙ АСУ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орёл - 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» (г. Орел).

- Научный руководитель:** кандидат технических наук
Парамохина Татьяна Михайловна
- Официальные оппоненты:** Шарупич Вадим Павлович,
доктор технических наук, Научно-исследовательский и проектный институт НИПИ «Градоагроэкопром», директор
Лысков Олег Эдуардович
кандидат технических наук, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», доцент кафедры «Информационные системы»
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Юго-Западный государственный университет»

Защита состоится « 26 » ноября 2013 г. в 15.30 на заседании диссертационного совета Д 212.182.01 при ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК» по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Автореферат разослан « 26 » октября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент _____ Волков Вадим Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время совершенствование АСУ промышленных предприятий базируется на достижениях в области информационных и телекоммуникационных технологий. Рассматриваемые предприятия относятся к развивающимся отраслям промышленности (газовая, нефтяная, нефтехимическая, металлургическая) с полностью или частично непрерывным производством. Кроме того, у них имеются достаточные средства для модернизации, как АСУ, так и компонентов сетей передачи данных и программно-технических средств, обеспечивающих решение задач автоматизации и управления производством.

Успешное функционирование промышленного предприятия обеспечивается повышением эффективности производства и качества продукции, а также новым качеством управления на основе полной, достоверной и оперативной информации обо всех объектах производства. Это становится возможным при комплексной интеграции, существующих в настоящее время, отдельных АСУ предприятия.

В исследовании под интегрированной автоматизированной системой (АС) понимается совокупность двух или более взаимоувязанных АС, в которой функционирование одной из них зависит от результатов функционирования другой (других) так, что эту совокупность можно рассматривать, как единую АС (ГОСТ 34003-90). При этом, интеграция АС должна рассматриваться в организационном, функциональном, информационном, программном и техническом аспектах. С технической точки зрения объединение комплексов и средств автоматизации, сетей передачи данных позволяет реализовать распределенную обработку информации.

Создание единого информационного пространства, где существенную роль играет сеть ИАСУ, обеспечивающая информационный обмен (ИО) между приложениями, используемыми в различных подсистемах АСУ промышленного предприятия, позволяет повысить эффективность управления производством.

Резкое увеличение объема, разнородность потока данных (трафика) и недостаточный объем буферной памяти промежуточных компонентов сети могут приводить к перегрузкам. Следствием перегрузки являются сбои процессов ИО, приводящие к снижению эффективности управления производством.

В основе настоящего исследования лежат результаты работ в области *теории вероятностей и случайных процессов* (Ю.К. Беляев, И.Н. Коваленко, В.М. Шуренков, Б.А. Севастьянов, А.Д. Соловьев, Д. Сох, W. Smith), *теории построения распределенных систем* (В.С. Бурцев, В.В. Воеводин, В.В. Корнеев, Э. Таненбаум), *теории распределенных вычислений* (А.Б. Барский, Н. Коновалов, В. Крюков, Б.И. Коган, В.В. Топорков, В.Н. Касьянов, Ю.В. Капитонова), *теории информационных процессов в автоматизированных системах* (Г.И. Пранявичус, А.Д. Иванников, И.С. Константинов, В.П. Кулагин,

В.Т. Еременко), *математического моделирования процессов ИО* (В. Т. Еременко, К. Е. Авраченко, J. Padhye, S. Floyd, M. Mathis, E. Altman).

В этих работах имеются достаточные научные предпосылки для решения поставленной задачи. Между тем, появление сбоев приводит к изменению согласованных параметров существующих соединений (например, скорости ИО), что влияет на своевременность и целостность информации, используемой для принятия решения руководством промышленного предприятия.

Таким образом, своевременное восстановление процессов ИО при обнаружении сбоев, и совершенствование алгоритмов управления процессами ИО обуславливает актуальность, выбор объекта, предмета и цели исследования.

Объект исследования – процессы информационного обмена в сети интегрированной АСУ промышленного предприятия.

Предмет исследования – методы, модели и алгоритмы управления процессами информационного обмена в сети интегрированной АСУ промышленного предприятия.

Цель исследования – повышение эффективности интегрированной АСУ на этапах разработки, внедрения и эксплуатации за счет сокращения времени восстановления после сбоев.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ процессов ИО в системе управления промышленным предприятием.
2. Анализ методов надежной доставки данных в сети ИАСУ.
3. Формализация процесса анализа пропускной способности в сети ИАСУ при конкурирующем трафике.
4. Исследование способов и приемов восстановления процессов ИО в сети ИАСУ.
5. Формализация и исследование процессов ИО в сети ИАСУ.

Методы исследования.

Решение указанных задач основывалось на теории вероятностей, математической статистике, теории восстановления, методах системного анализа и имитационного моделирования.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что разработаны:

1. *Математическая модель анализа пропускной способности каналов передачи данных сети интегрированной АСУ промышленного предприятия при динамическом состоянии соединения*, базирующаяся на аналитической оценке динамического значения окна перегрузки, отличающаяся учетом фаз управления перегрузкой и позволяющая формализовать процесс ИО при наличии конкурирующего трафика.

2. *Метод восстановления процессов ИО в сети ИАСУ при ограниченной производительности каналов ПД*, базирующийся на процедуре управления потоком, отличающийся учетом ограничений на процесс записи данных в буферы промежуточных компонентов.

3. *Имитационная модель процессов информационного обмена в сети интегрированной АСУ при продолжительном соединении*, включающая разработанную методику и компонент моделирования среды, отличающаяся учетом ограниченной производительности.

Практическая ценность работы.

Разработанные теоретические положения реализованы в алгоритме адаптивного управления скоростью информационного обмена и использованы при совершенствовании процессов управления на ОАО «Промприбор» (г. Ливны) – акт от 03.10.2012 г., а также применены в программной реализации имитационной модели вычислительной сети ОрелГТУ (свидетельство о государственной регистрации № 2008612617 от 27.05.2008).

Апробация работы.

Результаты диссертационной работы были представлены на:

V Международной электронной научно-технической конференции «Технологическая системотехника – 2006» (г. Тула, 2006 г.); III Всероссийской научно-практической интернет-конференции «Методы прикладной математики и компьютерной обработки данных в технике, экономике и экологии» (г. Орел, 2006); V Международной научно-практической интернет-конференции «Энерго- и ресурсосбережение XXI век» (г. Орел, 2007); XIII-ой конференции преподавателей и аспирантов ОрелГТУ «Неделя науки» (г. Орел, 2008), IV Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (г. Орел, 2010), Международной научно-технической интернет-конференции «Информационные системы и технологии 2011» (г. Орел, 2011), II Международной научно-технической интернет-конференции «Информационные системы и технологии 2013» (г. Орел, 2013).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 статей, из них 4 статьи в изданиях рекомендованных ВАК.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель анализа пропускной способности каналов передачи данных в сети интегрированной АСУ промышленного предприятия при динамическом состоянии соединения.

2. Метод восстановления процессов ИО в сети ИАСУ при ограниченной производительности каналов ПД.

3. Имитационная модель процесса информационного обмена в сети интегрированной АСУ при продолжительном соединении.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка.

Работа изложена на 144 страницах машинописного текста, включающего 40 рисунков, 2 таблицы, библиографический список из 181 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель, задачи, объект и предмет исследования, сформулированы научная новизна, практическая ценность, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализированы процессы ИО при управлении промышленным предприятием.

Установлено, что объекты управления комплексов промышленной автоматизации можно рассматривать, как открытую динамическую систему, активно взаимодействующую с неоднородной и нестационарной производственной средой. Отмечено, что важным следствием принципа системности является то, что в рамках интегрированной АСУ управление предприятием должно осуществляться на базе взаимоувязанных моделей отдельных подсистем.

Отмечено, что в процессе функционирования интегрированная АСУ обеспечивает функции сбора, обработки, анализа полученной информации с использованием экономико-математических методов с целью выработки оптимальных управленческих решений, дифференцированного распределения информации, а также прогнозирование развития объектов управления.

Результаты мониторинга состояния технологических установок и полученная при этом технологическая информация, в рамках единого информационного пространства, должна обеспечивать интеграцию данных «по вертикали» управления и служить базой для решения задач управления производством.

Развитая структура промышленного предприятия, предполагает интенсивный ИО и требует интеграции данных «по горизонтали» между подразделениями.

Используемые в интегрированной АСУ приложения предъявляют различные требования к временным показателям обработки и передачи информации, допустимости возникновения ошибок при ИО. Это приводит к увеличению нагрузки на сеть ИАСУ, что обуславливает возникновение сбоев и необходимость восстановления процессов ИО.

Возникающая проблема в области совместной надежной работы средств ИО позволяет сделать вывод о необходимости исследования и разработки метода восстановления процессов ИО в сети ИАСУ после сбоев.

Во второй главе предложена математическая модель анализа пропускной способности каналов передачи данных сети ИАСУ при динамическом состоянии соединения.

Для надежного и гарантированного процесса ИО применяются алгоритмы управления потоком, управления перегрузкой и реакции на перегрузку сети. При этом используются: метод скользящего окна, расчет времени обращения сегмента, расчет тайм-аута – времени ожидания получения квитанции, алгоритмы медленного старта и предотвращения перегрузки, быстрой повторной передачи и быстрого восстановления, анонсирование окна приемника.

Модель базируется на аналитической оценке динамического значения окна перегрузки (W). Для анализа пропускной способности ИО рассматривается, как процесс передачи сегментов на интервалах времени ограниченных сбоями – фактами обнаружения потери. Передача сегментов

происходит тактами и обеспечивается методом скользящего окна. Начало такта определяется моментом передачи первого сегмента из скользящего окна, а завершение – получением первой квитанции на один из переданных сегментов в этом окне. Это позволяет представить ИО, как процесс восстановления с соответствующим процессом накопления на интервале времени.

Предполагается, что потери происходят только в направлении от передатчика к приемнику и их вероятности в различных тактах независимы. Однако учитывается коррелированность потерь в одном такте, при которой первый потерянный сегмент приводит к потере следующих за ним сегментов, то есть к пакетированию потерь.

Обнаружение первой потери сегмента в такте происходит в результате получения передатчиком дублированных квитанций или завершения тайм-аута. При этом предполагается, что пропускная способность ограничивается со стороны приемника, то есть $W_{rw} > M[W]$, где W_{rw} – значение окна приемника.

Пропускная способность определяется на основе теории восстановления следующим образом:

$$B = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_t}{t} \quad (1)$$

где N – количество сегментов переданных в интервале времени t .

Установлено, что при поступлении дублированных квитанций в условиях пакетирования потерь в такте следует учитывать следующие фазы процесса ИО (рис. 1): 1 – медленный старт, 2 – предотвращение перегрузки, 3 – быстрая повторная передача и восстановление, 4 – тайм-аут повторной передачи.

В модели учтены следующие параметры процесса ИО: вероятность потери сегмента данных (p), среднее значение времени обращения сегмента ($\overline{t_{RT}}$), среднее значение тайм-аута ($\overline{t_{TO}}$), значение окна приемника (W_{rw}), количество успешно принятых сегментов подтверждаемых одной квитанцией (b).

Моделирование проводится при следующих ограничениях. В течение всего соединения размер сегментов является максимальным. Размер окна приемника имеет постоянное значение. Для передачи всех сегментов в скользящем окне требуется времени значительно меньше, чем t_{RT} , при этом величина t_{RT} и p не зависят от величины скользящего окна, $b = 1$

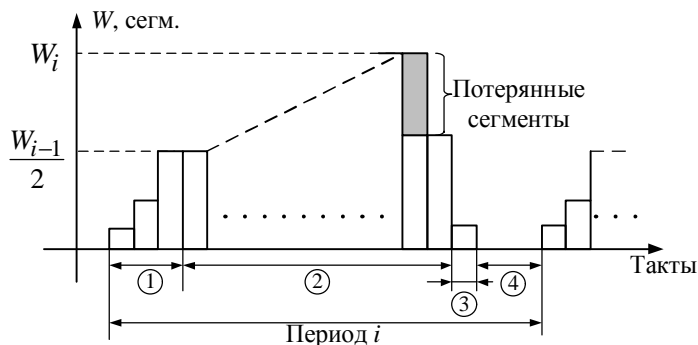


Рис. 1. Процесс ИО в периоде при пакетировании потерь

Процесс ИО представляется в виде последовательности циклов $j = 1, 2, \dots$, состоящих из i периодов (рис. 2) и последовательности тайм-аутов.

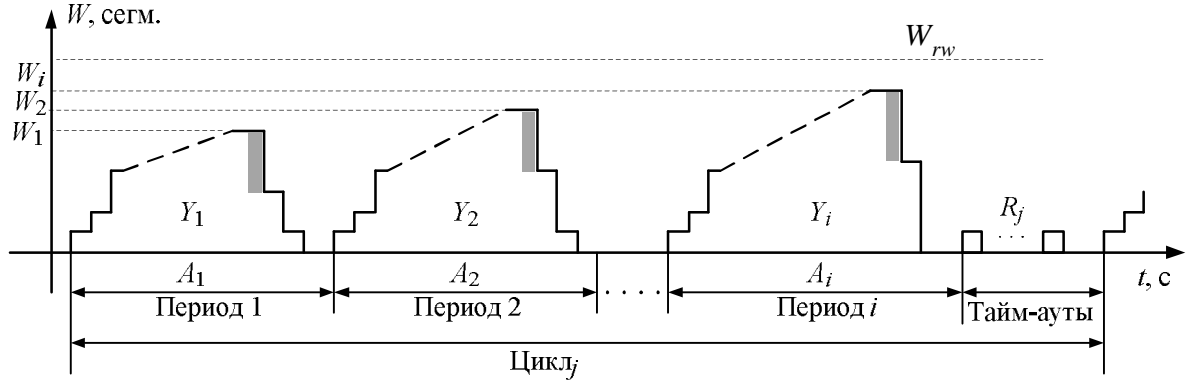


Рис. 2. Процесс ИО в цикле

При этом, построение модели осуществляется для случаев обнаружения потерь сегментов и ограничениях со стороны приемника. Периоды в цикле завершаются с получением дублированных квитанций за исключением последнего периода, который характеризует окончание тайм-аута.

Для процесса ИО, в котором первая потеря обнаруживается только при поступлении дублированных квитанций пропускная способность канала ПД, согласно (1) с учетом указанных параметров, может быть определена как

$$B = \frac{\frac{1}{p} + M[W]}{\overline{t_{RT}} \cdot \left(\max(\log_2 M[W], 2) + \left(\frac{M[W]}{2} + 1 \right) + 2 \right) + \overline{t_{TO}}} \quad (2)$$

где p – вероятность первой потери сегмента в такте;

$M[W]$ – математическое ожидание значения окна в конце фазы предотвращения перегрузки:

$$M[W] = -\left(\frac{2 + 3 \cdot b}{3 \cdot b} \right) + \sqrt{\frac{8 + 4 \cdot p}{3 \cdot b \cdot p} + \left(\frac{2 + 3 \cdot b}{3 \cdot b} \right)^2} \quad (3)$$

Для процесса ИО с обнаружением первой потери сегмента при поступлении дублированных квитанций, а также с учетом завершения тайм-аута, количество передано сегментов в цикле будет $M = \sum Y_i + R_j$, где R_j – количество сегментов, переданных при тайм-аутах (рис. 2).

Тогда согласно (1):

$$B = \frac{\frac{1}{p} + M[W] + \hat{Q}(M[W]) \frac{p}{1-p}}{\overline{t_{RT}} \left(\max(\log_2 M[W], 2) + \left(\frac{M[W]}{2} + 1 \right) + 2 \right) + \overline{t_{TO}} + \hat{Q}(M[W]) \left(\overline{t_{TO}} \frac{f(p)}{1-p} - \overline{t_{RT}} \right)}, \quad (4)$$

где $M[W]$ определяется согласно (3), а $f(p)$ следующим образом:

$$f(p) = 2p + 2p^2 + 4p^3 + 8p^4 + 16p^5 + 32p^6, \quad (5)$$

$\hat{Q}(M[W])$ – вероятность обнаружения первой потери сегмента в такте при завершении тайм-аута и определяется в целом ряде работ.

Кроме того следует учитывать возможность ограничения скользящего окна значением окна приемника. При этом будем полагать $W_{rw} \approx M[W]$. Тогда с учетом данного приближения и выражения (4), математическая модель анализа пропускной способности каналов передачи данных сети ИАСУ может быть представлена как:

$$B = \begin{cases} \frac{\frac{1}{p} + M[W] + \hat{Q}(M[W]) \frac{p}{1-p}}{t_{RT} \left(\max(\log_2 M[W], 2) + \left(\frac{M[W]}{2} + 1 \right) + 2 \right) + t_{TO} + \hat{Q}(M[W]) \left(t_{TO} \frac{f(p)}{1-p} - t_{RT} \right)}, & W_{rw} > M[W]; \\ \frac{\frac{1}{p} + W_{rw} + \hat{Q}(W_{rw}) \frac{p}{1-p}}{t_{RT} \left(\max(\log_2 W_{rw}, 2) + \frac{W_{rw}}{8} + \frac{4 + pW_{rw} + 2p}{4pW_{rw}} + \frac{3}{2} \right) + t_{TO} + \hat{Q}(W_{rw}) \left(t_{TO} \frac{f(p)}{1-p} - t_{RT} \right)}, & W_{rw} \leq M[W], \end{cases} \quad (6)$$

Предложенная математическая модель отличается учетом фаз управления перегрузкой и позволяет формализовать процесс ИО при динамическом состоянии соединения.

В третьей главе представлена метод восстановления процессов ИО при ограниченной производительности каналов передачи данных в сети интегрированной АСУ.

Восстановление процесса ИО рассматривается, как изменение отправителем скорости передачи сегментов в соответствии с результатами, полученными при анализе значения текущей пропускной способности каналов ПД сети ИАСУ. При этом, гарантированная доставка данных и удержание характеристик передачи в требуемых пределах обеспечивается механизмами управления потоком и управления перегрузкой.

Однако, наличие в сети ИАСУ конкурирующего агрегированного трафика, в качестве которого в исследовании рассматривается потоковый трафик, может значительно ухудшать функционирование каналов ПД сети ИАСУ, например вследствие ограниченной производительности промежуточных компонентов сети.

Возникающие, при этом, сбои обуславливают потери потокового вещания, представляющие собой пакетированные потери сегментов данных в одном такте. В ходе исследования установлено, что существующий порядок запуска алгоритмов управления перегрузкой в протоколе не позволяет

своевременно восстановить процесс ИО в условиях потерь потокового вещания, и приводит к логическим ошибкам.

Для решения указанной проблемы предложена методика управления скоростью ИО при ограничении производительности каналов ПД сети ИАСУ. Процесс ИО при реализации методики осуществляется циклически (рис. 3). Методика предусматривает три этапа: 1 – определение скорости ИО соответствующей нормальному режиму функционирования; 2 – проверка события, соответствующего обнаружению потери; 3 – запуск алгоритма ускоренного восстановления процессов ИО.

Исходными данными являются – t_{RT} , t_{TO} , p , W_{rw} , W . В качестве критерия оптимизации выбран коэффициент использования пропускной способности каналов ПД $K_B = N_{wACK} / N_w$, $K_B \rightarrow \max$, где N_{wACK} – число успешно переданных сегментов, N_w – число переданных сегментов и $N_w = B \cdot T$, $T = t_{npd} + t_{TO}$, где t_{npd} – время задействования каналов ПД сети ИАСУ для передачи сегментов. Установлено, что в течение тайм-аута при потерях потокового вещания передача сегментов не производится, что снижает качество ИО. На основе исходных данных, производится определение доступной пропускной способности каналов ПД сети ИАСУ, и функционирование протокола начинается быстрым увеличением скорости, аналогичным механизму медленного старта, для эффективного использования пропускной способности.

При достижении порога осуществляется переход в режим анализа состояния элементов, для удержания скорости ИО на уровне доступной пропускной способности каналов ПД сети ИАСУ. В случае нормального функционирования промежуточных компонентов сети пропускная способность каналов ПД сети ИАСУ может ограничиваться со стороны приемника, однако не приводит к потерям сегментов.

В процессе ИО анализируются события соответствующие фактам обнаружения первой потери сегментов. При поступлении отправителю дублированных протокольных примитивов, указывающих на потери потокового вещания, происходит переход к этапу ускоренного восстановления процесса ИО. В случае успешной повторной передачи потерянного сегмента происходит быстрое увеличение скорости, без ожидания завершения тайм-аута, обусловленного пакетированием потерь сегментов.

Обнаружение потери сегмента при завершении тайм-аута указывает окончание цикла ИО. При наличии данных готовых к отправке алгоритм функционирует сначала.

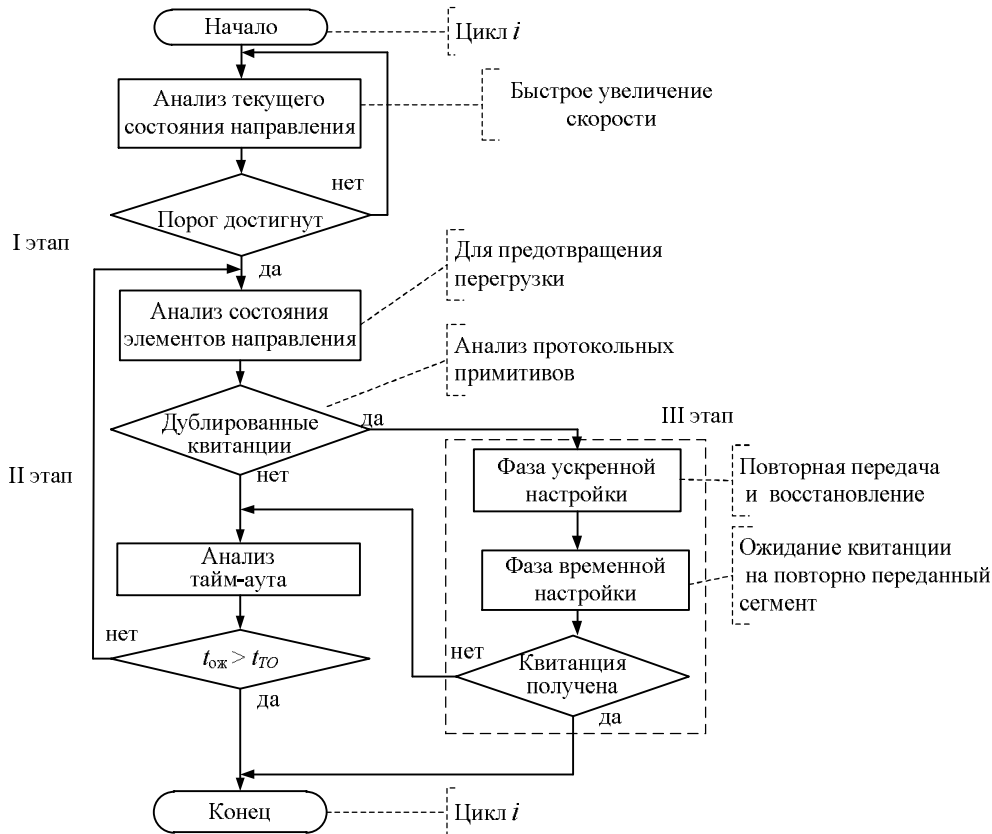


Рис. 3. Блок-схема методики управления скоростью ИО при ограничении производительности каналов ПД сети ИАСУ

В четвертой главе разработана имитационная модель процесса ИО в сети ИАСУ при продолжительном соединении, включающая разработанную методику и компонент моделирования среды ИО.

При разработке имитационной модели использовался программный продукт моделирования сетей Network simulator version 2.

Для исследования применена топология с одним каналом ПД процесс ИО в котором обеспечивается транспортным протоколом TCP (Transmission Control Protocol) и источниками формирующими трафик, разделяющий общие каналные ресурсы сети ИАСУ (рис. 4). В качестве конкурирующего трафика использовался трафик формируемый ON/OFF передатчиками UDP (User Datagram Protocol)

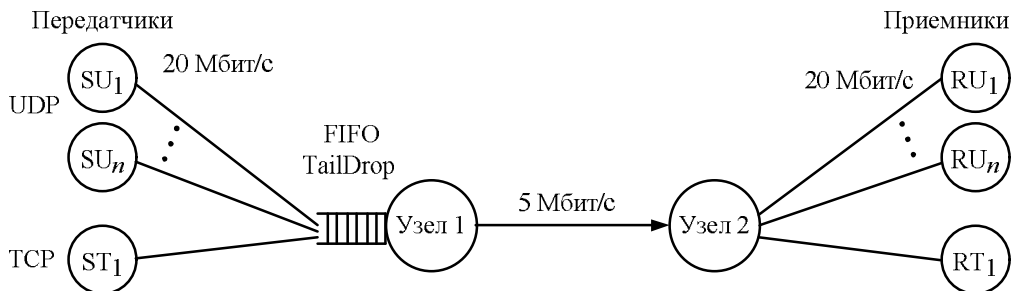


Рис. 4. Схема эксперимента моделирования процесса ИО

В ходе эксперимента количество передатчиков UDP изменялось с шагом в десять источников после проведения 20 испытаний. Каждое испытание проводилось в течение часа времени ИМ.

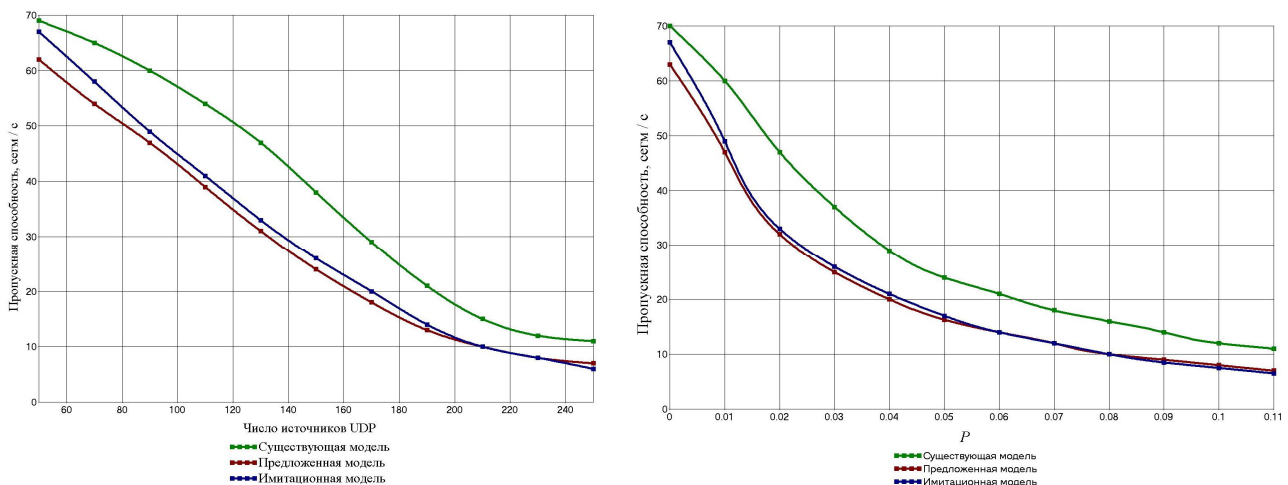
Для конкурирующего трафика средняя длительность периода ON $T^{ON} = 1$ с, средняя длительность периода OFF $T^{OFF} = 2$ с. Промежуточные компоненты сети – узлы 1 и 2 используют дисциплину обслуживания FIFO (First In, First Out) с алгоритмом организации очереди «сброс хвоста» (Tail Drop).

Для последующих расчетов при каждом испытании проводился сбор значений следующих параметров: общее количество переданных сегментов; число сегментов, переданных повторно; число уменьшений величины скользящего окна при факте обнаружения потери сегментов; измеренное значение t_{RT} , его средневзвешенное значение и среднее значение его отклонения.

Значение p определялось как отношение числа уменьшений окна перегрузки при обнаружении потери к общему числу сегментов данных, переданных за время испытания.

Полученные результаты анализа пропускной способности каналов ПД сети ИАСУ в условиях разделения общих канальных ресурсов с конкурирующим трафиком соответствующие модельному эксперименту, существующей и предложенной аналитическим моделям реализации транспортного протокола представлены на рисунке 5.

Анализ результатов проведенных исследований указывает на соответствие разработанной математической модели анализа пропускной способности результатам модельного эксперимента в диапазоне передатчиков UDP 50 – 250, формирующих конкурирующий трафик, в то время как существующие методы значительно завышают величину доступной пропускной способности каналов ПД сети ИАСУ.



а)

б)

Рис. 5. Зависимость пропускной способности

а) от количества источников UDP

б) от вероятности потери сегмента

Расчет относительной погрешности анализа пропускной способности каналов ПД проводился в соответствии с выражением:

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{|B_i^{\text{расч}} - B_i^{\text{измер}}|}{B_i^{\text{измер}}} \right) \quad (10)$$

где n – число испытаний.

Результаты расчетов приведены на рисунке 6.

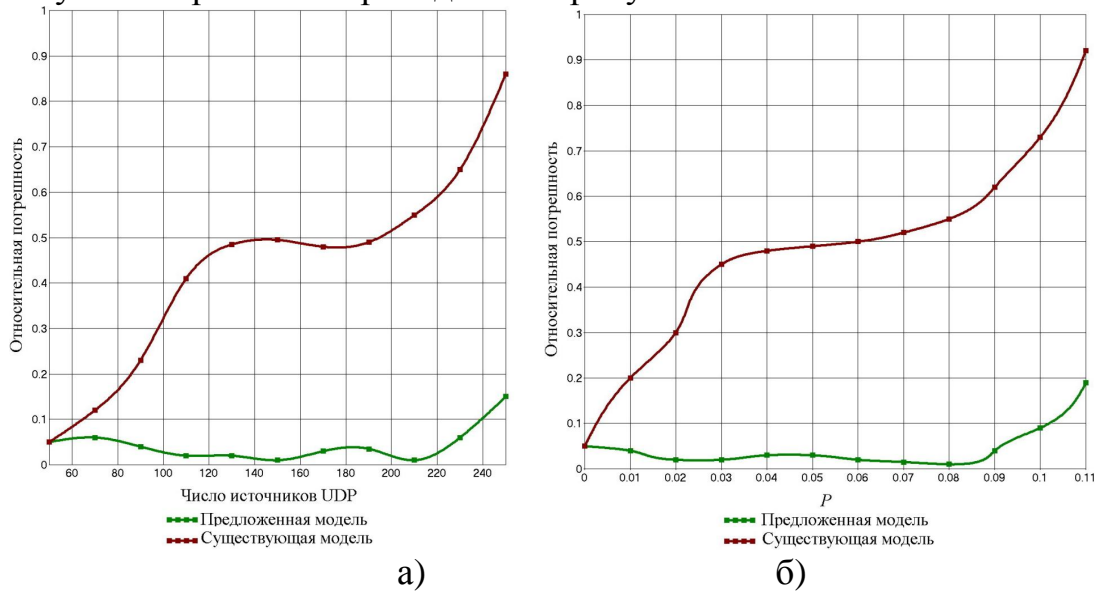


Рис. 6. Зависимость относительной погрешности
а) от количества источников UDP б) от вероятности потери сегмента

Погрешность предложенной математической модели анализа пропускной способности каналов ПД сети ИАСУ лежит в пределах 5–9 % в указанном диапазоне передатчиков и составляет в среднем не более 7 %, тогда как погрешность существующей модели составляет в среднем 30 % и уменьшается при количестве передатчиков UDP менее 70.

Расчет коэффициента использования пропускной способности каналов ПД сети ИАСУ показал, что применение методики адаптивного управления скоростью ИО позволила увеличить его с 91,75 % до 98,12 %.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В рамках проведенных исследований получены следующие основные результаты:

1. Установлено, что наличие потокового трафика в условиях ограниченной производительности каналов ПД приводит к потерям потокового вещания, характеризующихся пакетированием отброшенных сегментов в буферах промежуточных компонентов сети ИАСУ.

2. Разработана математическая модель анализа пропускной способности каналов ПД сети ИАСУ при динамическом состоянии соединения, использующая аналитическую оценку изменения величины окна перегрузки, отличающаяся учетом ограничений на процесс записи данных в буферы промежуточных компонентов. В форме удобной для практического использования модель позволяет описать процесс ИО при наличии конкурирующего трафика.

3. Установлено, что при продолжительных соединениях, в которых передается значительный объем данных и большую часть времени соединения находятся в фазе предотвращения перегрузки, вероятность потери мала и каждая потеря может быть восстановлена инициализацией алгоритмов быстрой повторной передачи и быстрого восстановления.

4. Случайный процесс потерь сегментов может быть рассмотрен, как последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин.

5. Разработан метод восстановления процессов ИО в сети ИАСУ при ограниченной производительности каналов ПД, базирующийся на процедуре управления потоком, отличающийся учетом фаз управления перегрузкой и позволяющий восстановить процессы ИО в сети ИАСУ после сбоев. Сбои обуславливаются увеличением потокового трафика, разделяющего общие каналные ресурсы с каналами ПД. Для условий возникновения потерь потокового вещания проведена коррекция учета фаз управления перегрузкой.

6. Исходными данными для восстановления процесса ИО после сбоев являются вероятность потери сегмента, величина окна приемника, время оборота сегмента, тайм-аут повторной передачи. В качестве событий указывающих на возникновение сбоя учитываются поступление дублированных квитанций и завершение тайм-аута повторной передачи.

7. Особенностью разработанного метода восстановления процессов ИО является то, что при поступлении дублированных квитанций после успешной повторной передачи сегмента производится быстрое увеличение скорости, как и в начале установления соединения, не ожидая завершения тайм-аута, который обуславливается потерями потокового вещания.

8. Для исследования свойств метода и математической модели разработана имитационная модель процессов информационного обмена в сети интегрированной АСУ при наличии потокового трафика, позволяющая изучать процесс ИО, происходящий в сети с точки зрения наличия продолжительных соединений.

9. Процессы ИО моделируются «событийным» методом. Все события, возникающие при реализации функций ИО в процессе доставки сообщений от отправителя к получателю, имитируются с учетом временных соотношений: передача сегментов, квитирование успешно доставленных сегментов, повторная передача при завершении тайм-аута отправителя и т.д.

10. В ходе моделирования при каждом испытании проводился сбор значений следующих параметров: общее число переданных сегментов, число

сегментов, переданных повторно, число уменьшений величины скользящего окна в результате обнаружения потери сегментов, измеренное значение времени оборота сегмента, его средневзвешенное значение и среднее значение отклонения. Проведен анализ коррелированности потерь сегментов в пределах такта, который позволяет судить о сбоях.

11. Расчет пропускной способности согласно разработанной математической модели коррелирует с результатами имитационного моделирования, в то время, как существующие модели дают завышенную оценку пропускной способности каналов ПД сети ИАСУ, в среднем на 35 %, что приводит к неэффективному ее использованию. При этом погрешность полученных результатов составляет не более 7 %, тогда как для существующих алгоритмов – 30 %.

12. Использование разработанного метода восстановления процессов ИО в сети ИАСУ при ограниченной производительности каналов ПД позволяет повысить коэффициент использования пропускной способности на 7 % и уменьшить время восстановления процесса ИО на 12 %.

Список работ, опубликованных по теме диссертации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Сысоев, П.А. Математическая модель адаптивного управления скоростью передачи в стеке протоколов TCP/IP [Текст] / В.Т. Еременко, П.А. Сысоев, В.Г. Мамонов, С.В. Костин // Известия ТулГУ. Серия «Технологическая системотехника». Вып. 11. Труды участников Пятой Международной электронной научно-технической конференции «Технологическая системотехника–2006». 2006. – 179 с. С. 153–164. (Личное участие – 25 %)

2. Сысоев, П.А. Сопряжение трафика на транспортном уровне в виртуальных частных сетях предприятий [Текст] / П.А. Сысоев, В.Т. Еременко, А.С. Засимов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». 2007. – №4-2/268(535). – 310 с. – С. 56–60. (Личное участие – 35 %)

3. Сысоев, П.А. Исследование поведения транспортных протоколов в корпоративных сетях в условиях интенсивного трафика [Текст] / П.А. Сысоев, В.Т. Ерёменко, А.С. Засимов // Известия ОрелГТУ. Серия «Информационные системы и технологии». 2008. – №4-3/272(550). – С. 9–13. (Личное участие – 35 %)

4. Сысоев, П.А. Моделирование взаимодействия протокольных реализаций TCP Reno и TCP Vegas в сети с ограниченной производительностью [Текст] / П.А. Сысоев, В.Т. Еременко // Информационные системы и технологии. 2010. – № 1/57(584). С. 109–120. (Личное участие – 50 %)

**Список работ, опубликованных в журналах и материалах конференций,
свидетельства о регистрации программ**

5. Сысоев, П.А. Моделирование процессов оценки скорости передачи данных в стеке протоколов TCP/IP [Текст] / П.А. Сысоев, В.Т. Еременко // Известия ОрелГТУ. Серия «Информационные системы и технологии». 2006. – № 2 (6). – 278 с. С. 174–182. (Личное участие – 50 %)

6. Сысоев, П.А. Имитационное моделирование передачи данных в корпоративных сетях на основе конкурирующего трафика [Текст] / П.А. Сысоев, В.Т. Еременко, С.И. Афонин // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. Сборник материалов V-ой международной научно-практической интернет-конференции / Под редакцией д-ра техн. наук проф. В.А. Голенкова, д-ра техн. наук проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук проф. Ю.С. Степанова. 2007. – 270 с. С.255–257. (Личное участие – 35 %)

7. Сысоев, П.А. Моделирование производительности реализаций TCP в сетях передачи данных предприятий [Текст] / П.А. Сысоев, А.Е. Георгиевский, В.Т. Ерёмченко // Информационные технологии в науке, образовании и производстве. ИТНОП–2010: материалы IV-й Международной научно-технической конференции – В 5-ти т. Т. 5. / Под общ. ред. д-ра техн. наук проф. И.С. Константинова. 2010. – 147 с. – С. 125–129. (Личное участие – 35 %)

8. Сысоев, П.А. Способы адаптивного управления скоростью информационного обмена в промышленных сетях передачи данных [Текст] / П.А. Сысоев, В.Т. Ерёмченко, А.Е. Георгиевский // Информационные системы и технологии: материалы Международной научно-технической интернет-конференции: г. Орел, апрель-май 2011. В 3 т. Т. 3 / под общ. ред. д-ра техн. наук проф. И.С. Константинова. 2011. – С. 116–122. (Личное участие – 35 %)

9. Сысоев, П.А. Имитационное моделирование передачи данных в сетях АСУ промышленных предприятий [Электронный ресурс] / П.А. Сысоев, Т.М. Парамохина // Сетевое научное издание «Информационные ресурсы, системы и технологии». Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 – 51946 (Личное участие – 50 %)

10. Сысоев, П.А. Программная реализация имитационной модели вычислительной сети ОрелГТУ / П.А. Сысоев, В.Т. Ерёмченко, А.С. Засимов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008612617 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам : Реестр программ для ЭВМ, 27.05.2008. (Личное участие – 35 %)

ЛР ИД № 00670 от 05.01.2000 г.

Подписано к печати « 22 » октября 2013 г. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л.1 Тираж 100 экз. Заказ № 167

Полиграфический отдел ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

302035, г. Орел, ул. Московская, 65