

На правах рукописи



САЛАХОВА АЛЬФИЯ ШАУКАТОВНА

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК
И ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ УДАЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В
СОВМЕЩЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ И
ИЗМЕРИТЕЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ В
МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОМ РЕЖИМЕ**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискании ученой степени

кандидата технических наук

Уфа – 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» на кафедре радиоэлектроники и информационно-измерительной техники

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Евдокимов Юрий Кириллович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Кузнецов Игорь Васильевич
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»,
профессор кафедры телекоммуникационных
систем

доктор технических наук, профессор
Солдаткин Владимир Михайлович
ФГБОУ ВПО «Казанский национальный ис-
следовательский технический университет
им. А.Н. Туполева», заведующий кафедрой
приборов и информационно-измерительных
систем

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего про-
фессионального образования «Московский
государственный технический университет
радиотехники, электроники и автоматики»
(МГТУ МИРЭА)

Защита диссертации состоится 19 декабря 2013 г. в 10.00 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.07
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
в актовом зале 1-го корпуса по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан « » ноября 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, доцент



И.Л. Виноградова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Развитие телекоммуникационных и информационно-измерительных технологий привело к появлению и широкому использованию распределенных измерительных систем, позволяющих предоставлять дистанционный доступ к удаленному оборудованию через сети общего пользования. Создание таких систем стало возможным благодаря совмещению компьютерных измерительных и управляющих систем и сетевых телекоммуникационных технологий.

Важной задачей является внедрение дистанционных технологий для решения производственных и научно-исследовательских задач, при этом обеспечение коллективного доступа к оборудованию осуществляется на основе многопользовательских систем дистанционного управления (СДУ).

Особый интерес представляет использование таких систем в учебном процессе в сфере инженерного образования, в том числе в лабораторных практиках и учебных экспериментах. Создание и внедрение таких систем в учебный процесс позволяет снизить затраты на обучение, повысить качество и индивидуальность обучения, предоставить доступ к уникальному оборудованию из любой географической точки и т.д.

Эффективность использования многопользовательской СДУ в значительной степени определяется параметрами потока входных запросов, конфигурацией СДУ, а также временными задержками в телекоммуникационной сети.

Степень разработанности темы. Современные исследования сетевого трафика показывают, что он характеризуется самоподобностью и долгосрочными временными зависимостями. Этот вопрос исследовали К.Park, В.Ryu, V.Paxson, R.Mondragon, В.И. Нейман, Б.С. Цыбаков, Н.Б. Лиханов, О.И. Шелухин и др. В работах этих ученых показывается, что самоподобные процессы, в том числе описывающие информационные потоки данных в больших телекоммуникационных сетях, существенно отличаются от потоков, рассматриваемых в классической теории телетрафика.

Несмотря на большое количество работ в этой области, их анализ показывает, что нет систематизированных данных о влиянии самоподобных свойств трафика на качество работы многопользовательских СДУ. Поэтому исследование самоподобности трафика и ее учет при проектировании СДУ является актуальной задачей, так как наличие самоподобного трафика в сетях общего пользования оказывает влияние на качество обслуживания.

Объект исследования являются процессы дистанционного управления физическим экспериментом в совмещенных телекоммуникационных и измерительно-управляющих системах.

Предметом исследования являются статистические закономерности временных задержек обслуживания в системе дистанционного управления физическим экспериментом в многопользовательском режиме.

Целью работы является повышение точности оценки быстродействия совмещенных телекоммуникационных и измерительно-управляющих систем в многопользовательском режиме.

Научная задача исследования – исследование статистической динамики и закономерностей временных задержек в совмещенных телекоммуникационных и измерительно-управляющих системах.

Задачи исследования:

1. Разработка методики экспериментальных исследований статистической динамики системы дистанционного управления экспериментом в многопользовательском режиме, позволяющая выявлять статистические особенности задержек обслуживания в совмещенных телекоммуникационных и измерительно-управляющих системах.

2. Экспериментальное исследование и установление статистических закономерностей динамики работы системы в многопользовательском режиме с учетом свойств телекоммуникационных сетей.

3. Разработка имитационной модели системы дистанционного управления экспериментом, позволяющая воспроизводить статистическую динамику процессов обслуживания в системе, основанная на экспериментальных оценках вероятностно-временных характеристик задержек обслуживания в телекоммуникационных сетях.

4. Разработка и создание аппаратно-программного обеспечения автоматизированной учебной лаборатории с дистанционным многопользовательским доступом, реализованной на основе совмещения телекоммуникационных и измерительно-управляющих систем.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена и разработана методика экспериментального исследования статистической динамики системы дистанционного управления экспериментом в многопользовательском режиме, позволяющая выявлять статистические особенности задержек обслуживания в совмещенных телекоммуникационных и измерительно-управляющих системах.

2. Экспериментально показано, что распределения задержек обслуживания в телекоммуникационных сетях приобретают характер распределений Парето (распределений с «тяжелыми хвостами»), что приводит к существенному увеличению среднего времени обслуживания СДУ по сравнению с оценками классической теории массового обслуживания.

3. Предложена и разработана имитационная модель системы дистанционного управления экспериментом, воспроизводящая динамику процессов, которая может использоваться для синтеза совмещенных телекоммуникационных и измерительно-управляющих систем, а также для прогнозирования и анализа поведения таких систем при различных режимах работы в реальном масштабе времени без проведения трудоемких и сложных экспериментов. По результатам имитационно-

го моделирования разработаны рекомендации, позволяющие обеспечить необходимый режим СДУ в процессе эксплуатации и внедрения.

Теоретическая и практическая ценность полученных результатов состоит в том, что они позволяют разработать рекомендации, обеспечивающие необходимый режим СДУ в процессе эксплуатации и внедрения. На основе положений и рекомендаций диссертационной работы разработано аппаратно-программное обеспечение автоматизированной учебной лаборатории с дистанционным многопользовательским доступом.

Методология и методы исследований. При решении поставленных задач использовались методы статистической обработки данных, теории систем массового обслуживания, методы компьютерного имитационного и статистического моделирования, методы виртуальных измерительных технологий, а также методы экспериментальных исследований в телекоммуникационных сетях.

Положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментальные исследования и статистические закономерности динамики многопользовательского доступа системы дистанционного управления физическим экспериментом при работе в локальной и глобальной сетях при различных конфигурациях и режимах работы.

2. Имитационная модель системы дистанционного управления физическим экспериментом, воспроизводящая динамику процессов обслуживания потока входных запросов в совмещенных телекоммуникационных и измерительно-управляющих системах, основанная на экспериментальных данных и установленных статистических закономерностях.

3. Методика оценки конфигурации системы дистанционного управления физическим экспериментом и рекомендации, выработанные на его основе, которые позволяют обеспечить заданное среднее время обслуживания.

4. Разработанное с учетом выработанных рекомендаций аппаратно-программное обеспечение автоматизированной учебной лаборатории с поддержкой круглосуточного дистанционного многопользовательского доступа через телекоммуникационные сети (Интернет, ЛВС).

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью использования статистических методов, методов измерения и анализа задержек в телекоммуникационных сетях, совпадением результатов имитационного моделирования и экспериментальных результатов, а также согласованностью с данными экспериментов других авторов.

Апробация результатов. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и представлялись на следующих конференциях: Международная научно-практическая конференция «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments», Москва (2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012 гг.); XIV Международная молодежная научная конференция «Туполевские чтения», Казань

(2006 г.); Всероссийская научная конференция «Информационные технологии в науке, образовании и производстве», Казань (2007 г.); Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий», Казань (2007, 2011 гг.); V Международная конференция «Методы и средства управления технологическими процессами», Саранск (2009 г.); VII Всероссийская научно-техническая конференция «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике», Чебоксары (2010, 2012, 2013 гг.); Республиканский научный семинар «Методы моделирования», Казань (2013 г.).

Реализация результатов работы. При участии автора работы были разработаны и созданы дистанционные автоматизированные учебные лаборатории с многопользовательским доступом по общетехническим курсам: «Электроника», «Теория электрических цепей», «Радиотехнические цепи и сигналы», которые были использованы: 1) при выполнении НИР Центра дистанционных автоматизированных учебных лабораторий КНИТУ-КАИ; 2) в учебном процессе филиала КНИТУ-КАИ г. Лениногорск; 3) в учебном процессе КНИТУ-КАИ.

Публикации. Основные научные и практические результаты диссертационной работы опубликованы в 27 работах, в том числе в 7 статьях (из них – 5 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК), 19 – в сборниках материалов международных и всероссийских конференций, 1 – в свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Она изложена на 165 страницах и содержит 70 рисунков и 5 таблиц. Список литературы включает 161 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи работы, сформулированы основные защищаемые положения. Показана научная новизна и практическая значимость работы. Описана структура диссертации и приведено ее краткое описание.

В первой главе рассмотрены современные тенденции в области распределенных измерительных и управляющих информационно-телекоммуникационных технологий. Показано, что одной из наиболее перспективных является технология виртуальных приборов, позволяющая совмещать телекоммуникационные и измерительные системы для создания системы дистанционного управления экспериментом (СДУ).

Установлено, что для эффективной работы распределенных систем требуется обеспечение дистанционного многопользовательского доступа, который предоставляется посредством телекоммуникационных технологий. На сегодняшний день наиболее популярными технологиями построения распределенных измерительных систем являются: CGI, ActiveX, Java, CORBA, Data Socket.

В первой части главы проведен аналитический обзор современного состояния СДУ, применяемые как в области научно-исследовательских работ, так и в инженерном образовании. В результате анализа существующих зарубежных и российских СДУ учебными и научными экспериментами были выявлены наиболее крупные проекты: *ACEL* – г. Ниш, Сербия; *ReLOAD* - г. Лидс, Великобритания; *VIRTLAB* - г. Афины, Греция; *AI-Quds* - г. Абу Дей, Палестина; *V-Lab* - г. Уэст-Лафайетт, США; *TELE-LABORATORY* - г. Кастельон, Испания; *АЛП УД* - г. Москва, Россия; *ИНДУС* - г. Москва, Россия; *УПуОС* - г. Красноярск, Россия. Рассмотрены особенности аппаратной и программной реализации, функциональные возможности дистанционных лабораторий. Широкое распространение в области автоматизации учебного и научного эксперимента получили многопользовательские СДУ. Рассмотрены достоинства и недостатки таких систем, а также проблемы их эксплуатации и внедрения.

Рассмотренные методы исследования телекоммуникационных систем показали, что при анализе временной динамики системы следует учитывать характер реального телекоммуникационного потока. При этом анализ литературных источников выявил отсутствие систематических данных по экспериментальным исследованиям характеристик СДУ в многопользовательском режиме.

Анализ существующих аналитических моделей СДУ и сравнение их с экспериментальными зависимостями показал, что процессы в таких системах не удается адекватно описать посредством классической теории массового обслуживания. Для преодоления этих ограничений в работе предлагается провести экспериментальное исследование временной динамики СДУ и разработать имитационную модель, позволяющую адекватно описывать статистическую динамику таких систем.

В заключительной части первой главы сформулирована цель и определены основные задачи исследований.

Во второй главе рассмотрена структура и организация работы СДУ, предложена и обоснована с позиции теории массового обслуживания имитационная модель многопользовательской СДУ.

На рисунке 1 представлена «клиент – серверная» структура СДУ. Она представляет собой трехуровневую архитектуру: 1) удаленные пользователи; 2) сервер; 3) дистанционные лаборатории, включающие в себя измерительный сервер и лабораторные стенды.



Рисунок 1 – «Клиент - серверная» структура СДУ

Качество управления через телекоммуникационные сети и возможность его осуществления в реальном масштабе времени определяются, главным образом, временными задержками, возникающими в системе. Временные задержки имеют случайный характер и существенно зависят от параметров используемой сети: пропускной способности телекоммуникационной сети, способов обработки запроса в очереди, процессов локального управления физическим экспериментом и т.д.

На рисунке 2 представлена временная диаграмма обработки запроса на измерение в СДУ.

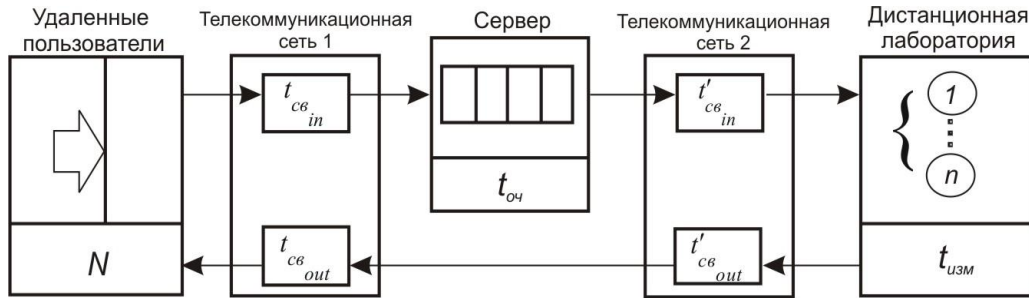


Рисунок 2 – Упрощенная временная диаграмма СДУ

При выполнении эксперимента с использованием СДУ возникают следующие задержки (рисунок 2):

1. задержка прохождения запроса через телекоммуникационные сети: $t_{св} = t_{св in} + t_{св out} + t'_{св in} + t'_{св out}$, где $t_{св in}$, $t_{св out}$ – задержки при передаче данных на участке «сервер-пользователь»; $t'_{св in}$, $t'_{св out}$ – задержки при передаче данных на участке «сервер-ДЛ»;

2. задержки обработки запроса в очереди – $t_{оч}$;

3. задержки измерения – $t_{изм}$.

Таким образом, время обслуживания T в общем виде может быть определено следующим образом:

$$T = t_{св} + t_{оч} + t_{изм}, \quad (1)$$

где $t_{св} = t_{св in} + t_{св out} + t'_{св in} + t'_{св out}$.

Для описания данного класса систем было предложено использовать имитационное моделирование. На основании анализа структуры СДУ и временных задержек, возникающих при обслуживании запросов, разработана обобщенная схема имитационной модели многопользовательской СДУ (рисунок 3) [6], на которой используются следующие сокращения: ГВЗ – генератор входных запросов, УП – удаленные пользователи, ПВЗ – поток входных запросов, ПОЗ – поток обслуженных запросов, БВХ – блок выходных характеристик, ЛВС – локальная вычислительная сеть.

Данная модель позволяет оценивать статистические параметры динамики СДУ: плотность вероятности времени обслуживания $p(T)$, среднее время обслуживания $\bar{T}$, коэффициент использования системы ρ и т.д.

Алгоритм, реализующий имитационную модель многопользовательской СДУ, был исполнен в программной среде *LabVIEW 8.5*.

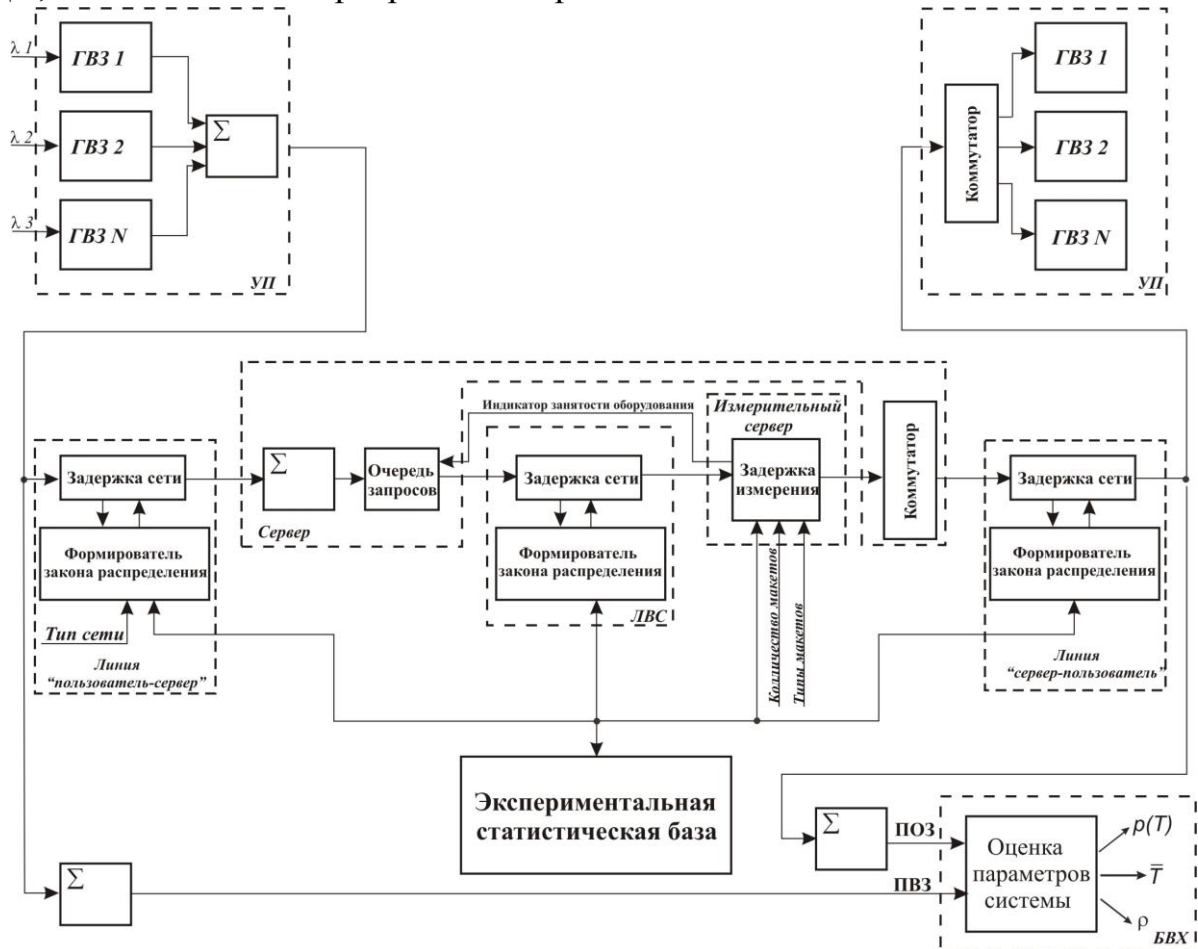


Рисунок 3 – Обобщенная схема имитационной модели многопользовательской СДУ

Анализ разработанной модели СДУ показывает, что для имитации динамики задержки обслуживания, корректно описывающей реальную систему, требуются следующие экспериментальные данные: законы распределений задержек, возникающих в канале обслуживания запросов в локальных и глобальных сетях передачи данных различных типов и производительности.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию динамики временных задержек обслуживания многопользовательской СДУ.

Для реализации экспериментальных исследований предложена схема эксперимента и на ее основе разработана методика исследования [1,5].

В ходе экспериментальных исследований для каждого сообщения фиксировались следующие моменты времени: t_1 – отправка запроса; t_2 – получение запроса главным сервером; t_3 – запись запроса в очередь; t_4 – извлечение запроса из очереди; t_5 – отправка запроса от главного сервера на свободный измерительный сервер дистанционной лаборатории; t_6 – получение запроса измерительным сервером дистанционной лаборатории; t_7 – отправка результатов измерений главному серверу; t_8 – получение результатов измерений главным

сервером; t_9 – отправка результатов измерений УП; t_{10} – получение результатов измерений УП (рисунок 4).

Анализ временной динамики СДУ показал, что наиболее важным показателем, характеризующий качество обслуживания системы, является время обслуживания T , который существенно зависит от параметров СДУ: типа сети «сервер-пользователь», количества пользователей N , числа каналов обслуживания m и интенсивности потока запросов λ . Поэтому в ходе эксперимента исследовалась влияние этих факторов на эксплуатационные характеристики СДУ. Исследование проводилось для трех типов сетей: 1) ЛВС (с максимальной скоростью передачи данных 10 Мбит/с, сеть первого типа); 2) сеть Интернет с использованием модемного подключения (ADSL 500 кбит/с, местонахождение удаленного пользователя – г. Казань, сеть второго типа); 3) сеть Интернет с использованием модемного подключения (ADSL 100 кбит/с, местонахождение удаленного пользователя – г. Лениногорск, сеть третьего типа).

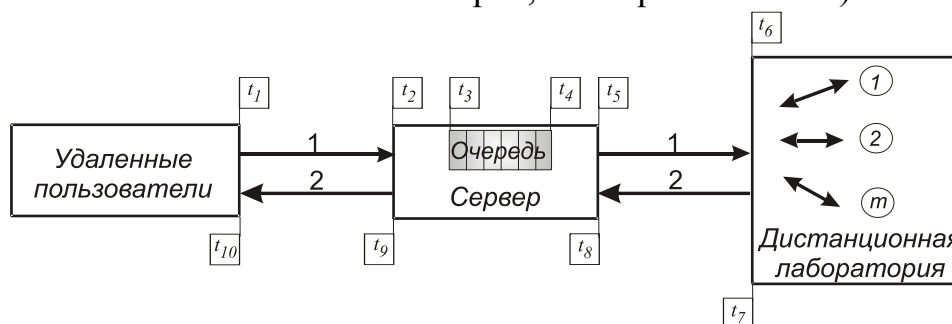


Рисунок 4 – Временная диаграмма прохождения запроса от удаленного пользователя и обслуживания запроса в СДУ (1 – поток исходящих запросов, 2 – поток обслуженных запросов)

Величина задержки T определялась из соотношения (рисунок 4):

$$T = t_{10} - t_1. \quad (2)$$

В результате исследований были получены экспериментальные данные, представляющие собой результаты измерений времени задержки обслуживания T . Так как измеряемая величина имеет случайный характер, для ее анализа использовались методы теории вероятностей, в частности оценки плотности вероятности $p(T)$, представленных в виде гистограмм. При этом были получены следующие результаты:

- 1) при больших интенсивностях входных запросов λ распределение плотности вероятности $p(T)$ медленно затухает при $T \rightarrow \infty$, возникают т.н. «тяжелые хвосты», что обусловлено самоподобными процессами, связанными с особенностями передачи в телекоммуникационных сетях и обслуживания запросов в серверной части СДУ;
- 2) увеличение количества пользователей N , при постоянной общей интенсивности входных запросов λ_{Σ} , приводит лишь к небольшому увеличению среднего времени обслуживания $\bar{T}$;
- 3) введение дополнительных каналов обслуживания m приводит к значительному снижению среднего времени обслуживания;

4) установлено, что увеличение задержки и ухудшение качества обслуживания исследуемой системы связано с появлением распределений Парето, причем эта зависимость наблюдается для любого типа сети.

Для исследования в распределениях медленно затухающих зависимостей применяются следующие методы анализа: метод Херста, метод Хилла, усовершенствованный QQ-график, метод на основе анализа функции распределения. Анализ этих методов [3] показал, что наиболее эффективным, в нашем случае, является метод на основе анализа функции распределения. Согласно этому методу вычисляется индекс «тяжести хвоста» – α :

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{d \ln(1 - F_n(x))}{d \ln x} = -\alpha, \quad (3)$$

где $F_n(x)$ – функция распределения случайной величины x . Если $0 < \alpha < 2$, то распределение имеет «тяжелый хвост».

На рисунке 5 приведены оценки параметра α от вероятности P , соответствующей превышению времени обслуживания $4c$ (стандартное значение времени ожидания запросов для проверки соединения в сетях).

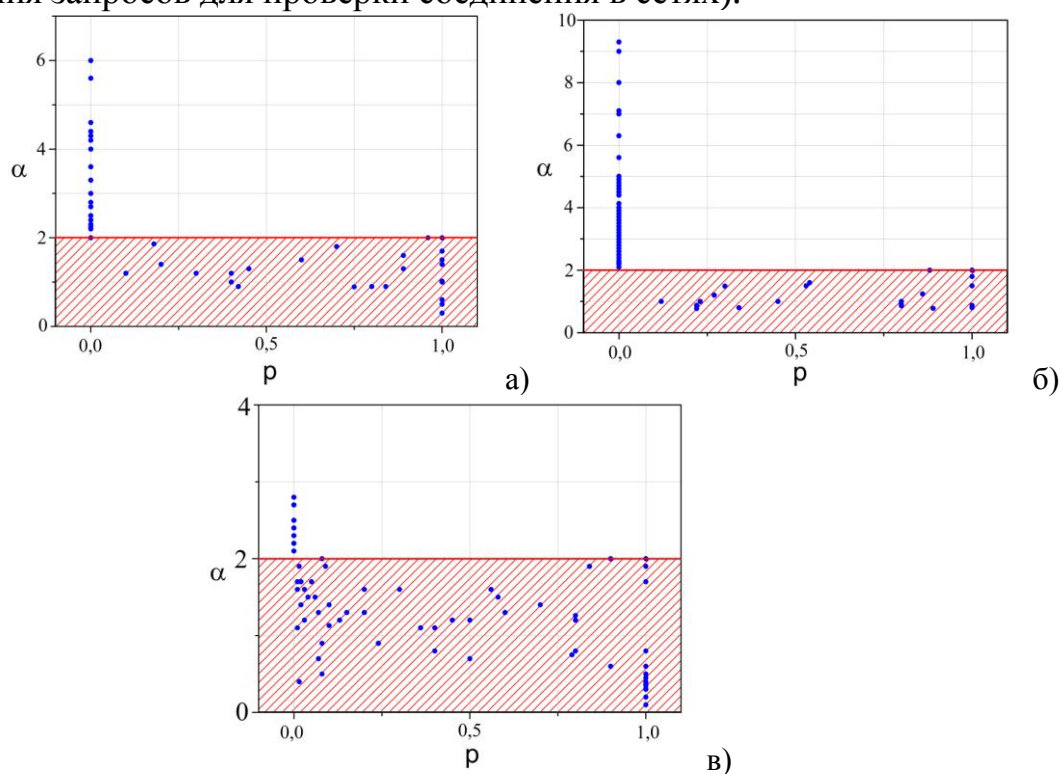


Рисунок 5 – Оценки параметра α от вероятности P : а) для сети первого типа; б) для сети второго типа; в) для сети третьего типа

Анализ данных оценок показывает, что для всех типов сетей: 1) при $P \rightarrow 0$ – индекс «тяжести хвоста» $\alpha > 2$, что соответствует слабому самоподобию трафика и отсутствию «тяжелого хвоста»; 2) при $P \gg 0$ – $\alpha < 2$, что соответствует ярко выраженному самоподобному характеру трафика и появлению «тяжелых хвостов».

Анализ вероятностных характеристик показал, что время обслуживания запросов имеет сильную зависимость от интенсивности входных запросов удаленных пользователей. Для анализа этой зависимости и исследование влияния

на нее других факторов использовались нагрузочные характеристики (рисунок 6).

Установлено, что зависимость нагрузочных характеристик от количества пользователей слабая, поэтому принято решение в дальнейшем ей пренебречь.

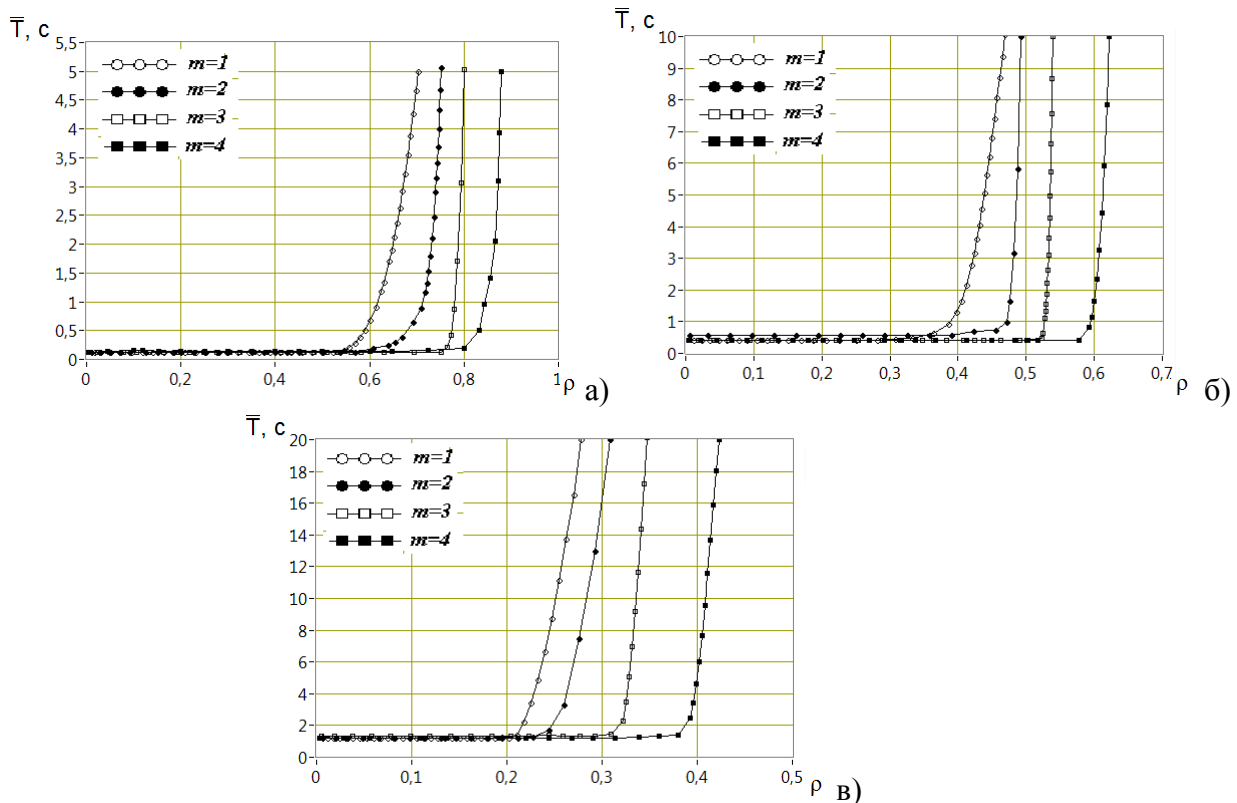


Рисунок 6 – Нагрузочные характеристики СДУ для $N = 1$, $m = \overline{1,4}$: а) для сети первого типа; б) для сети второго типа; в) для сети третьего типа

Рисунок 6 показывает, что нагрузочные характеристики сильно зависят от количества каналов обслуживания m . Увеличение количества каналов приводит к повышению эффективности работы системы: так для сети первого типа при увеличении числа каналов от 1 до 4 коэффициент использования системы ρ увеличивается на 23%, для сети второго типа – на 44%, для сети третьего типа – на 50%.

Для определения влияния факторов на среднее время обслуживания $\bar{T}$ была использована методика на основе диаграмм Парето. Результаты для всех типов сетей показали, что наиболее сильное влияние на интенсивность запросов, при которой начинается переполнение очереди $\lambda_{кр}$, оказывает фактор – число каналов обслуживания m . Влияние этого фактора больше влияния остальных приблизительно в 4 раза. В число незначительно влияющих факторов входит количество удаленных пользователей, что подтверждает ранее полученные результаты.

Четвертая глава посвящена имитационному моделированию параметров СДУ, разработки метода оценки конфигурации СДУ, программно-аппаратной реализации многопользовательской СДУ.

На основании предложенной имитационной модели был разработан метод, позволяющий оценивать минимальную конфигурацию системы для предоставления обслуживания требуемому максимальному количеству пользователей при сохранении необходимых временных и вероятностных характеристик эффективности функционирования.

Сравнение модельных и экспериментальных результатов показало, что разработанная имитационная модель полностью отражает характер нагрузочных характеристик СДУ и позволяет описывать их с достаточной точностью для всех типов сетей и конфигураций СДУ.

По результатам имитационного моделирования были получены оценки (рисунок 7) зависимостей минимального количества каналов обслуживания, требующихся для обслуживания входных запросов, от нормированной интенсивности λ/μ (нормировка проводилась к интенсивности обслуживания $\mu = 1/t_{\text{изм}}$).

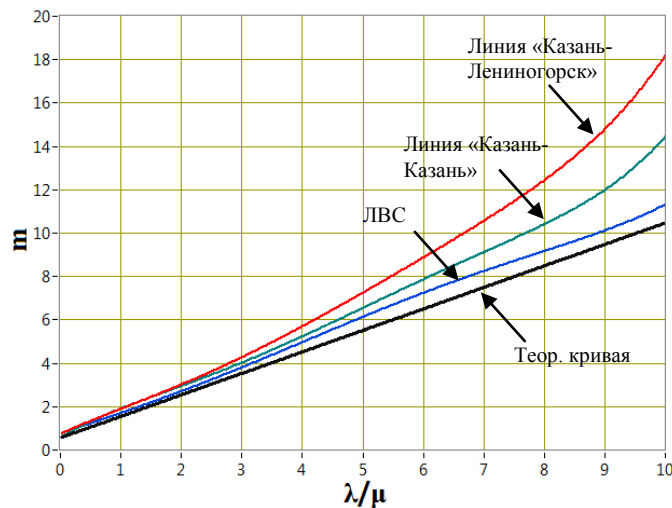


Рисунок 7 – Зависимость требуемого количества каналов обслуживания при $\bar{T}_{\text{max}} = 4$ с от нормированной интенсивности входных запросов для трех типов сетей

Было установлено, что для сетей с пропускной способностью не менее 100кб/с зависимости $m = f(\lambda/\mu)$ на начальном участке $\lambda/\mu < 5$ носят линейный характер

$$m = k \cdot (\lambda/\mu). \quad (4)$$

Увеличение нормированной интенсивности запросов ведет к изменению характера зависимости, которая становится нелинейной. Следует отметить, что данный эффект слабо выражен для локальной сети, тогда как для СДУ, использующих сеть интернет этот эффект приводит к значительному возрастанию требуемого количества макетов при больших интенсивностях.

Отклонение модельных оценок быстродействия системы от теоретической кривой при малых интенсивностях составляет для ЛВС 4%, для сети Интернет 10%. При больших интенсивностях это отклонение для ЛВС увеличивается до 20%, для сети Интернет до 60%.

По результатам диссертационного исследования на кафедре Радиоэлектроники и информационно-измерительной техники Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ созданы дистанционные лабораторные практикумы по курсам «Электроника», «Теория электрических цепей» и «Радиотехнические цепи и сигналы» [2] включающие в себя 12 лабораторных работ. Дистанционный лабораторный практикум был реализован на базе аппаратной платформы *NI ELVIS II* компании *National Instruments*. Фотография лабораторного стенда и схема коммутации дистанционного лабораторного практикума представлены на рисунке 8.

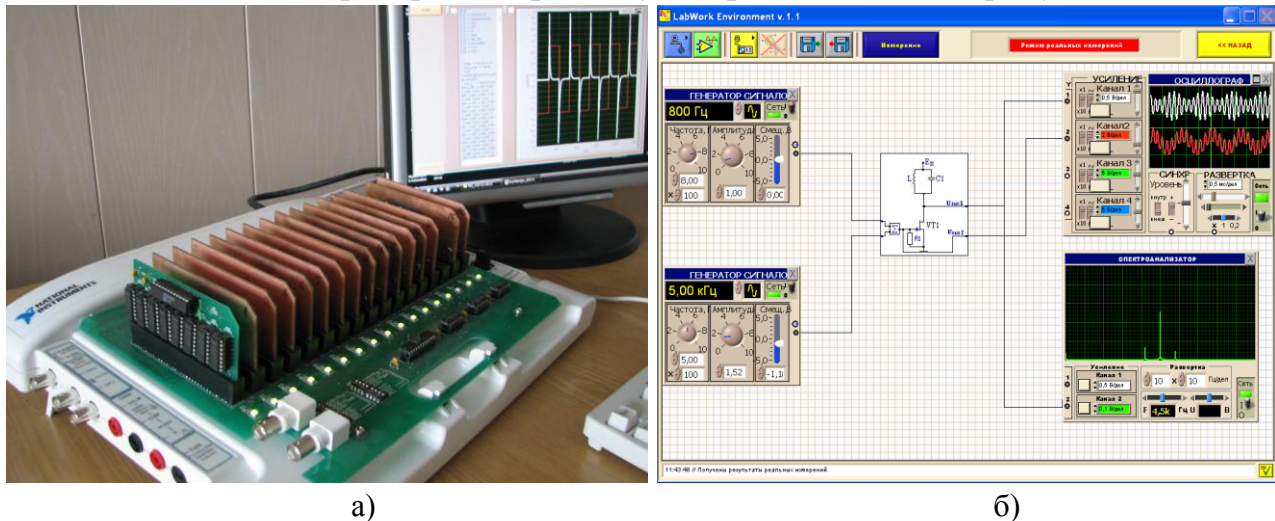


Рисунок 8 – Лабораторная станция, реализующая 8 лабораторных работ, на базе аппаратной платформы *NI ELVIS II* (а) и пользовательский интерфейс (б) дистанционного лабораторного практикума

Гибкость и функциональность аппаратной части созданной измерительной системы в сочетании с программным обеспечением позволяют при необходимости достаточно легко модернизировать лабораторные работы и создавать новые.

В заключении представлены основные выводы по работе.

В приложениях представлены программная реализация имитационной модели многопользовательской СДУ и программное обеспечение, которое использовалось при выполнении экспериментальных исследований.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана методика экспериментального исследования временной динамики многопользовательской совмещенной телекоммуникационной и измерительно-управляющей системы, которая позволяет накопить статистическую экспериментальную базу данных, описывающую такую систему, и исследовать статистические характеристики задержек обслуживания для различных типов сетей, потоков входных запросов и конфигураций системы.

2. Проведено экспериментальное исследование задержек обслуживания системы дистанционного управления в многопользовательском режиме. Исследована зависимость задержек обслуживания от интенсивности входных запросов, количества пользователей и числа каналов обслуживания для различных

типов сетей. Проведенные экспериментальные исследования показали, что наиболее сильное влияние на задержки обслуживания оказывают интенсивность входных запросов, число каналов обслуживания, тип сети «сервер-пользователь». Установлено, что в любом типе сети наблюдается появление медленно затухающих распределений Парето, которые приводят к увеличению задержки и ухудшению качества обслуживания исследуемой системы.

3. Предложена и обоснована имитационная статистическая модель многопользовательской системы дистанционного управления. Разработан соответствующий алгоритм имитационного моделирования на основе экспериментальной статистической базы вероятностно-временных характеристик сетей различной производительности.

4. По результатам имитационного моделирования системы дистанционного управления было показано, что зависимость числа каналов обслуживания m , требуемого для получения среднего времени обслуживания, не превышающего заданной величины, от нормированной интенсивности запросов λ/μ на начальном участке ($\lambda/\mu < 5$) носят линейный характер $m = k \cdot (\lambda/\mu)$. Установлено, что увеличение нормированной интенсивности запросов ведет к изменению характера зависимости $m = f(\lambda/\mu)$, которая становится нелинейной. Данный эффект слабо выражен для локальной сети, тогда как для системы дистанционного управления, использующих сеть интернет этот эффект приводит к значительному возрастанию требуемого количества каналов обслуживания при больших интенсивностях. Отклонение модельных оценок быстродействия системы от теоретической кривой при малых интенсивностях составляет для ЛВС 4%, для сети Интернет 10%. При больших интенсивностях это отклонение для ЛВС увеличивается до 20%, для сети Интернет до 60%.

5. На основе положений и выводов диссертационной работы разработано и реализовано аппаратное, серверное и клиентское программное обеспечение дистанционного лабораторного практикума по курсам «Электроника», «Теория электрических цепей» и «Радиотехнические цепи и сигналы» с возможностью дистанционного управления реальными физическими объектами в многопользовательском режиме через телекоммуникационные сети из любой географической точки. Приведен опыт внедрения разработанной системы в КНИТУ-КАИ и его филиалах.

Перспективы дальнейшей разработки темы.

Результаты диссертационной работы могут быть положены в основу разработки широкой сети дистанционных учебных лабораторий с многопользовательским доступом. На основе рекомендаций, разработанных в данной работе, могут быть разработаны методы повышения эффективности совмещенных телекоммуникационных и измерительно-управляющих систем.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Всего опубликовано по теме диссертации 27 работ, основные из них:

В рецензируемых журналах из списка ВАК:

1. *Салахова А.Ш.* Экспериментальное исследование статистической динамики системы дистанционного управления экспериментом в многопользовательском режиме / А.Ш. Салахова, А.Ю. Кирсанов // *Нелинейный мир.* – 2009. – Т.7. – №5. – С. 87-91.

2. *Салахова А.Ш.* Дистанционные автоматизированные учебные лаборатории и технологии дистанционного учебного эксперимента в техническом ВУЗЕ / Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова, А.Ю. Кирсанов // *Открытое образование.* 2009. – №5. – С. 101-116.

3. *Салахова А.Ш.* Фрактальные свойства динамики обслуживания в телекоммуникационной системе дистанционного управления экспериментом / А.Ш. Салахова, Д.В. Шахтурин // *Нелинейный мир.* 2010. – Т.8. – №6. – С. 376-383.

4. *Салахова А.Ш.* Инновационный подход к проведению производственной практики студентов инженерных специальностей на основе технологии виртуальных приборов и мультимедиа / Ю.К.Евдокимов, Р.Г.Насырова, Д.В.Погодин, А.Ю.Кирсанов, А.Ш.Салахова, Р.И.Насыров // *Открытое образование.* – 2010. – №6(83). – С.35-39.

5. *Салахова А.Ш.* Экспериментальное исследование и имитационная модель динамики системы дистанционного управления экспериментом в многопользовательском режиме / Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова // *Нелинейный мир.* – 2011. – Т.9. – №8. – С. 507-515.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и патент РФ на полезную модель:

6. Св-во гос. рег. прогр. для ЭВМ №2011617355 (21.09.2011). Имитационная модель системы дистанционного управления экспериментом. / А.Ш. Салахова, Ю.К. Евдокимов. – №2011617355, Заявл. 21.07.2011.

В других изданиях

7. *Салахова А.Ш.* Автоматизированный дистанционный лабораторный практикум по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы» / А.Ю. Кирсанов, А.Ш. Салахова // *Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: Сборник докладов международной научно-практической конференции.* Москва, Российский университет дружбы народов. – 2007. – С. 523.

8. *Салахова А.Ш.* Аппаратное и программное обеспечение дистанционного лабораторного практикума по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы» / А.Ю. Кирсанов, А.Ш. Салахова // *Проблемы техники и технологий: Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции.* Казань, Россия, 25-27 ноября, 2008. – С. 474.

9. *Салахова А.Ш.* Система дистанционных автоматизированных учебных

лабораторий по общетехническим инженерным дисциплинам с многопользовательским доступом через сеть / Ю.К. Евдокимов, А.Ю. Кирсанов, А.Ш. Салахова, А.В. Трибунских // Проблемы техники и технологий: Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции. Казань, Россия, 25-27 ноября, 2008. – С. 472.

10. Салахова А.Ш. Экспериментальное исследование динамики системы дистанционного управления экспериментом в многопользовательском режиме // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: Сборник трудов 8-й международной научно-практической конференции (Москва, 3-4 декабря 2009 г.). – М.: РУДН, 2009. – С. 232-235.

11. Салахова А.Ш. Методика экспериментального исследования динамики системы дистанционного управления в многопользовательском режиме в локальных и глобальных сетях // Методы и средства управления технологическими процессами: V Международная конференция. – 2009 выпуск 1 (5) – 2009. http://fetmag.mrsu.ru/2009-1/pdf/dynamics_of_remote_control.pdf. – 0420900067/0076

12. Салахова А.Ш. Дистанционная лаборатория с многопользовательским доступом по общетехническим дисциплинам // Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова, А.Ю. Кирсанов // Методы и средства управления технологическими процессами: V Международная конференция. – 2009 выпуск 1 (6) – 2009. http://fetmag.mrsu.ru/2009-1/pdf/Remote_Lab.pdf. – 0420900067/0060

13. Салахова А.Ш. Дистанционные и виртуальные информационные технологии в современном школьном образовании // Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова, А.Ю. Кирсанов // Школьные технологии (Научно-практический журнал). 2010. – №5. – С.71-79.

14. Салахова А.Ш. Имитационное моделирование системы дистанционного управления экспериментом / Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: Сборник трудов 9-й международной научно-практической конференции (Москва, 3-4 декабря 2010 г.). – М.: РУДН, 2010. – С. 379-381.

15. Салахова А.Ш. Экспериментальное исследование и имитационная модель динамики телекоммуникационной системы дистанционного управления экспериментом // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары 2010г. – С. 195-196.

16. Салахова А.Ш. Создание дистанционных автоматизированных учебных лабораторий по общетехническим учебным дисциплинам // Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова, А.Ю. Кирсанов // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары 2010г. – С. 197-198.

17. *Салахова А.Ш.* Инновационные учреждения - «Школьный технопарк» в системе модернизации школьного образования /Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова // Школьные технологии (Научно-практический журнал). 2011. – №1. – С. 51-58.
18. *Салахова А.Ш.* Имитационная модель системы дистанционного управления экспериментом / Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова, А.В. Трибунских // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: Материалы 9 всероссийской научно-практической конференции (Чебоксары, 4-6 июня 2011г.). – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. – С. 115-118.
19. *Салахова А.Ш.* Экспериментальное исследование динамики телекоммуникационной системы дистанционного управления экспериментом / Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: Материалы 9 всероссийской научно-практической конференции (Чебоксары, 4-6 июня 2011 г.). – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. – С. 7-9.
20. *Салахова А.Ш.* Фрактальные свойства сетевого трафика в телекоммуникационной системе дистанционного управления учебным экспериментом / Ю.К. Евдокимов, А.Ш. Салахова // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций: Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции, Казань 21-24 ноября, 2011. – С. 447-449
21. *Салахова А.Ш.* Автоматизированный дистанционный лабораторный практикум по курсу «Электроника» на платформе NI ELVIS II // А.Ю. Кирсанов, А.Ш. Салахова, Д.В. Шахтурин // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Москва, Российский университет дружбы народов, 2011. – С. 337-339.
22. *Салахова А.Ш.* Экспериментальное исследование и моделирование статистической динамики многопользовательского доступа системы дистанционного управления экспериментом // Ю.К. Евдокимов // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: сборник трудов VIII Всероссийской научно-технической конференции. Чебоксары, 7-9 июня 2012. Чебоксары: Изд-во Чуваш.ун-та, 2012. – С.156-158.
23. *Салахова А.Ш.* Дистанционные учебные лаборатории на аппаратной платформе // Ю.К. Евдокимов, А.Ю. Кирсанов, М.В. Петровская // Инженерные и научные приложения на базе технологии National Instruments: Материалы Международной научно-практической конференции. Москва, ДМК-Пресс, 2012. – С.234-236.
24. *Салахова А.Ш.* Имитационная модель системы дистанционного управления экспериментом // Е.С. Денисов // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: Материалы X Всероссийской научно-технической конференции. Чебоксары, 7-9 июня 2013. Чебоксары: Изд-во Чуваш.ун-та, 2013. – С.351-353.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 1,0. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,93
Тираж 100. Заказ Б116.

Типография КНИТУ-КАИ. 420111, Казань, К.Маркса, 10