

На правах рукописи



**КОМАРОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**СИНТЕЗ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ  
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩИХ  
СИСТЕМ**

**Специальность 05.13.05  
“Элементы и устройства вычислительной техники  
и систем управления”**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Красноярск 2009**

Работа выполнена на кафедре «Приборостроение и телекоммуникации»  
ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Сарафанов Альберт Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Шелупанов Александр Александрович

доктор технических наук, профессор  
Ченцов Сергей Васильевич

Ведущая организация: Сибирский государственный  
аэрокосмический университет

Защита диссертации состоится “26” февраля 2009 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 212.099.11 при Сибирском федеральном университете по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, ауд. УЛК 115.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета по адресу: Киренского, 26, Красноярск, ауд. Г 2-74.

Автореферат разослан «23» января 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета:  
к.т.н., доцент



/ Покидышева Л. И. /

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Усложнение технических устройств, происходящее от поколения к поколению, приводит к необходимости в процессе их разработки, производства и эксплуатации контролировать и измерять сотни, тысячи, иногда десятки тысяч параметров и характеристик. Современные измерительные системы в различных областях науки практически немыслимы без разнообразных технических средств, позволяющих автоматизировать сбор, накопление и обработку информации. Все выше перечисленные факторы обуславливают необходимость разработки и внедрения систем автоматизации в промышленность и научно-исследовательскую деятельность. Современные системы автоматизации, решающие задачи контроля с выраженными измерительными и управляющими функциями, называются измерительно-управляющими системами (ИУС).

Необходимость создания гибких, универсальных, точных и быстродействующих ИУС обусловила применение *компьютерных измерительных технологий* (КИТ), использующих ЭВМ как элемент измерительно-управляющей системы на всех этапах сбора, обработки, отображения измерительной информации и формирования управляющих сигналов. В процессе решения производственных и научно-исследовательских задач часто возникает необходимость *дистанционного* контроля и управления объектом на основе *распределенных измерительно-управляющих систем* (РИУС). Это необходимо и актуально в тех случаях, когда существует проблема целесообразности и возможности присутствия человека в зоне исследования и управления. В научно-образовательной деятельности организация удаленного доступа позволяет обеспечить возможность дистанционного выполнения научных и лабораторных экспериментальных исследований на реальном оборудовании.

Обеспечение коллективного доступа к уникальному оборудованию с возможностью изменения и задания индивидуальных конфигурации, параметров и траектории исследований нескольким пользователям осуществляется на основе распределенных измерительно-управляющих систем коллективного доступа или *многопользовательских РИУС*. Необходимость их разработки и создания обусловлена возрастающей стоимостью, сложностью и уникальностью используемого в качестве объекта исследования оборудования. Однако в процессе внедрения и эксплуатации многопользовательских РИУС возникают следующие проблемы, решение которых становится все более актуальным: ни один из разработчиков не указывает нагрузочную способность разработанной многопользовательской РИУС (максимально число одновременно работающих пользователей), динамику функционирования, не приводит эксплуатационные затраты функционирования РИУС (объем передаваемого трафика); не указывает требования к пропускной способности каналов связи. Поэтому практически невозможно быстро, качественно и

обоснованно выбрать и обеспечить необходимый режим эксплуатации РИУС и, как следствие, спланировать и организовать научный эксперимент, производственный или учебный процесс, что может привести к возможным сбоям в работе. Малая распространенность многопользовательских РИУС связана с отсутствием общеизвестного метода их проектирования, поэтому заранее невозможно оценить характеристики создаваемой системы, следовательно, невозможно оценить целесообразность и эффективность разрабатываемой РИУС. Это является следствием того, что в процессе проектирования становится актуальным решение следующих задач: синтез многопользовательской распределенной измерительно-управляющей системы с заданными качественными показателями; определение требований к функциональным узлам на этапе проектирования; определение методов повышения качественных показателей.

Необходимость разработки и внедрения многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем определяет *актуальность* данной темы.

**Целью работы** является решение научно-технической задачи синтеза многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем с заданными качественными показателями функционирования.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих основных задач:

- исследование взаимосвязей показателей функционирования многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем, их параметров и режима эксплуатации;
- разработка метода расчета качественных показателей функционирования РИУС;
- формулировка требований к функциональным узлам РИУС и условиям эксплуатации с целью обеспечения заданных показателей функционирования;
- разработка методики проектирования многопользовательских РИУС с заданными качественными показателями функционирования;
- экспериментальная проверка и внедрение разработанных модели, метода, методики и программного обеспечения в практику промышленного проектирования и учебный процесс.

### **Методы исследования**

При решении поставленных задач использовались методы теории массового обслуживания, теории вероятностей и математической статистики, методы компьютерного моделирования, современные достижения компьютерных измерительных технологий, статистические методы обработки результатов измерений, а также методы экспериментальных исследований.

### **Научная новизна**

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработана математическая модель многопользовательской РИУС, учитывающая в отличие от ранее известных влияние длительности операций, выполняемых основными функциональными узлами (узлами преобразования и обработки измерительной информации), и режима эксплуатации на показатели функционирования РИУС;
- определены аналитические выражения, описывающие взаимосвязь нагрузочной способности, динамики функционирования многопользовательских РИУС, длительности операций, выполняемых её функциональными узлами, и условий её эксплуатации;
- разработана методика проектирования многопользовательских РИУС на основе математической модели отличающаяся от известных тем, что позволяет определить требования к длительности операций, выполняемых основными функциональными узлами проектируемой РИУС, с целью обеспечения работы заданного количества пользователей и/или динамики функционирования.

### **Основные научные результаты, выносимые на защиту**

1. Модель режима функционирования многопользовательских РИУС, учитывающая длительности операций, выполняемых основными функциональными узлами (преобразования и обработки измерительной информации).
2. Метод расчета показателей функционирования РИУС на основе разработанной модели.
3. Методика проектирования распределенных измерительно-управляющих систем.
4. Унифицированная схема построения многопользовательских РИУС на основе технологий *National Instruments*, обобщающая и систематизирующая основные подходы к выбору аппаратного, разработке измерительного и сетевого программного обеспечения, и комплекс программных средств, обеспечивающих автоматизацию процедур синтеза РИУС.

### **Практическая ценность работы**

Результаты расчета качественных показателей на основе модели позволяют обосновано выбрать и обеспечить необходимый режим эксплуатации РИУС, спланировать и организовать научный эксперимент, производственный или учебный процесс.

Применение математического моделирования на этапе проектирования позволяет определить требования к длительности операций, выполняемых основными функциональными узлами РИУС, и оценить динамику ее функционирования в соответствии с заданной нагрузочной способностью.

Разработанная методика проектирования позволяет оценить эффективность и целесообразность с точки зрения материальных и временных

затрат, соответствующих заданным показателям функционирования разрабатываемой РИУС на этапе её проектирования.

### **Реализация результатов работы**

Разработанные в диссертации модель, метод, методика и программное обеспечение использовались при выполнении научно-исследовательских работ, проводимых на кафедре «Приборостроение и телекоммуникации» Института инженерной физики и радиоэлектроники ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»; при выполнении Государственного контракта № П 273 «Развитие системы центров коллективного пользования с удаленным доступом» в рамках Федеральной целевой программы развития образования на 2006–2010 годы, также при выполнении программы развития ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» на 2007–2010 г. в рамках приоритетного направления «Информационно-коммуникационные технологии».

Основные результаты внедрены в практику промышленного проектирования РИУС, реализующих возможность выполнения научных и/или экспериментальных исследований в режиме многопользовательского удаленного доступа по сетям *Internet/Intranet* Регионального инновационного центра «Центр технологий *National Instruments*», в учебный процесс Сибирского федерального университета и десяти учреждений НПО и СПО, расположенных в 3 субъектах Сибирского федерального округа (Томская область, Новосибирская область, Красноярский край).

### **Апробация работы**

Основные положения и выводы диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (г. Красноярск, 2005–2008 г.), на Всероссийском конкурсе инновационных проектов аспирантов и студентов по приоритетному направлению развития науки и техники «Информационно-телекоммуникационные системы» (г. Москва, 2006 г.), на Всероссийском форуме «Образовательная среда – 2007» (г. Москва, 2007 г.), на Международном конгрессе-выставке «Global Education – образование без границ» (г. Москва, 2007 г., 2008 г.). Концепция типовых решений при построении автоматизированных лабораторных практикумов с удаленным доступом обсуждена и одобрена на заседании УМО по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в г. Санкт-Петербурге на базе СПбГТУ «ЛЭТИ» (2005 г.).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 14 работ, получено 4 свидетельства на регистрацию программного обеспечения в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ).

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, общих выводов, списка литературы (102 наименования) и приложений. Общий объем работы 175 страниц (без списка литературы).

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, положения, выносимые на защиту, показана научная новизна и значимость работы.

**В первой главе** рассмотрены современные тенденции развития измерительно-управляющих систем, заключающиеся в широком применении компьютерных измерительных технологий, позволяющих создавать измерительно-управляющие системы, отвечающие современным требованиям к функциональности, точности, гибкости.

В первой части главы проведен аналитический обзор современных промышленных и научно-исследовательских измерительно-управляющих систем, выявивший широкое применение компьютерных измерительных технологий. Рассмотрены особенности конструктивной, аппаратной, программной реализации и функциональные возможности современных средств измерений на базе ЭВМ, определен набор основных действий функционирования ЭВМ в ИУС. Проблема целесообразности и возможности присутствия человека в зоне исследования и управления объектом определила необходимость и актуальность применения распределенных измерительно-управляющих систем (РИУС) для обеспечения возможности дистанционного контроля и управления объектом. В области автоматизации научного и учебного экспериментов получили широкое распространение многопользовательские РИУС, которые применяются для обеспечения коллективного доступа к уникальному оборудованию с возможностью измерения и задания индивидуальных конфигурации, параметров и траектории исследований. Рассмотрены их достоинства и недостатки, проблемы внедрения и эксплуатации, обоснована перспективность и целесообразность их разработки и применения.

В заключительной части проведен анализ существующих многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем, выявивший отсутствие систематических сведений о качественных показателях их функционирования. На основе систематизации и обобщении структур и алгоритмов функционирования современных многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем определены обобщенная функциональная схема системы, основные операции, выполняемые функциональными узлами, базовый алгоритм функционирования многопользовательских РИУС.

В заключении сформулированы цель и задачи диссертационной работы.



Во второй главе рассматривается решение поставленных задач на основе математического моделирования. Предложена математическая модель многопользовательской распределенной измерительно-управляющей системы, учитывающая длительности операций, выполняемых основными функциональными узлами, базирующаяся на математическом аппарате теории массового обслуживания.

На рис. 1 представлена временная диаграмма обработки запроса на измерение, построенная на основе обобщенной функциональной схемы.

Величины временных отрезков на диаграмме  $t_5-t_6$  и  $t_1-t_2$  определяются временем прохождения пакета данных по каналу связи (*Internet, Intranet*). Они зависят от его пропускной способности и объема передаваемых данных. Обозначим  $t_{св} = (t_6 - t_5) + (t_2 - t_1)$ . В общем случае  $t_{св}$  является случайной величиной.

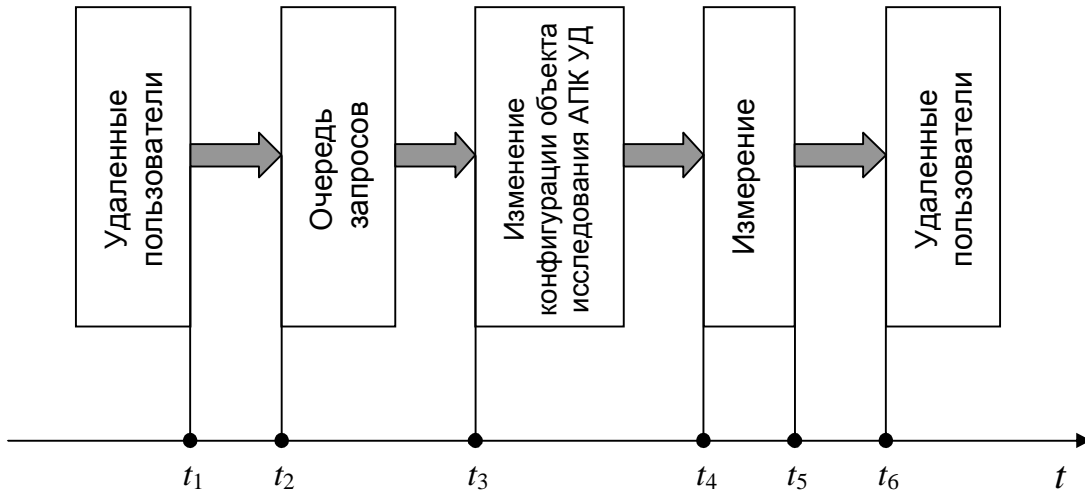


Рис. 1. Обобщенная временная диаграмма обработки запроса на измерение:  
 $t_1$  – отправка запроса на измерение ЭВМ-измерителю;  $t_2$  – получение запроса сервером РИУС, запись в очередь;  $t_3$  – извлечение запроса из очереди, изменение конфигурации объекта исследования РИУС;  $t_4$  – начало измерения;  $t_5$  – отправка результатов измерения пользователю;  $t_6$  – получение результатов измерения пользователем

Участок диаграммы  $t_2-t_3$  характеризуется временем нахождения запроса в очереди и зависит от того, сколько уже запросов находится в очереди на момент поступления нового. Обозначим  $t_{оч} = t_3 - t_2$ . Параметр  $t_{оч}$  является случайной величиной. Участок диаграммы  $t_3-t_4$  определяется временем реконфигурации устройства в соответствии с поступившим заданием (внесение параметрических и структурных изменений в объект исследования) и зависит от характеристик объекта исследования. Введем обозначение  $t_{рек} = t_4 - t_3$ . В общем случае  $t_{рек}$  является случайной величиной. Участок диаграммы  $t_4-t_5$  определяется временем, затраченным на измерение задаваемых параметров и/или характеристик. В зависимости от объекта исследования РИУС, типа, метода измерений данная величина может быть фиксированной или случайной. Введем обозначение  $t_{изм} = t_5 - t_4$ . В общем случае  $t_{изм}$  является случайной величиной.



Величина времени ожидания результатов измерения  $t_{ож}$ , определяющая динамику функционирования системы, определяется выражением

$$t_{ож} = t_{св} + t_{оч} + t_{рек} + t_{изм} = t_{св} + t_{оч} + t_{обсл}, \quad (1)$$

где  $t_{обсл} = t_{рек} + t_{изм}$ , а  $t_{св}$  на основе результатов исследований А. Ю. Кирсанова<sup>1</sup> может быть принята постоянной.

Обобщенная структура модели функционирования многопользовательской РИУС как системы массового обслуживания (СМО) приведена на рис. 2. Для выполнения эксперимента каждому пользователю необходимо выполнить в среднем  $X_0$  измерений за рассматриваемый период времени  $\Delta t$ .

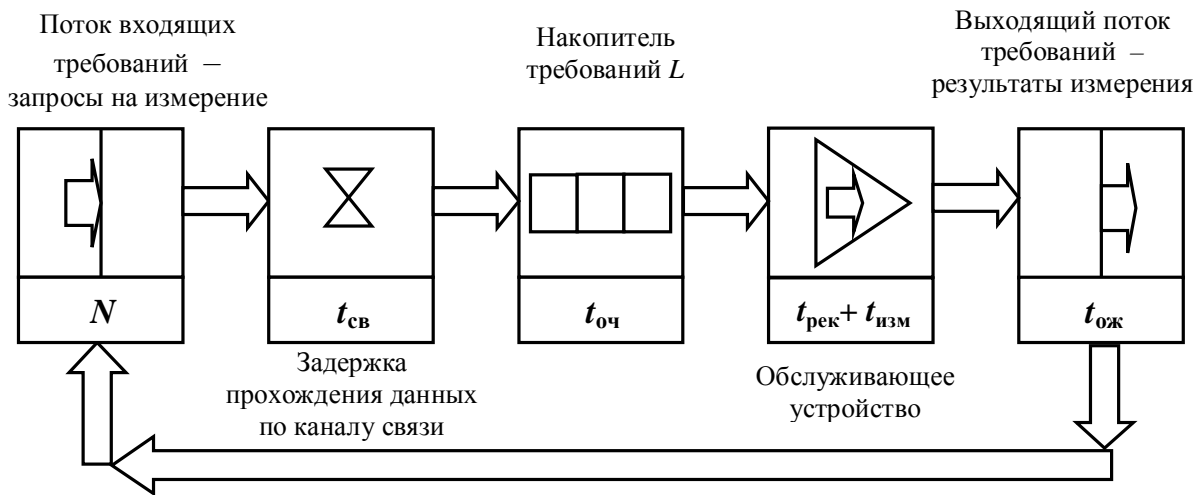


Рис. 2. Обобщенная структура модели распределенной многопользовательской измерительно-управляющей системы:  $t_{св}$  – время прохождения пакета данных по каналу связи;  $t_{оч}$  – время нахождения запроса в очереди;  $t_{рек}$  – время реконфигурации устройства;  $t_{изм}$  – время измерения задаваемых параметров и/или характеристик;  $t_{ож}$  – время ожидания результатов измерения

Обобщенная математическая модель многопользовательской РИУС представляет собой одноканальную замкнутую СМО с конечным числом источников нагрузки  $N$ , бесконечным накопителем и временем обслуживания, имеющим общее распределение; в символикe Кендалла такая система имеет обозначение  $M/G/1//N$ . Требования поступают в канал обслуживания из конечного источника объема  $N$ . Каждое требование в любой момент времени находится либо в источнике, либо в канале обслуживания (рис. 3).

<sup>1</sup> Кирсанов, А. Ю. Экспериментальное исследование и статистическая модель системы дистанционного управления / Ю. К. Евдокимов, А. Ю. Кирсанов // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – 2006. – № 3. С. 31–36.

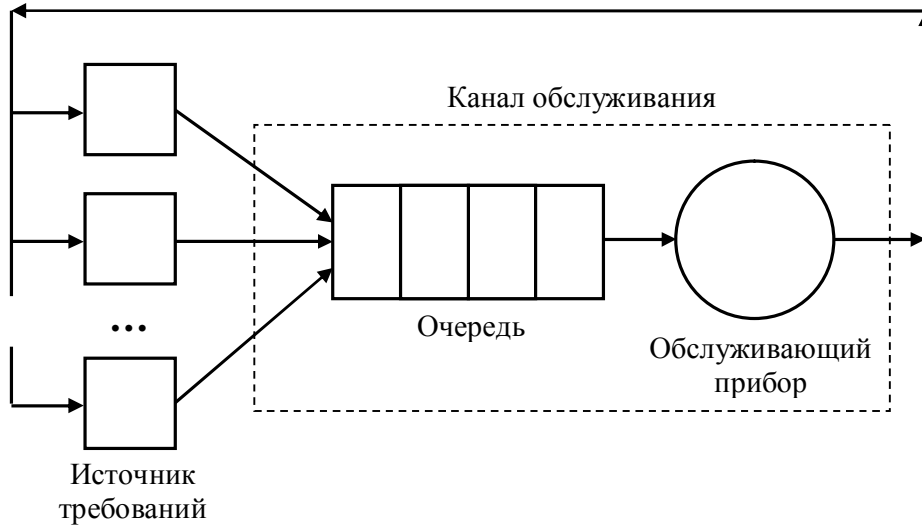


Рис. 3. Представление РИУС в виде системы M/G/1/N

Времена пребывания в источнике каждого требования независимые случайные величины, одинаково распределенные по экспоненциальному закону со средним значением  $1/\lambda$ , где  $\lambda$  – интенсивность поступления требований от каждого пользователя. Следовательно, если в канале обслуживания в текущий момент находятся  $n$  требований, то вероятность того, что в интервале длительностью  $\Delta t$  в систему поступит требование, равна  $(N - n)\lambda\Delta t + o(\Delta t)$ . Входной поток является псевдослучайным. Для оценки динамики функционирования многопользовательской РИУС необходимо определить математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение (СКО) величины  $t_{\text{ож}}$  с учетом закона распределения времени обслуживания (который является произвольным и зависит от характеристик и параметров объекта исследований, типа и метода измерений) и закона распределения времени пребывания требования в очереди. Обозначим:  $B(t)$  – распределение времени обслуживания,  $W(t)$  – распределение времени пребывания требования в очереди,  $B^*(s)$  – преобразование Лапласа – Стильеса (ПЛС) функции распределения  $B(t)$ ,  $W^*(s)$  – ПЛС функции распределения времени пребывания требования в очереди  $W(t)$ .

Преобразование Лапласа – Стильеса распределения времени пребывания требования в очереди для рассматриваемой системы определяется выражением

$$W^*(s) = \pi_0 + \frac{\pi_0}{NP_0} \sum_{k=1}^{N-1} kc_k \frac{B^*(s) - B^*(k\lambda)}{k\lambda - s} [B^*(s)]^{N-k-1} [1 - B^*(s)]^{k-1}, \quad (2)$$

где  $\pi_0$  – вероятность того, что канал обслуживания будет пуст после завершения обслуживания,  $P_0$  – вероятность простоя обслуживающего прибора в произвольный момент времени,  $c_k$  – константы, зависящие от  $B(t)$ .

В соответствии со свойством преобразования Лапласа – Стилтгеса начальные моменты  $v_n$  распределения  $W(t)$  определяются следующим выражением:

$$v_n = (-1)^n \frac{d^n W^*(s)}{ds^n} \Big|_{s=0}. \quad (3)$$

Таким образом, значение среднего времени пребывания требования в очереди, полученное на основе (2) и (3) равно:

$$\begin{aligned} t_{\text{оч\_ср}} = v_1 &= \frac{\pi_0}{N\lambda P_0} \left[ c_1 \left\{ \left[ (N-2)v_1' - \frac{1}{\lambda} \right] [1 - B^*(\lambda)] + v_1' \right\} - c_2 v_1' [1 - B^*(2\lambda)] \right] = \\ &= (N-1)v_1' - \frac{1 - \pi_0}{\lambda}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $v_1'$  - первый начальный момент распределения времени обслуживания  $B(t)$ , равный  $t_{\text{обсл\_ср}}$ .

Второй начальный момент  $v_2$  определяется выражением

$$\begin{aligned} v_2 &= \frac{\pi_0}{N\lambda P_0} \cdot \left[ c_1 \left\{ (1 - B^*(\lambda)) \cdot \left[ (N-2) \cdot \left( (N-3) \cdot v_1'^2 + v_2' - \frac{2v_1'}{\lambda} \right) + \frac{2}{\lambda^2} \right] + v_2' - \frac{2v_1'}{\lambda} + 2 \cdot (N-2) \cdot v_1'^2 \right\} + \right. \\ &+ c_2 \left. \left\{ (1 - B^*(2\lambda)) \cdot \left( \frac{v_1'}{\lambda} - 2v_1'^2 \cdot (N-3) - v_2' \right) - 2v_1'^2 \right\} + c_3 \cdot 2v_1'^2 \cdot (1 - B^*(3\lambda)) \right], \end{aligned} \quad (5)$$

где  $v_2'$  - второй начальный момент распределения времени обслуживания  $B(t)$ .

Дисперсия времени пребывания в очереди  $D(t_{\text{оч}})$ :

$$D(t_{\text{оч}}) = v_2 - v_1'^2. \quad (6)$$

Так как случайные величины  $t_{\text{оч}}$  и  $t_{\text{обсл}}$  независимы, а  $t_{\text{св}}$  может быть принята постоянной, то в соответствии с (1) математическое ожидание величины  $t_{\text{ож}}$  равно:

$$\begin{aligned} M(t_{\text{ож}}) &= M(t_{\text{св}} + t_{\text{оч}} + t_{\text{обсл}}) = M(t_{\text{св}}) + M(t_{\text{оч}}) + M(t_{\text{обсл}}) = \\ &= t_{\text{св}} + t_{\text{оч\_ср}} + t_{\text{обсл\_ср}} = t_{\text{св}} + (N-1)t_{\text{обсл\_ср}} - \frac{1 - \pi_0}{\lambda} + t_{\text{обсл\_ср}} = \\ &= t_{\text{св}} + Nt_{\text{обсл\_ср}} - \frac{1 - \pi_0}{\lambda}. \end{aligned} \quad (7)$$

Дисперсия и СКО времени ожидания  $t_{ож}$  определяется в соответствии с выражениями:

$$D(t_{ож}) = D(t_{св} + t_{оч} + t_{обсл}) = D(t_{оч}) + D(t_{обсл}), \quad (8)$$

$$\sigma(t_{ож}) = \sqrt{D(t_{ож})} = \sqrt{D(t_{оч}) + D(t_{обсл})}. \quad (9)$$

Разработанный метод расчета показателей функционирования многопользовательских РИУС на основе математической модели (выражения 1–9) представлен на рис. 4.

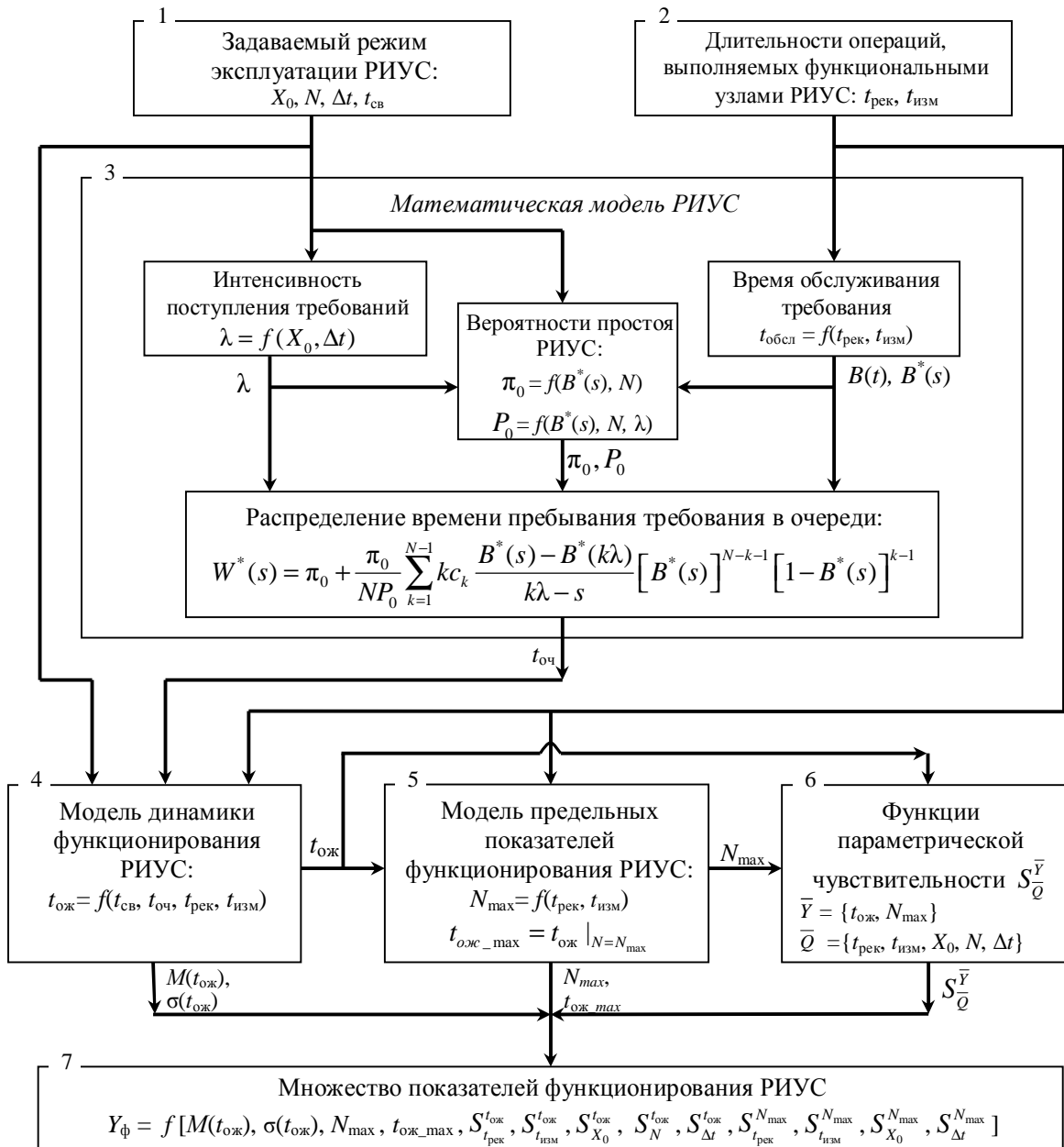


Рис. 4. Метод расчета показателей функционирования многопользовательских РИУС на основе математической модели

Для решения задачи синтеза многопользовательских РИУС с заданными качественными показателями функционирования в рамках диссертационной работы разработана методика проектирования многопользовательских РИУС, основанная на применении результатов промежуточного анализа показателей функционирования РИУС на базе математической модели, позволяющая определить требования к длительности операций, выполняемых основными функциональными узлами проектируемой РИУС с целью обеспечения работы заданного количества пользователей и/или динамики функционирования.

На рис. 5 представлена обобщенная структура проектируемой РИУС.

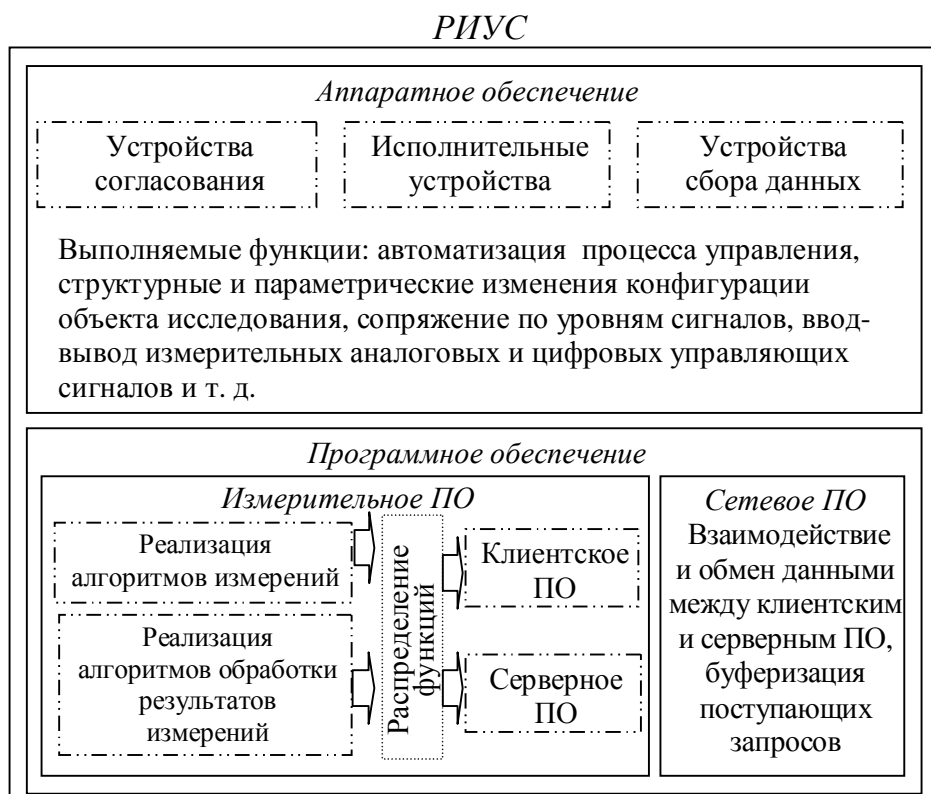


Рис. 5. Обобщенная структура проектируемой РИУС

График двумерной зависимости максимального значения среднего времени обслуживания, необходимого для обеспечения возможности выполнения эксперимента на рассматриваемом промежутке времени, представлен на рис. 6.

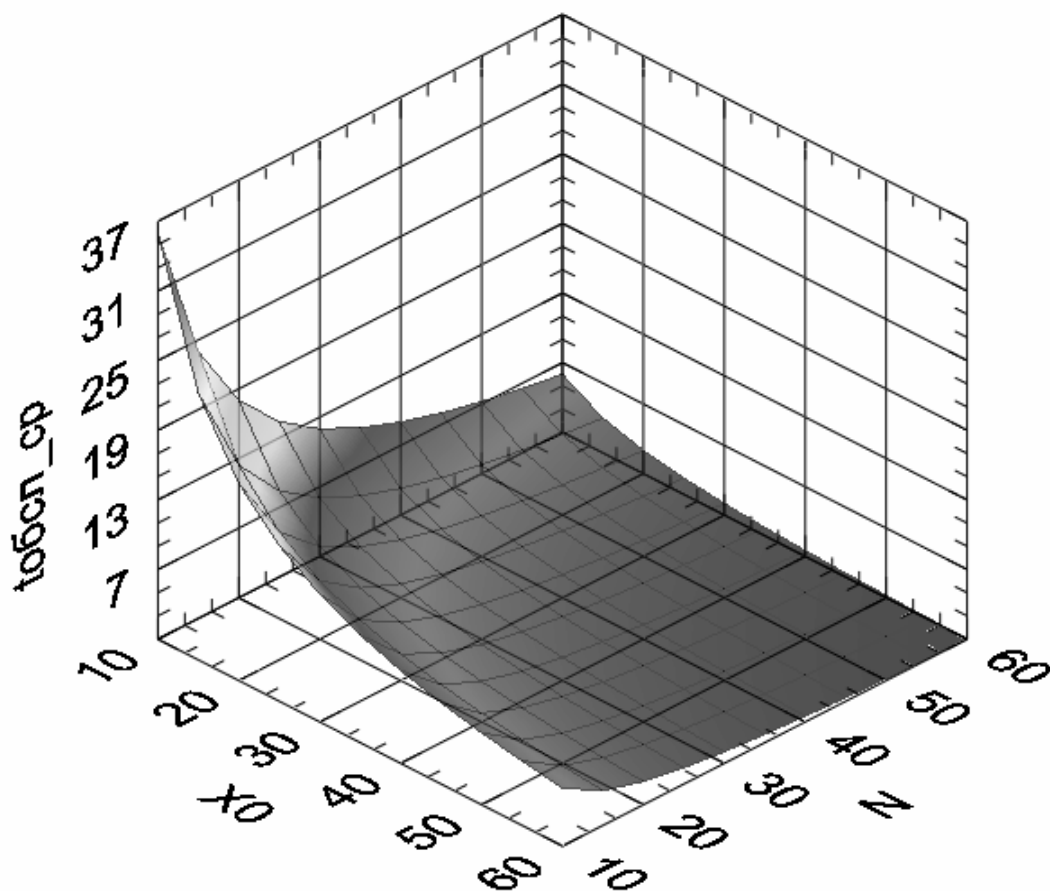
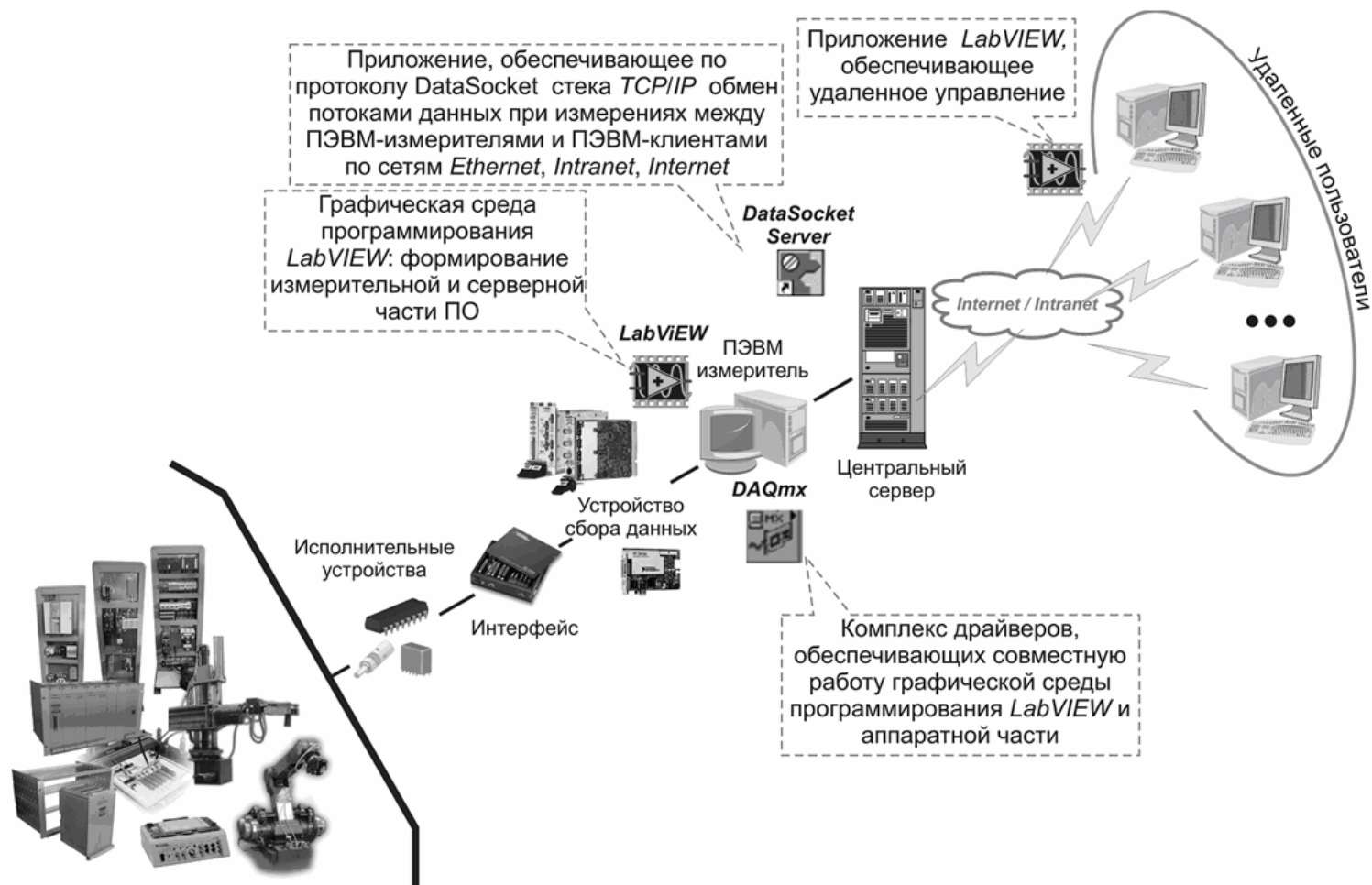


Рис. 6. Зависимость максимального значения  $t_{\text{обсл\_ср}} = f(X_0, N) |_{\Delta t = 3600 \text{ с}}$ , обеспечивающего возможность выполнения эксперимента на рассматриваемом промежутке времени

**В третьей главе** рассмотрены вопросы практической реализации многопользовательских РИУС на основе разработанных математической модели, метода и методики. В рамках диссертационных исследований для предложенной структуры РИУС (рис. 5) разработана унифицированная схема построения на основе технологий *National Instruments* [<http://www.ni.com>], реализующая возможность выполнения лабораторных экспериментальных исследований в режиме многопользовательского удаленного доступа. Обобщены основные подходы к выбору аппаратного обеспечения, разработке измерительного и сетевого программного обеспечения.

Разработанная унифицированная схема построения РИУС предусматривает возможность быстрого и независимого подключения к центральному серверу дополнительных РИУС и реализации дистанционного управления и контроля объектами исследования (рис. 7).



Экспериментальные установки в виде приборов, лабораторных стендов, промышленных установок и т. п.

Рис. 7. Унифицированная схема построения РИУС на основе технологий NI, реализующая возможность выполнения лабораторных экспериментальных исследований в режиме многопользовательского удаленного доступа



С целью унификации подходов к проектированию и удобства визуализации результатов исследования математической модели РИУС на основе вычислительных выражений (1–9) разработана программа, которая доведена до уровня программного продукта и зарегистрирована в РОСПАТЕНТе. Программа позволяет в режиме реального времени отслеживать влияние параметров системы и режима эксплуатации на ее качественные показатели функционирования. Интерфейс программы представлен на рис. 8. На лицевой панели задаются: режим эксплуатации системы (временной интервал функционирования, требуемое число измерений, число пользователей); параметры системы (время прохождения данных по каналу связи, закон распределения времени обслуживания). По заданным параметрам программа осуществляет расчет: среднего значения и СКО времени ожидания; распределения времени пребывания требования в очереди; максимальной нагрузочной способности; гистограммы коэффициентов параметрической чувствительности  $t_{ож\_ср}$  к изменению условий эксплуатации ( $N$ ,  $\Delta t$ ,  $X_0$ ) и параметров системы ( $t_{обсл\_ср}$ ) для заданного режима эксплуатации, с возможностью поэтапного сохранения результатов расчета, для проведения последующего сравнительного анализа.

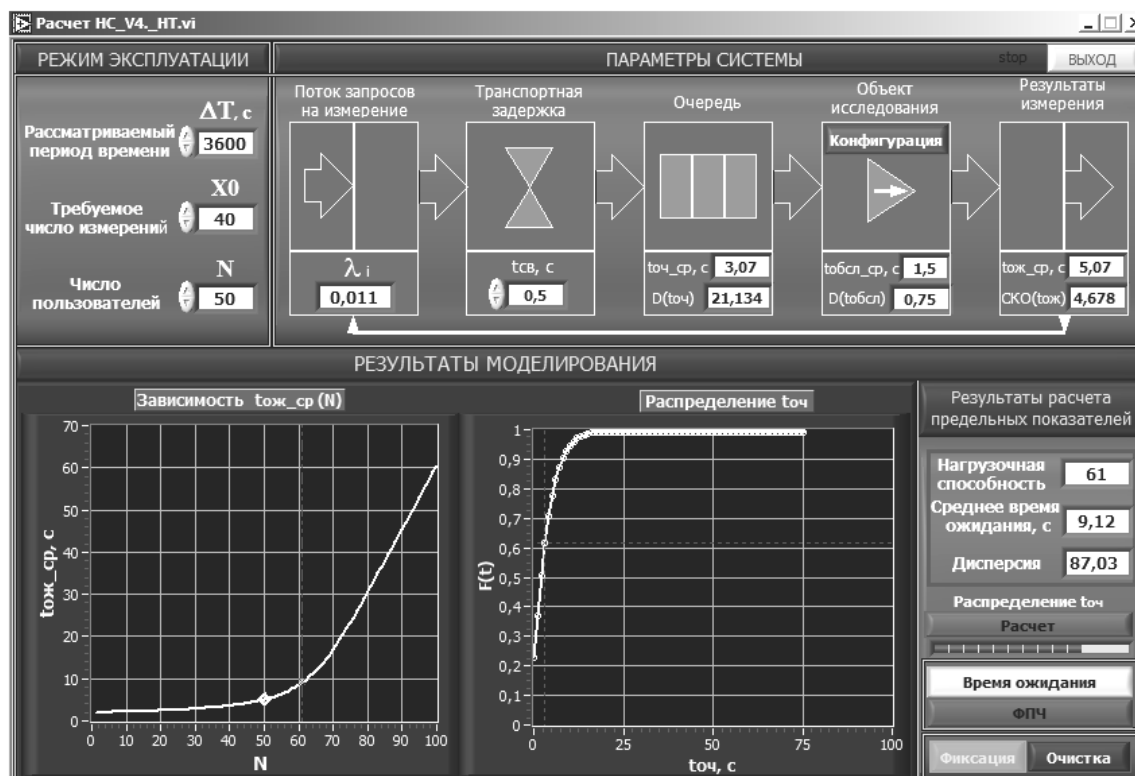


Рис. 8. Лицевая панель программы анализа режимов функционирования многопользовательских РИУС

С целью обеспечения сокращения времени на разработку измерительного программного обеспечения и его освоение, а также унификации подходов к построению систем в рамках диссертационных

исследований разработан комплекс универсальных компьютерных измерительных приборов, реализующих функции базового метрологического обеспечения РИУС с возможностью функционирования в монопольном и в многопользовательском режимах. Комплекс обладает высокой гибкостью и может быть адаптирован в кратчайшие сроки под конкретные заданные измерительные задачи, время осуществления измерения при функционировании в многопользовательском режиме составляет менее 1с.

На основе результатов диссертационных исследований была спроектирована и создана серия промышленных образцов измерительно-управляющих систем автоматизации научного и учебного экспериментов – аппаратно-программные комплексы с удаленным доступом (АПК УД): «Тракт усиления звуковой частоты», «Электроника», «Схемотехника аналоговых электронных устройств». Они обеспечивают возможность одновременной работы до 60 пользователей в течение академического часа. На рис. 9 представлены примеры конструктивного исполнения АПК УД на базе 19-дюймовых конструктивов стандарта «ЕВРОМЕХАНИКА», устанавливаемых в телекоммуникационный шкаф.

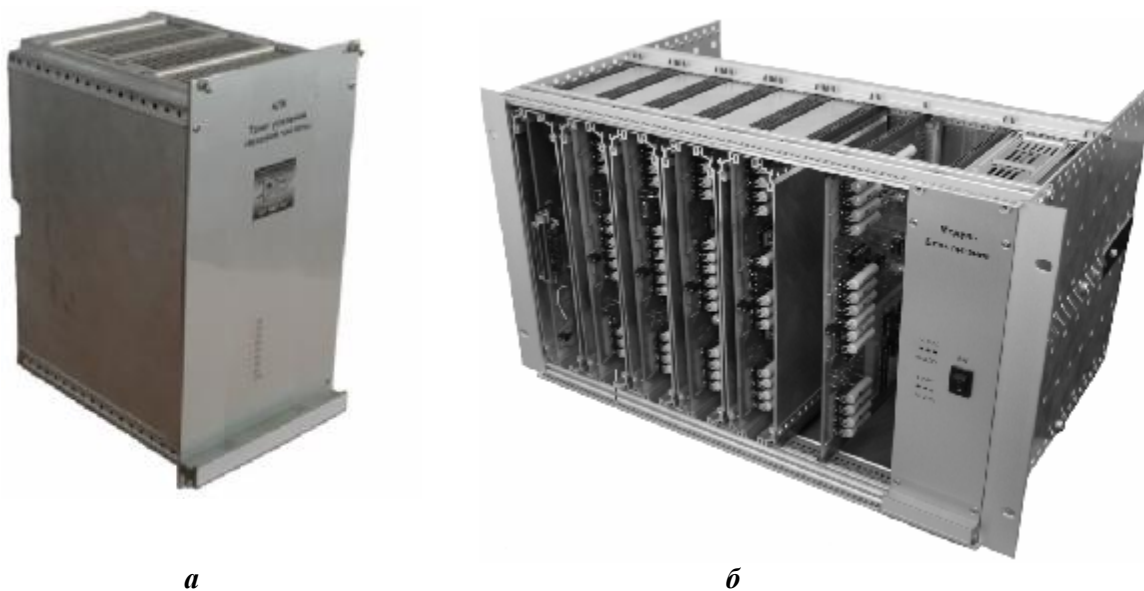


Рис. 9. Аппаратно-программные комплексы с удаленным доступом:  
*а* – «Тракт усиления звуковой частоты»; *б* – «Электроника»

В заключительной части главы рассмотрены вопросы и особенности обеспечения регламентированного доступа к ресурсам многопользовательских РИУС и организации учебного процесса на базе сетевых лабораторий.

**В четвертой главе** приводятся результаты экспериментальной проверки разработанной математической модели на базе опытного образца распределенной измерительно-управляющей системы. На рис. 10 приведен пример аппаратной реализации объектного модуля опытного образца.

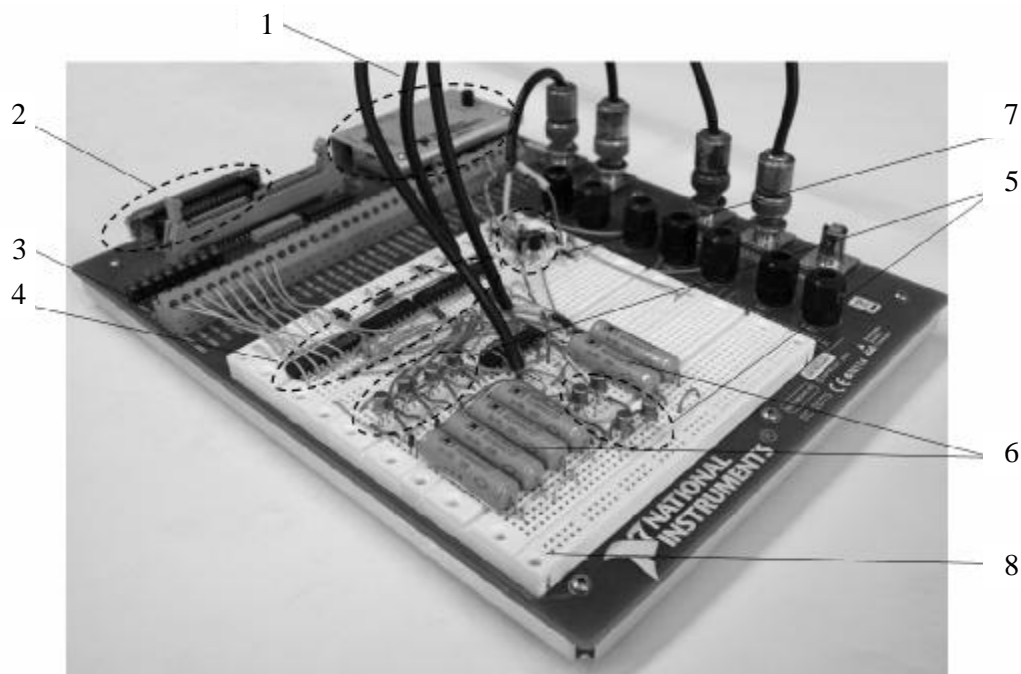


Рис. 10. Реализации объектного модуля «Полевой транзистор» на макетном коннекторе SC-2075: 1 – преобразователь внутреннего источника напряжения; 2 – разъем подключения к многофункциональной плате сбора данных M-серии; 3 – зажимной контактор для подключения сигнальных линий платы ввода-вывода к исследуемой схеме; 4 – цифровой интерфейс (дешифратор); 5 – объекты исследования; 6 – исполнительные устройства (реле); 7 – усилитель мощности; 8 – контактное поле для монтажа электрической схемы

Базовой задачей экспериментальных исследований является определение точности расчета параметров распределения времени ожидания результатов измерения  $t_{ож}$  на основе математической модели, так как полученные в результате аналитические выражения используются при расчете нагрузочной способности и проектировании многопользовательских РИУС.

Структурная схема экспериментального измерения значения временной задержки между отправлением запроса на измерение и получением результатов представлена на рис. 11.

Величина  $t_{ож}$  определяется как разность между моментом времени получения результатов измерения  $t_9$  и моментом отправки запроса на измерение  $t_1$ . Численное значение  $t_{ож}$  каждого измерения определяется на основе специализированной подсистемы контроля этапов проводимого измерения и фиксируется автоматически.

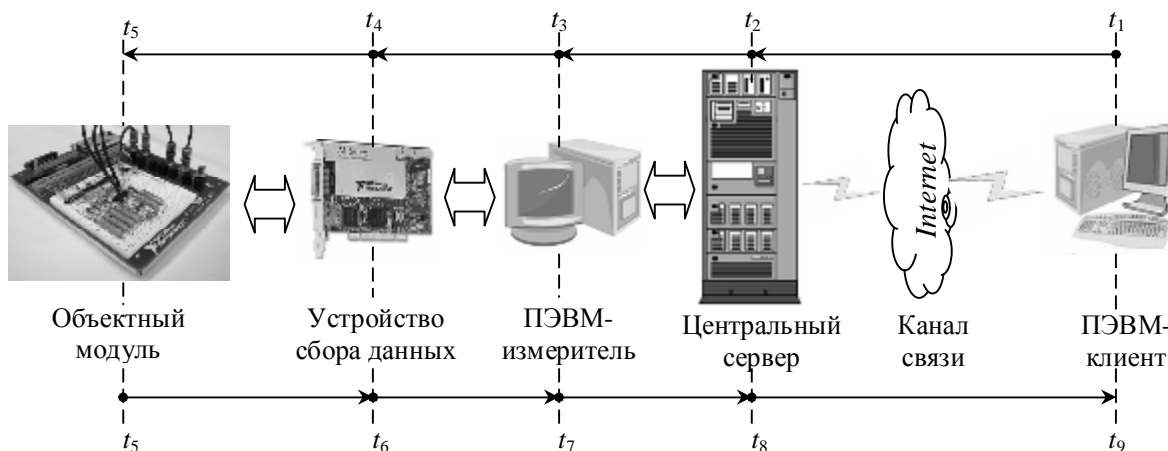


Рис. 11. Структурная схема экспериментального измерения значения  $t_{ож}$

На основе полученных экспериментальных данных построена гистограмма относительных эмпирических частот  $k_i$  распределения  $t_{ож\_эксп}$  (рис. 12), вычислены экспериментальные значения математического ожидания и СКО.

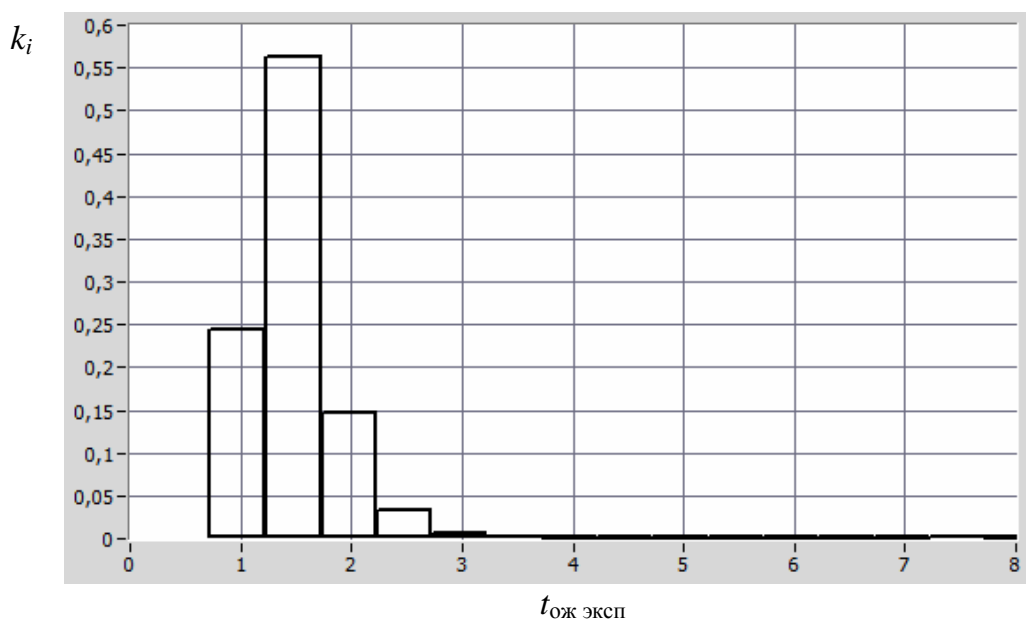


Рис. 12. Гистограмма относительных эмпирических частот распределения  $t_{ож\_эксп}$

Результаты расчета относительной погрешности определения параметров распределения времени ожидания результатов измерения (математического ожидания и СКО) на основе математической модели представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Значение относительных погрешностей математического моделирования

Параметр распределения	Эксперимент	Мат. модель	Погрешность, $E_i$
$M$ , сек	1,5	1,35	0,10
$\sigma$ , сек	0,5	0,56	0,12

Проведенные экспериментальные исследования позволяют в целом сделать вывод о соответствии разработанной математической модели описанию режимов функционирования многопользовательских измерительно-управляющих систем. Относительные погрешности расчета математического ожидания  $E_m$  и среднеквадратичного отклонения  $E_\sigma$  составили 0,1 и 0,12 соответственно.

**В заключении** сформулированы основные выводы по диссертационной работе в целом.

**В приложении** к диссертации приведены акты внедрения, свидетельства о регистрации программного обеспечения в РОСПАТЕНТе.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Предложена математическая модель многопользовательской распределенной измерительно-управляющей системы, учитывающая влияние длительности операций, выполняемых ее основными функциональными узлами, и режима эксплуатации на показатели функционирования системы.

2. Разработан метод расчета показателей функционирования на основе математической модели, позволяющий оценить характеристики многопользовательских РИУС на этапе проектирования.

3. Разработана методика проектирования многопользовательских РИУС с заданными нагрузочной способностью и динамикой функционирования.

4. Разработана унифицированная схема построения РИУС на основе компьютерных измерительных технологий *National Instruments*, реализующая возможность выполнения лабораторных экспериментальных исследований в режиме многопользовательского удаленного доступа, систематизирующая основные подходы к выбору аппаратного обеспечения, разработке измерительного и сетевого программного обеспечения.

5. Разработана программа анализа режимов функционирования многопользовательских измерительно-управляющих систем, позволяющая в режиме реального времени отслеживать влияние параметров системы и режима эксплуатации на ее качественные показатели функционирования.

6. Разработано и реализовано практически программное обеспечение, реализующее базовые метрологические функции РИУС.

7. Разработана и создана серия промышленных образцов измерительно-управляющих систем автоматизации научного и учебного экспериментов – аппаратно-программные комплексы с удаленным доступом: «Тракт усиления звуковой частоты», «Электроника», «Схемотехника аналоговых электронных устройств», успешно внедренные в учебный процесс.

8. Экспериментальные исследования опытного образца многопользовательской распределенной измерительно-управляющей системы подтвердили правильность ее математического описания. Относительные погрешности расчета математического ожидания  $E_m$  и среднеквадратичного отклонения  $E_c$  составили 0,1 и 0,12 соответственно.

9. Результаты диссертационных исследований внедрены в практику промышленного проектирования многопользовательских РИУС, реализующих возможность выполнения научных и/или экспериментальных исследований в режиме многопользовательского удаленного доступа по сетям *Internet/Intranet*.

### Основные публикации по теме диссертации

1. Комаров, В. А. Повышение эффективности эксплуатации многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем / А. С. Глинченко, В. А. Комаров, А. В. Сарафанов // Вестник Воронежского ГТУ, 2008. – №10. – С. 186–189.

2. Исследование параметров и характеристик полупроводниковых приборов с применением интернет-технологий: учеб. пособие / А. С. Глинченко, Н. М. Егоров, В. А. Комаров, А. В. Сарафанов. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 352 с. (Рекомендовано в качестве учебного пособия УМО вузов Российской Федерации по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации).

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008610374: Программное обеспечение аппаратно-программного комплекса с удаленным доступом «Тракт УЗЧ» / В. А. Комаров. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2008.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008610375: Программное обеспечение аппаратно-программного комплекса с удаленным доступом «Электроника» / В. А. Комаров, А. С. Глинченко. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент), 2008.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615444: Программное обеспечение аппаратно-программного комплекса с удаленным доступом «Схемотехника аналоговых электронных устройств» / В. А. Комаров, А. С. Глинченко. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2008.



6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008614927: Комплекс универсальных компьютерных измерительных приборов / В. А. Комаров, А. С. Глинченко. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2008.

7. Аппаратно-программный комплекс с удаленным доступом «Тракт усиления звуковой частоты». Версия 1.20 [Электронный ресурс]: Интерактивное электронное техническое руководство/ Ю. А. Капустин-Богданов, А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов, В. А. Комаров и др. Номер госрегистрации в НТЦ «Информрегистр» 0320 801027.

8. Аппаратно-программный комплекс с удаленным доступом «Электроника» Версия 1.2 [Электронный ресурс]: Интерактивное электронное техническое руководство/ Ю. А. Капустин-Богданов, А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов, В. А. Комаров и др. Номер госрегистрации в НТЦ «Информрегистр» 0320 801028.

9. Комаров, В. А. Концепция типовых решений при построении автоматизированных лабораторных практикумов с удаленным доступом (на примере дисциплин радиотехнических специальностей)/ С. А. Подлесный, А. В. Сарафанов, В. А. Комаров. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 40с.

10. Комаров, В. А. Особенности алгоритмов измерения компьютерных измерительных систем с удаленным доступом / В. А. Комаров, А. С. Глинченко. // Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. науч. тр. – Москва: «Радио и связь», 2006. – С. 329–332.

11. Комаров, В. А. Организация автоматизированных лабораторных практикумов на базе образовательно-информационной среды вуза / В. А. Комаров, А. В. Сарафанов // Сборник материалов Всероссийского конкурса инновационных проектов аспирантов и студентов по приоритетному направлению развития науки и техники «Информационно-телекоммуникационные системы»/ – М.: ГНИИ ИТТ «Информика», 2006. – С. 69–70.

12. Комаров, В. А. Применение математического моделирования на этапе проектирования и эксплуатации АПК УД / В. А. Комаров, А. С. Глинченко, А. В. Сарафанов // Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. науч. трудов. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – С. 478–482.

13. Комаров, В. А. Опыт организации автоматизированного лабораторного практикума с удаленным доступом в Сибирском федеральном университете. / К. Н. Захарьин, В. А. Комаров, С. А. Подлесный, А. В. Сарафанов, А. Г. Суковатый // 20 лет Учебно-методическому объединению в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации. Сб. науч.-метод. материалов. – Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. – С. 33–44.



Комаров Владимир Александрович  
Синтез многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем  
Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук  
Подписано в печать 21.01.2009. Заказ \_\_\_\_\_  
Формат 60x90/16. Усл. печ. л. 1,2. Тираж 100 экз.  
Отпечатано в ИПК СФУ  
660074, Красноярск, ул. Киренского, 28