

Филиппов Родион Алексеевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ УДАЛЕННЫМ
МИКРОСКОПОМ**

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

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Орел - 2012

Работа выполнена на кафедре "Компьютерные технологии и системы" в
ФГБОУ ВПО "Брянский государственный технический университет"

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки и техники, доктор
технических наук, профессор
Аверченков Владимир Иванович

Официальные оппоненты: **Еременко Владимир Тарасович**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»,
заведующий кафедрой «Электроника,
вычислительная техника и информационная
безопасность»,

Евельсон Лев Игоревич,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Брянская государственная
инженерно-технологическая академия»,
заведующий кафедрой «Информационные
технологии»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»

Защита диссертации состоится «29» мая 2012г. в 15-30 на заседании
диссертационного совета Д 212.182.01 при ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»
по адресу: 302020, РФ, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, ауд. 201.

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

Автореферат разослан « 27 » апреля 2012г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.182.01
кандидат технических наук, доцент

Волков Вадим Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из важных факторов проведения научных исследований является возможность доступа исследователя к современному высокотехнологичному оборудованию.

Развитие информационных технологий и средств телекоммуникаций создает основу для осуществления взаимодействия исследователя и уникального оборудования удаленно. Расширение каналов скоростных телекоммуникаций и разработка технологий обработки данных в реальном времени дают возможность реализации модели распределенного научного коллектива, работа которого строится на технологиях удаленного доступа к научно-техническим ресурсам на основе использования компьютерных средств общения.

Исследовательская компьютеризированная лаборатория представляет собой набор аппаратных и программных средств, подключенных к компьютеру для обеспечения дистанционного взаимодействия оператора с научным оборудованием как с обычным измерительным прибором. Специальный графический интерфейс выполняет роль органов управления и реализуется на основе имитационной модели основных узлов реального прибора в виде графических объектов на экране монитора. Такие лаборатории характеризуются распределенной информационной средой, обеспечивающей возможность удаленного доступа к источникам информации в виде распределенных промышленных установок, лабораторных комплексов, научно-исследовательских центров и др.

В связи с этим, работа, направленная на организацию новых методик и алгоритмов обеспечения удаленного доступа к лабораторному оборудованию является актуальной.

Объектом исследования в данной работе является лаборатория микрогеометрического анализа на основе оптической микроскопии.

В качестве предмета исследования рассматриваются методы, модели, алгоритмы и средства управления оптическим микроскопом при проведении экспериментов.

Целью исследования является расширение доступа к оборудованию и сокращение сроков и затрат на проведение научных экспериментов за счет организации удаленного доступа к научному оборудованию.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ существующих программно-аппаратных комплексов предназначенных для автоматизации доступа к удаленному оборудованию.
2. Разработка способов и приемов организации удаленного доступа к научному оборудованию лаборатории компьютерной микроскопии на основе оптического микроскопа.

3. Создание программно - аппаратного комплекса управления оптическим микроскопом LEICA DMIRM на расстоянии.

4. Разработка способов и приемов автоматизации процесса объемной реконструкции исследуемой поверхности.

Методы и средства исследований. При выполнении теоретических исследований и реализации поставленной задачи использовались методы объектно-ориентированного программирования и анализа, методология SADT , методы построения распределенных приложений, методы прикладной статистики.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в:

1. Разработке алгоритма функционирования программно-аппаратного комплекса управления удаленным оптическим микроскопом, отличающимся описанием взаимодействия распределенных компонентов программного обеспечения.

2. Разработке методики организации доступа к удаленному оптическому микроскопу, отличающейся процедурами авторизации пользователя и предоставления ему полномочий по проведению удаленных исследований и обработке полученных результатов.

3. В разработке алгоритма автоматизации процесса объемной реконструкции исследуемой поверхности, базирующегося на алгоритме уточнения высоты точек реконструируемой поверхности и отличающегося учетом параметров перемещения предметного столика и подстройки фокуса.

4. В разработке методики оценки погрешности перемещения основных автоматизируемых узлов микроскопа, основанной на оценке кинематической погрешности разработанных приводов методом максимума-минимума и учитывающей оценку погрешности пары винт-гайка микроскопа методами прикладной статистики.

Практическую значимость работы составляют:

1. Созданный программно-аппаратный комплекс, состоящий из механических приводов управления микроскопом, программного комплекса управления приводами, позволяющий осуществлять удаленный доступ к микроскопу и сокращать сроки проведения исследований.

2. База данных исследований, содержащая информацию о проведенных исследованиях, организациях и пользователях их проводивших.

3. Полученные значения погрешности перемещения автоматизируемых узлов микроскопа, используемые при проведении исследований в металлообрабатывающей промышленности.

Положения выносимые на защиту:

1. Алгоритм функционирования программно-аппаратного комплекса управления удаленным оптическим микроскопом.
2. Методика организации доступа к удаленному оптическому микроскопу.
3. Алгоритм автоматизации процесса объемной реконструкции исследуемой поверхности.
4. Методика оценки погрешности перемещения основных автоматизируемых узлов микроскопа.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры «Компьютерные технологии и системы» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет». Разработанный программный комплекс используется при проведении исследований в ООО «ИЦ ВТМ», а также при проведении исследований совместно с Приднестровским государственным университетом им. Т.Г. Шевченко.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на расширенном заседании кафедры «Компьютерные технологии и системы» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», а также на международных и всероссийских научных конференциях:

Третья международной научная конференция для студентов, аспирантов, ученых (Сумы 2010), Международная научно-практическая конференция (Брянск 2009), Международная молодежная конференция 23 Гагаринские чтения (Москва 2010), Международная научно-техническая конференция (Могилев 2010), 10-я Международная научно-техническая конференция (Ялта 2010), Международная научно-практическая конференции «Современные материалы, техника и технология» (Курск 2012).

Результаты работы использовались при реализации следующих НИР:

– Грант Президента РФ «Разработка теории и методов принятия инновационных решений при автоматизированном проектировании процессов изготовления наукоемких изделий» (грант МК-417.2010.8).

– НИР «Исследование и развитие новых механизмов интеграции научной и образовательной деятельности в рамках инновационных центров наукоемких технологий» гос. рег. № 01 2009 54252, заказчик Минобрнауки.

– НИР «Разработка математических моделей, информационного и программного обеспечения для поддержки инновационных решений в области высоких технологий наукоемких производств» (гос. рег. №01 2009 64010).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов, а также патент на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, приложений. Работа изложена на 169 страницах машинописного текста, включающего 72 рисунка, 33 таблицы, список литературы из 94 наименований, 3 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертации, формулируется цель работы и задачи исследования, указываются применяемые методы исследований и научная новизна, дана краткая характеристика диссертации. Приводятся научная и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен сравнительный анализ технологий удаленного доступа к научным лабораториям. Проведен анализ работ посвященных разработке лабораторий с удаленным доступом, проводимых такими учеными как: Аверченковым А.В., Розановым Б.А., Зиминим А.М., Соловьевым Г.Н., Медовым В. С., Бондаренко М.А., Золотарёвым Р.И., Пономаревой И.С., Зелепухиной В.А., Баран Е.Д., Зубковым В.И., Поповым С.Е., Жарковой Н.А., Профатиловой Г. А., а также зарубежными учеными: Я. Фостер, Д. Инсли, К. Кессельман, М. Тибау и др.

В современном научном и образовательном пространстве существует большое количество разработок в области удаленного доступа к научно-исследовательским лабораториям. Ряд высших учебных заведений, таких как: МГТУ им. Н.Э. Баумана, СПбГУ НИУ ИТМО, НИТУ «МИСиС», БелГУ занимаются вопросами создания таких лабораторий и на базе своего оборудования предоставляют удаленный доступ к проведению различных исследований.

После проведенного анализа был сделан вывод о том, что большинство учебных заведений для доступа к лабораторным установкам через сеть Интернет пользуются стандартными средствами удаленного управления компьютером, таким как TeamViewer. Но это накладывает ограничения на лицензирование, а также подвергает угрозе использования не по назначению лабораторные установки, поскольку управление передается полностью удаленному пользователю. Также задача проведения исследования решается персоналом лаборатории, лишая исследователя возможности управлять процессом проведения исследования лично. Кроме того после анализа был сделан вывод, что удаленный доступ осуществляется преимущественно к электронным и рентгеновским микроскопам, задача автоматизации управления оптическими микроскопами не решается. Исходя из вышесказанного, было принято решение разработать программно-аппаратный

комплекс для удаленного доступа к оптическому микроскопу с отдельным интерфейсом доступа в сети Интернет, позволяющий управлять процессом перемещения исследуемой поверхности, получением и обработкой результатов.

Также были сформулированы цели и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке структуры программно-аппаратного комплекса (ПАК), структуре электронно-аппаратной составляющей комплекса и алгоритмов работы составных частей комплекса, а также рассмотрению вопросов разработки алгоритмов функционирования ПАК, алгоритма проведения удаленного исследования с помощью комплекса, разработке методики организации удаленного доступа к научному оборудованию.

В рамках диссертационного исследования была предложена структурно-функциональная схема ПАК управления удаленным оптическим микроскопом (Рис.1).

ПАК управления удаленным оптическим микроскопом состоит из двух основных составляющих: сервера и лаборатории микроскопии. Кроме того предусмотрена работа комплекса через сеть Интернет.

В состав сервера входят следующие компоненты: HTTP-сервер; сервер виртуальной лаборатории; база данных (БД). HTTP-сервер состоит из двух компонентов: HTML страницы; модулей Common Gateway Interface (CGI). HTML-страница позволяет визуально отобразить результаты работы с ПАК, а также дает возможность удаленному пользователю управлять основными узлами микроскопа.

Сервер ПАК позволяет осуществлять взаимодействие с базой данных, а также на сервере исполняются трудоемкие задачи (трехмерная реконструкция, увеличение глубины резкости, формирование больших полей наблюдения). В базе данных хранится список пользователей, их индивидуальные настройки, результаты проведенных исследований (наименования образцов, 2D-изображения, 3D-модели исследуемых поверхностей).

Лаборатория микроскопии состоит из инвертированного металлографического микроскопа LEICA DMIRM с установленными на нем приводами управления перемещением предметного столика и привода изменения фокуса, контроллеров управления перемещением шаговых двигателей, USB портов, осуществляющих трансляцию сигналов управления приводами, а также видео и фотоизображения исследуемой поверхности и локального рабочего места оператора, управляющего работой лабораторного комплекса.

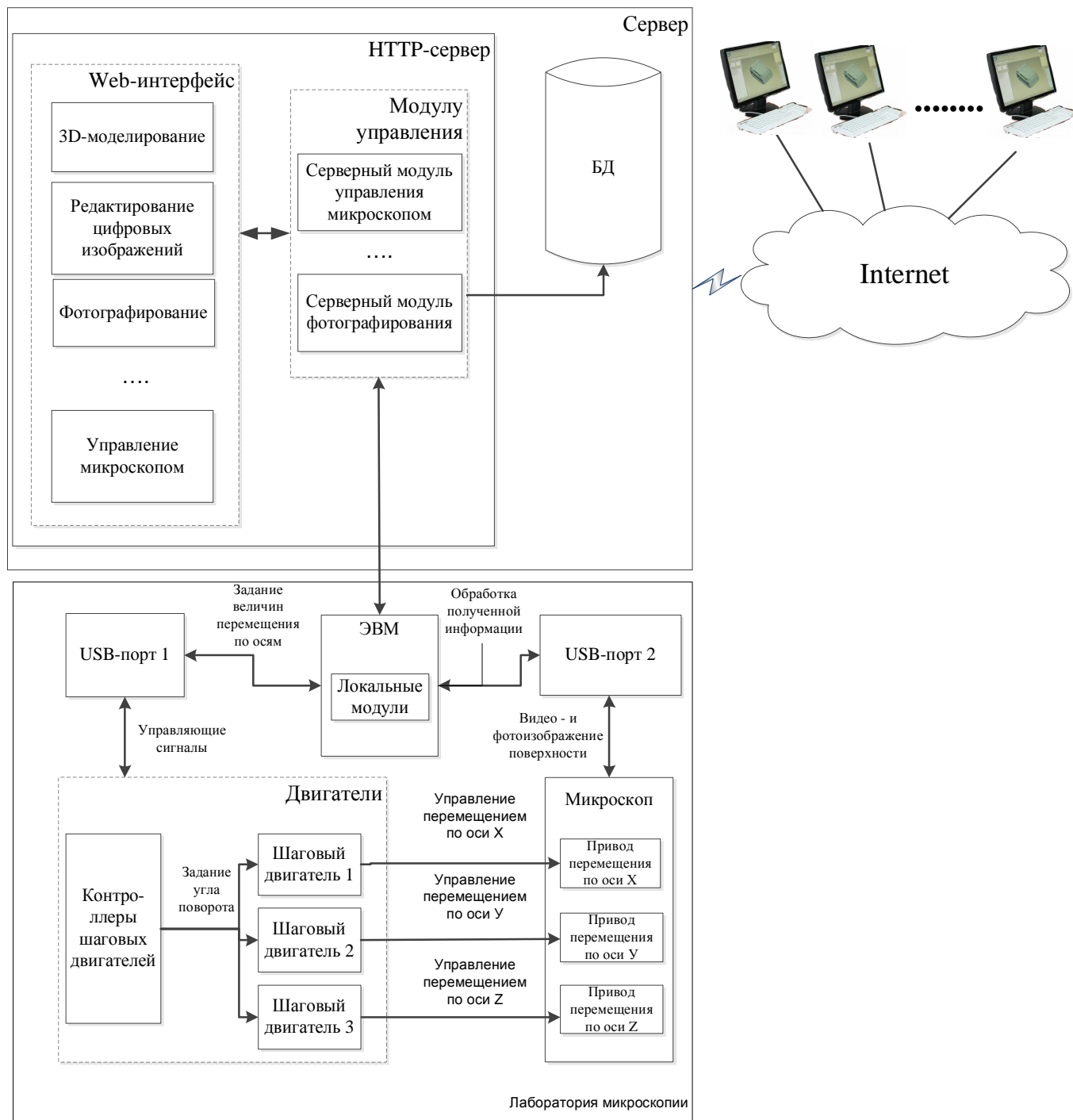


Рис. 1. Структурно-функциональная схема ПАК управления удаленным оптическим микроскопом

Для реализации удаленного управления оптическим микроскопом через сеть Интернет была разработана аппаратная часть управления микроскопом.

Аппаратная часть состоит из шаговых двигателей, контроллеров управления, датчиков аварийного положения стола, а также источника питания, и предназначена для управления узлами микроскопа.

Под управляющими воздействиями над узлами микроскопа понимается модель управления узлами микроскопа следующего вида (1):

$$U = \begin{cases} x_{\min} \dots x_{\max} \\ y_{\min} \dots y_{\max} \\ f_{\min} \dots f_{\max} \\ D_{50}, D_{100}, D_{200}, D_{500}, D_{1000} \end{cases}, \quad (1)$$

где $x_{\min} \dots x_{\max}$ - перемещение рабочего стола по координате x ,

$y_{\min} \dots y_{\max}$ - перемещение рабочего стола по координате y ,

$f_{\min} \dots f_{\max}$ - изменение фокуса,

$D_{50}, D_{100}, D_{200}, D_{500}, D_{1000}$ - смена объективов с различным оптическим увеличением.

Для реализации работы предложенного ПАК был разработан алгоритм функционирования ПАК (Рис.2).

Представленный алгоритм описывает функционирование программно аппаратного комплекса удаленного управления оптическим микроскопом. На схеме представлена организация управления микроскопом, возможности просмотра проводимых экспериментов, обработки микроструктур, просмотра отчета, регистрации.

Так же на схеме отражены данные, вводимые при работе с тем или иным компонентом программно аппаратного комплекса. Процесс обновления выводимых на сервере изображений организующих видео поток происходит параллельно обработке команд управления, это позволяет отобразить результат перемещения стола или подстройки фокуса.

Для получения доступа к этим модулям исследователю необходимо пройти авторизацию. Неавторизованный пользователь получает доступ только к информационным разделам и разделу регистрации.

При обработке микроструктур исходной информацией являются не только текстовые поля, но и графические изображения микроструктур.

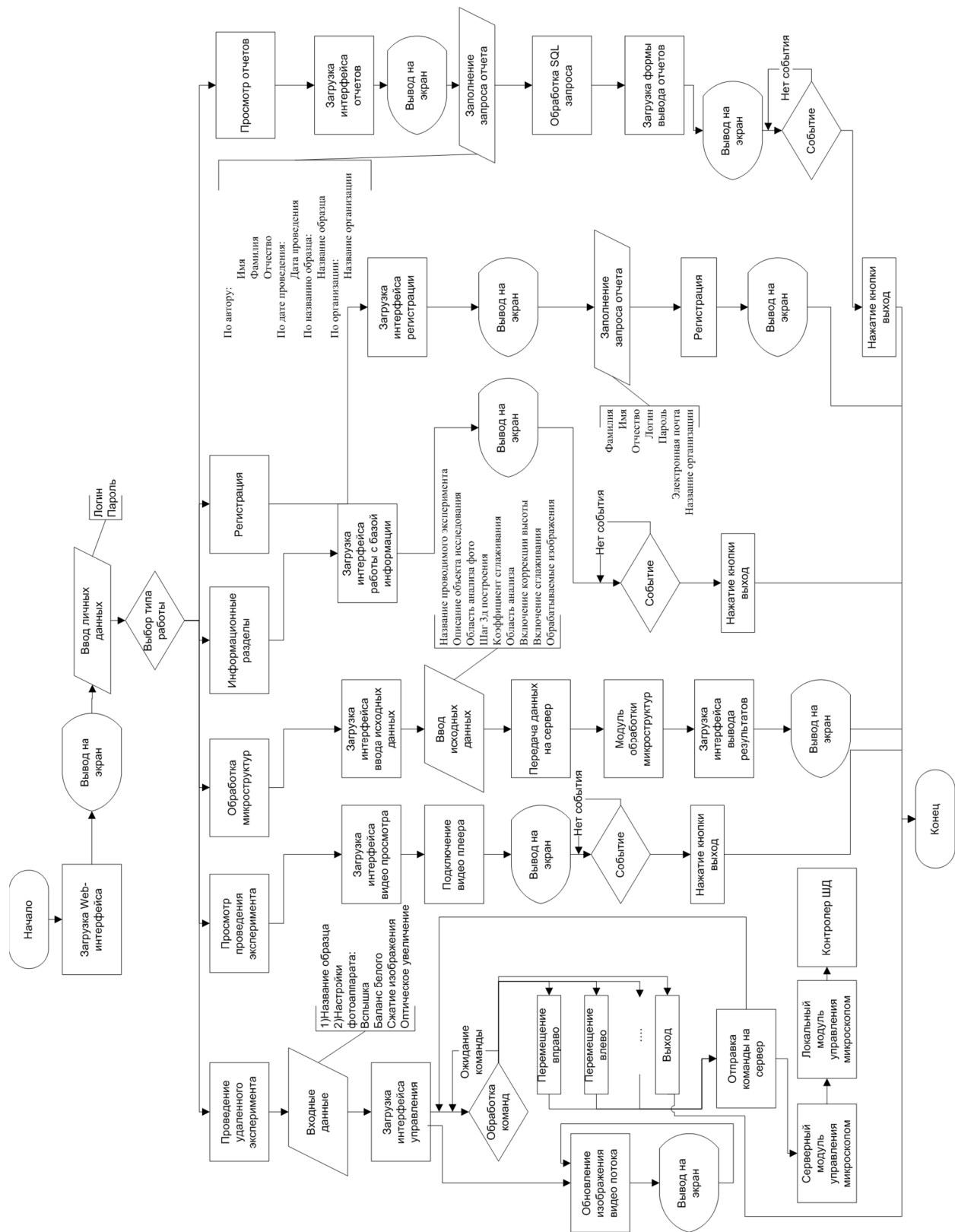


Рис.2. Блок схема функционирования программного комплекса удаленного управления.

Для проведения удаленного или локального исследования был разработан алгоритм автоматизации процесса объемной реконструкции исследуемой поверхности (Рис.3).



Рис. 3. Алгоритм автоматизации процесса объемной реконструкции исследуемой поверхности

С помощью алгоритма показана последовательность действий, необходимых для проведения исследований с помощью комплекса, а также построения

трехмерных моделей исследуемых поверхностей и изображений с наилучшим фокусом.

Исследование начинается с установки образцов, затем происходит запуск сеанса управления микроскопом в течении которого происходит работа с образцом, получение фото и видеоизображения исследуемой поверхности. После завершения сеанса возможно провести работу с полученными фотографиями, автоматически программно получить трехмерную модель исследуемой поверхности. Если же этого не требуется, то исследование завершается, результаты сохраняются в базу данных, работа с данным образцом завершается и происходит отключение оборудования.

На основании разработанных алгоритмов была создана методика организации удаленного доступа к научному и технологическому оборудованию. Реализация методики включает следующие укрупненные этапы:

1. Анализ назначения, структуры и функциональных возможностей оборудования с точки зрения возможности обеспечения удаленного доступа через компьютерные сети.
2. Выбор схемы реализации удаленного доступа к оборудованию
3. Разработка общей структурно-функциональной схемы ПАК, обеспечивающего удаленный доступ к оборудованию в зависимости от выбранной схемы реализации.
4. Выбор или разработка программно-аппаратного обеспечения для удаленного доступа к оборудованию.
5. Монтаж и отладка ПАК для обеспечения удаленного доступа к оборудованию через компьютерные сети
6. Оценка погрешности полученных результатов измерений с помощью разработанного ПАК
7. Разработка методического обеспечения.

С использованием созданной и описанной методики в Брянском ГТУ осуществлена организация удаленного доступа к металлографическому микроскопу «LEICA DMIRM» для проведения научных исследований и организации процесса обучения.

Третья глава посвящена выбору и разработке программного, технического и лингвистического обеспечения ПАК управления удаленным оптическим микроскопом, а также разработке информационного обеспечения ПАК. Дана общая характеристика используемого программного и технического обеспечения комплекса, разработана база данных проведения исследования и произведено описание работы программной и аппаратной составляющих комплекса. Структурная схема программного комплекса представлена на рис. 4.

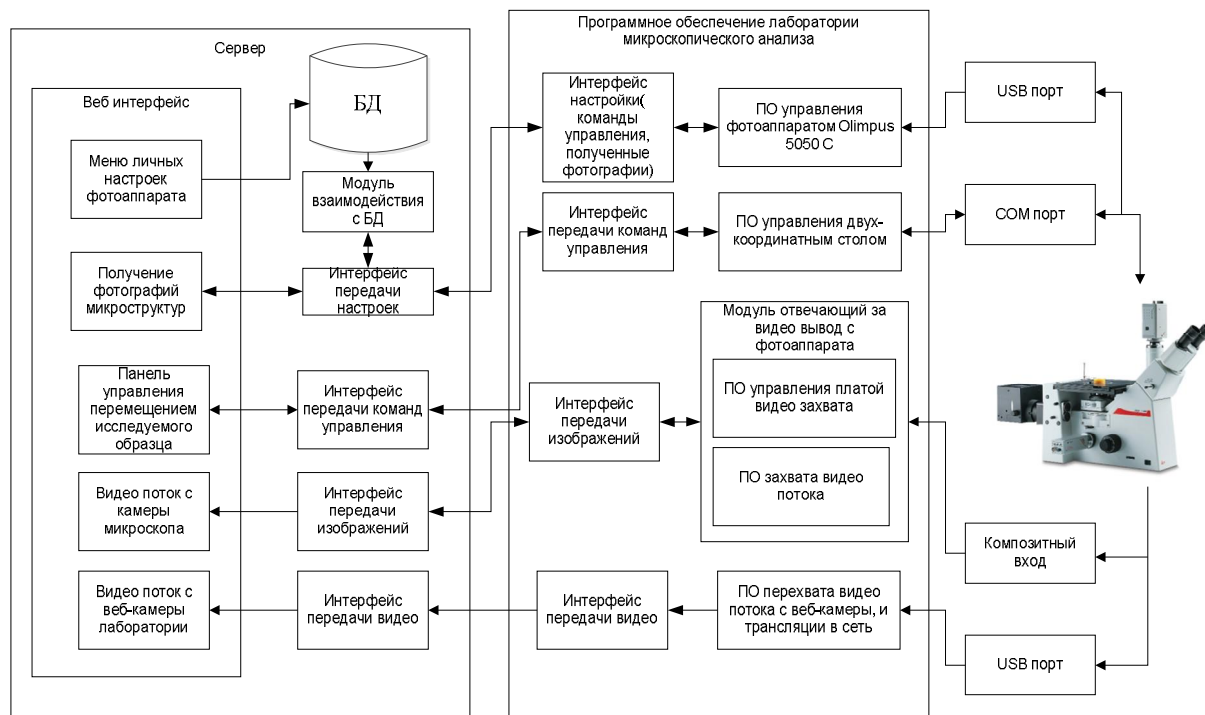


Рис.4. Структурная схема программной составляющей ПАК управления удаленным оптическим микроскопом

В программный комплекс управления лабораторией входит серверная часть программного обеспечения и программное обеспечение, установленное на компьютере, непосредственно управляющее элементами технического обеспечения лаборатории, такими как двух координатный стол и блок настройки четкости микроскопа Leica DMIRM посредством шаговых электродвигателей, фотоаппарат Olympus 5050-C. Такое разделение позволяет при необходимости оставаться рассматриваемой лабораторией полностью автономной и не нести на себе нагрузки самого сервера, а также обеспечивать функционирование сервера в качестве справочно-информационного сервиса во время отключения физического оборудования лаборатории.

Четвертая глава посвящена оценке погрешности работы приводов управления микроскопа по осям X,Y,Z, практическому применению разработанного комплекса, а также оценке технико-экономической эффективности использования результатов исследования.

При проведении удаленных исследований с помощью оптического оборудования возникает проблема оценки точности позиционирования по координатам X,Y,Z. Это особенно актуально при работе с полученными изображениями, когда необходимо оценивать геометрические параметры различных элементов поверхностей (раковины и т.д.). Такие задачи актуальны для предприятий металлообрабатывающей промышленности, заказывающих исследования. Для решения этой задачи была

разработана методика оценки погрешности перемещения предметного столика оптического микроскопа по осям X,Y,Z на примере микроскопа LEICA DMIRM.

Реализация методики включает в себя следующие этапы:

1. Разработка рабочих чертежей приводов управления
2. Выбор шаговых двигателей и определение их параметров
3. Оценка кинематической погрешности зубчатых колес
4. Оценка кинематической погрешности по методу максимума-минимума
5. Проведение опытов для калибровки основных узлов микроскопа
6. Оценка погрешности основных конструктивных узлов микроскопа
7. Выведение результирующей погрешности на основании полученных данных

По данной методике была рассчитана погрешность перемещения узлов микроскопа.

Для расчета погрешности кинематической цепи зубчатых передач была определена кинематическая точность зубчатых колес, участвующих в зацеплении.

$$\Delta'_i = \Delta_p + \Delta_f, \quad (2)$$

где Δ_p – допуск на накопленную погрешность зубчатого колеса, Δ_f – допуск на погрешность профиля зуба.

Затем был произведен расчет погрешности кинематической цепи зубчатых передач.

Согласно ГОСТ 21098-82, кинематическая погрешность рассчитывается по методу максимума-минимума. При этом методе учитываются предельные отклонения погрешностей составляющих звеньев и их наихудшие для передачи сочетания.

Для определения кинематической погрешности механизма, составленного из зубчатых колес, необходимо определить максимальные и минимальные значения кинематической погрешности каждой зубчатой пары, а затем произвести суммирование этих погрешностей относительно ведомого вала вероятностным методом или методом максимума-минимума.

Минимальное значение кинематической погрешности привода

$$F'_{i0\min} = k_1 \cdot k_s \cdot k_j \cdot (F'_{i1} + F'_{i2}), \quad (3)$$

где F'_{i1}, F'_{i2} – допуск на кинематическую погрешность соответственно ведущего и ведомого колеса зубчатой пары; k_1 – коэффициент, зависящий от степени точности, k_s – коэффициент фазовой компенсации, k_j – коэффициент, учитывающий угол поворота ведомого зубчатого колеса, F'_i – допуск на кинематическую погрешность зубчатого колеса.

Затем определяется максимальное значение кинематической погрешности передач:

$$F'_{i0\max} = k \cdot k_j \cdot \left(\sqrt{(F'_{i1})^2 + (\Delta E_{\Sigma M1})^2} + \sqrt{(F'_{i2})^2 + (\Delta E_{\Sigma M2})^2} \right), \quad (4)$$

где k - коэффициент фазовой компенсации, $\Delta E_{\Sigma M}$ - суммарная приведенная погрешность монтажа.

Затем был произведен расчет кинематической погрешности цепи по методу максимума-минимума.

$$d_{j \Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{d_{j \max i}}{i_{\Sigma i}} = \frac{d_{j \max 1-2}}{i_{\phi 2-\phi n}} + \frac{d_{j \max 3-4}}{i_{\phi 3-\phi n}}, \quad (5)$$

где $\delta_{\phi \max i}$ - максимальное значение кинематической погрешности зубчатой пары, вычисленное в зависимости от вида передачи, $i_{\Sigma i}$ - передаточное отношение от вала, на котором находится ведомое колесо данной зубчатой пары, до вала, к которому приводится погрешность.

При расчете кинематической погрешности зубчатых передач привода перемещения предметного столика микроскопа LEICA DMIRM были получены следующие значения:

кинематическая погрешность цепи привода перемещения предметного столика по оси X $\Delta j_{1,2,3} = 54 \text{ мкм}$, цепи привода перемещения предметного столика по оси Y $\Delta j_{4,5,6} = 52 \text{ мкм}$

Данные значения позволяют оценить погрешность угла поворота в линейных единицах ведомого вала разработанного привода перемещения предметного столика микроскопа

Далее была получена оценка погрешности пары винт-гайка микроскопа.

Для оценки погрешности были проведены серии опытов для определения реальной величины перемещения предметного столика микроскопа и привода управления фокусом. Для этого был составлен план эксперимента.

Для проведения экспериментальных исследований использовались два вида приборов: индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм (Индикатор ИЧ25 кл. 1 ГОСТ 577-68) использовался для проведения опытов по осям X, Y; для проведения опытов по оси Z использовался микрокатор типа ИГП с ценой деления 0,5 мкм (Микрокатор 0,5 ИГП).

Была произведена калибровка предметного столика и проведен ряд опытов, позволивших определить зависимость перемещения предметного столика от вращения коаксиальной ручки вала.

Были проведены эксперименты для оценки погрешности механизма перемещения предметного столика.

Для определения зависимости перемещения узла смены объективов по оси Z от угла поворота были произведены эксперименты с помощью микрометра. Для дальнейших расчётов и анализа была проведена калибровка микроскопа, которая устанавливает связь угла поворота привода настройки фокуса с перемещением узла смены объективов по оси Z.

Полученные данные были статистически обработаны.

После проведения калибровки и определения значения деления ручки микроскопа была проведена оценка погрешности перемещения по оси X. Произведено измерение погрешности перемещения привода по оси Z с учетом работы шагового двигателя.

После определения составляющих погрешностей была применена формула оценки результирующей погрешности перемещения основных узлов микроскопа по осям X, Y, Z.

$$\delta_{пр.х} = (1 + \delta_{пр.дв})(1 + \delta_{пр.ц.х})(1 + \delta_{м.х}) - 1, \quad (6)$$

$$\delta_{пр.у} = (1 + \delta_{пр.дв})(1 + \delta_{пр.ц.у})(1 + \delta_{м.у}) - 1 \quad (7)$$

$$\delta_{пр.з} = (1 + \delta_{пр.дв})(1 + \delta_{м.з}) - 1 \quad (8)$$

где $\delta_{пр.дв}$ – относительная погрешность работы шагового двигателя,

$\delta_{пр.ц.х}$ - относительная кинематическая погрешность кинематической цепи состоящей из зубчатых передач по оси X,

$\delta_{пр.ц.у}$ - относительная кинематическая погрешность кинематической цепи состоящей из зубчатых передач по оси Y,

$\delta_{м.х}$ - относительная погрешность перемещения предметного столика от рукоятки управления по оси X,

$\delta_{м.у}$ - относительная погрешность перемещения предметного столика от рукоятки управления по оси Y,

$\delta_{м.з}$ относительная погрешность перемещения узла крепления объективов от рукоятки изменения фокуса.

Значения $\delta_{пр.дв}$ были получены из документации на шаговые двигатели, $\delta_{пр.ц.х}$, $\delta_{пр.ц.у}$ были получены на основании формул 1-5, $\delta_{м.х}$, $\delta_{м.у}$, $\delta_{м.з}$ – значения, полученные опытным путем.

Эта формула более полно учитывает композицию отдельных погрешностей, чем часто применяемое простое суммирование погрешностей.

По результатам проведенных исследований были получены значения погрешностей перемещения основных автоматизируемых узлов микроскопа, которые позволили определить величину отклонения перемещения по осям X,Y,Z, а также сделать вывод о том, что величины отклонений малы и позволяют проводить исследования с точностью, необходимой для малых инновационных предприятий и для учебных целей. Проведенные исследования показали, что использование предложенного в диссертационном исследовании программно-аппаратного комплекса повышает эффективность проведения удаленных экспериментов за счет автоматизации управления удаленным микроскопом, что подтверждается актами и справками о внедрении на предприятиях и это говорит об успешном достижении цели исследования. В результате внедрения разработанного комплекса происходит снижение необходимого персонала с двух человек до одного, снижается трудоемкость проведения исследования с 16 трудовых часов до 8. Количество исследователей, которые одновременно могут принимать участие в эксперименте, возрастает на порядок, за счет отсутствия ограничений пространства.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

1. В научном исследовании решена новая научно-техническая задача по автоматизации научных исследований микрогеометрических поверхностей с помощью управления удаленным оптическим микроскопом.
2. Разработан программно-аппаратный комплекс управления удаленным оптическим микроскопом, алгоритмы его функционирования, отличающийся описанием взаимодействия его распределенных компонентов программного обеспечения.
3. Предложена методика организации доступа к удаленному оптическому микроскопу, отличающаяся разработкой процедур идентификации и аутентификации пользователя при проведении удаленных исследований.
4. Разработан алгоритм автоматизации процесса объемной реконструкции исследуемой поверхности, учитывающий перемещение предметного столика и подстройку фокуса и позволяющий строить трехмерную модель.
5. Предложена методика оценки погрешности перемещения основных автоматизируемых узлов микроскопа, базирующаяся на оценке кинематической погрешности разработанных приводов и отличающаяся учетом погрешности пары винт-гайка микроскопа.
6. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволил сократить трудоемкость проведения исследования с 16 трудовых часов до 8 за счет автоматизации процесса организации научных экспериментов с помощью удаленного оптического микроскопа.

Основные публикаций по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Филиппов, Р.А. Программно-аппаратный комплекс виртуальной лаборатории для микроструктурного и микрогеометрического анализа [Текст]/ А.В. Аверченков, Д.В. Чмыхов, Р.А. Филиппов, И.Л. Пыриков, А.П. Дорош.// Вестник Брянского государственного технического университета. – Брянск: БГТУ, - 2010. – №3(27). – С. 78-83. (Личное участие 60%)

2. Филиппов, Р.А. Исследование точности позиционирования объектов при оптической микроскопии с управлением через интернет[Текст]/В.И. Аверченков, В.В. Спасенников, Р.А. Филиппов// Вестник Брянского государственного технического университета. –Брянск: БГТУ, - 2012. – №1. – С. 125-130. (Личное участие 60%)

3. Филиппов, Р.А. Модель оценки социально-демографического потенциала и его влияние на структуру высшего профессионального и послевузовского образования в регионе[Текст]/ А.В. Лагерев, А.С.Сазонова, Р.А. Филиппов// Информационные системы и технологии. – Орел: Госуниверситет-УНПК, - 2012. - №3. – С. 72-78 (Личное участие 20%)

Патенты

1. Филиппов,Р.А. Патент на полезную модель «Аппаратно-программный комплекс для управления удаленным оптическим микроскопом» / Аверченков, А.В., Аверченков В.И., Филиппов, Р.А., Чмыхов, Д.В.// №110842 от 27.11.2011 г.(Личное участие 60%)

Публикации в других изданиях, включая труды международных научно-технических конференций:

2. Филиппов, Р.А. Программный комплекс оптического микроструктурного анализа с использованием технологий интернет [Текст]/ Аверченков В.И., Чмыхов Д.В., Филиппов Р.А.//Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 10-й Международной научно-технической конференции.- Киев: АТМ Украины, 2010.- с. 8-10(Личное участие 60%)

3. Филиппов, Р.А.Состав и особенности построения виртуальной лаборатории для удаленного микроскопического анализа поверхностей [Текст]/Аверченков.В.И., Чмыхов Д.В., Филиппов Р.А.// Сборник материалов Третьей международной научной конференции для студентов, аспирантов, ученых.- Сумы: СОИППО 2010г, -т.2 с. 228-231(Личное участие 60%)

4. Филиппов, Р.А., Организация удаленного управления в компьютерной микроскопии [Текст]/ Чмыхов Д.В., *Филиппов Р.А.*// Материалы Международной научно-технической конференции.- Киев: АТМ Украины, 2010.- с. 177(Личное участие 50%)

5. Филиппов, Р.А., Программное и аппаратное управление оптическим микроскопом [Текст]/*Филиппов Р.А.*, Дорош А.П.//Современные материалы, техника и технология. Материалы международной научно-практической конференции. Курск: Юго-зап. Гос. Ун-т., 2011. – с.331-333)(Личное участие 50%)

6. Филиппов, Р.А., Организация проведения удаленных опытов в системах научных исследований в области компьютерной микроскопии[Текст]/*Филиппов Р.А.*, Аверченков В.И. //Сборник материалов VI международной научно-практической конференции «Михоило-архангельские чтения» - Рыбница :ИЗДАТ,2011 г., -с. 216-218(Личное участие 50%)

7. Филиппов, Р.А.. Автоматизированный комплекс для виртуального микроструктурного анализа в Интернет[Текст]/ Филиппов Р.А. // Материалы научно-практической конференции. -Брянск: НОЧУ «Центр бизнес - образования», 2011.- с. 47-49(Личное участие 100%)

8. Филиппов, Р.А.Организация виртуальной лаборатории компьютерной микроскопии[Текст]/Чмыхов Д.В., *Филиппов Р.А.*// Научные труды Международной молодежной конференции «Гагаринские чтения»- М.: МАТИ, 2010.- т.4, с-258(Личное участие 20%)

9. Филиппов, Р.А.Автоматизированный комплекс для виртуального микроструктурного анализа в Интернет [Текст]/ *Р.А. Филиппов* // Материалы 3 региональной научно-практической конференции молодых исследователей и специалистов «Проведение исследования по приоритетным направлениям современной науки для создания инновационных технологий» - Брянск: БГТУ, 2011. - с. 73-74(Личное участие 100%)

10. Филиппов, Р.А.Организация виртуальной лаборатории компьютерной микроскопии для технической подготовки производства[Текст]/Чмыхов Д.В., *Филиппов Р.А.* // Материалы Международной научно-практической конференции «Состояние, проблемы и перспективы автоматизации технической подготовки производства на промышленных предприятиях» - Брянск: , 2009– с. 112(Личное участие 50%)

11. Филиппов, Р.А.Разработка WEB интерфейса для удаленного управления оптическим микроскопом[Текст]/ *Филиппов Р.А.*, Малофеев А.Е.//Научные труды Международной молодежной конференции «Гагаринские чтения» - М.: МАТИ, 2012.- т.4, с-323(Личное участие 60%)

Лицензия №020381 от 24.04.97. Подписано в печать 25.04.12. Формат 60x84 1/16.
Бумага типографическая №2. Офсетная печать. Печ. л. 1. Уч. – изд. л. 1. Т. 100 экз.

Брянский государственный технический университет,
241035, г. Брянск, б-р 50-летия Октября, д.7.
Лаборатория оперативной полиграфии БГТУ, ул. Институтская, 16.