

Научно-исследовательская физическая лаборатория технического исследовательского университета XXI века

А.М. Агальцов, А.М. Афонин, В.С. Горелик, О.И. Иваненко,
В.Н. Корниенко, В.Н. Корчагин, А.Н. Морозов, К.Б. Павлов,
И.В. Савельев
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
кафедра физики

Приведены сведения об учебной научно-исследовательской лаборатории технического университета, созданной на кафедре Физики МГТУ им. Н.Э. Баумана. Описана методика обучения в лаборатории студентов младших курсов, студентов-выпускников кафедры и пользователей сети ИНТЕРНЕТ.

В 1998-2000 г.г. кафедра физики МГТУ им. Н.Э. Баумана приняла участие в разработке Федерального Проекта “Формирование Российского исследовательского университета как единого учебно-научно-практического комплекса и культурного центра XXI века на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана”.

Одной из основных задач Проекта является создание кафедральных научно-исследовательских лабораторий, как учебных центров, обеспечивающих научно-исследовательскую компоненту учебного процесса подготовки высококвалифицированных специалистов.

Для целенаправленного решения поставленной задачи кафедра Физики МГТУ им. Н.Э. Баумана сформулировала следующие требования к научно-исследовательской физической лаборатории.

Лаборатория должна иметь:

1. Оснащенность современным оборудованием, приборами, измерительной техникой.
2. Широкое использование компьютерной техники.
3. Широкий тематический спектр лабораторных работ и стендов в должном количестве для обеспечения индивидуального прохождения лабораторного практикума.
4. Высокий качественный уровень лабораторных работ, включающий:
 - наличие элементов научно-исследовательской работы студентов;
 - развитие творческого мышления;
 - высокий теоретический уровень;
 - прикладной характер исследований;
 - современные методы обработки экспериментальных данных;
 - надежность;
 - отсутствие “черных ящиков”.
5. Высокий уровень методического сопровождения лабораторного практикума.

6. Тесную связь с академическими, научно-исследовательскими и учебными организациями.
7. Участие в разработке Федеральной Программы “Создание межвузовской системы коллективного пользования уникальным оборудованием (Российская студенческая лаборатория) путем организации удаленного доступа к результатам эксперимента, так и к управлению самим экспериментальным стендом”.
8. Высококвалифицированный кадровый состав преподавателей, научных сотрудников, лаборантов.
9. Универсальность – способность организовать занятия и учебную работу:
 - студентов младших курсов;
 - студентов-выпускников кафедры;
 - аспирантов и научных работников;
 - слушателей ИПК;
 - школьников.

Остановимся более подробно на реализации ряда этих требований.

1. Научно-исследовательская работа студентов младших курсов в лаборатории НИРС

1.1. Материальная база и содержание физического практикума НИРС

Формирование инженера-исследователя - выпускника технического исследовательского университета XXI века - должно начинаться с первых лет его обучения в вузе.

И первой кафедрой, которая решает эту задачу, является кафедра Физики, прививающая студентам младших курсов навыки исследовательской работы путём организации их занятий в лабораторном практикуме.

Понимая значимость этого вида занятий, кафедра отводит на проведение лабораторных работ третью часть от общего числа часов, выделенных на изучение курса общей физики.

С целью повышения качества фундаментального образования, кафедра Физики МГТУ в последние годы перешла на принципиально новую методику проведения лабораторных занятий: каждая лабораторная работа длится четыре академических часа против двух по старой программе.

Переход на 4-х часовые работы даёт ряд преимуществ:

- работа становится более содержательной и емкой;
- осуществляется привлечение студента к проведению самостоятельных научных и экспериментальных исследований с целью более глубокого изучения физических законов и явлений, получения навыков работы с современным оборудованием и приборами, освоения методов физических измерений и обработки экспериментальных данных;
- улучшается индивидуальная работа преподавателя со студентом;

– имеет место более надёжный контроль знаний студентов.

В настоящее время физический практикум кафедры оснащён лабораторными работами 110 наименований, отвечающим этим требованиям.

Половина из имеющихся работ - оригинальные разработки кафедры, как результат внедрения в учебный процесс научно-исследовательских и научно-методических работ, проводимых преподавателями и сотрудниками кафедры. Остальные лабораторные работы созданы на базе типовых установок и оборудования, серийно выпускаемых отечественной промышленностью, в том числе РНПО РОСУЧПРИБОР.

Проведение лабораторных работ осуществляется циклами, содержание которых согласуется с лекционным материалом (физические основы механики, молекулярная физика, термодинамика, электричество и магнетизм, оптика, квантовая и ядерная физика, физика твёрдого тела).

С 1992 года параллельно с традиционным физическим практикумом технического университета на кафедре функционирует лабораторный практикум с элементами научно-исследовательской работы студентов - зал НИРС (Рисунок 1).



Рисунок 1

Цель создания зала - приобщение студентов младших курсов к изучению курса общей физики на более высоком научном и методическом уровне с использованием приборов, оборудования

и компьютерной техники современной научной физической лаборатории.

В зале НИРС размещено более 60 лабораторных работ, в которых изучаются фундаментальные законы, явления и эффекты в области механики, электромагнетизма, оптики, квантовой и ядерной физики, физики твёрдого тела.

Практикум оснащён современной компьютерной техникой и приборами. В зале установлен лазер на парах меди мощностью 10^4 Вт при работе в импульсном режиме, телескоп для регистрации космических лучей, пьезоэлектрический комплекс для изучения импульсных и ударных процессов, стенд для изучения высокотемпературной сверхпроводимости, голографическая установка, монохроматоры, осциллографы, персональные компьютеры и другое оборудование.

Назовём ряд оригинальных работ, созданных на базе этого оборудования:

- Пьезоэлектрический эффект для диагностики динамической нагрузки.
- Контроль качества изделий с помощью акустических волн.
- Исследование газоразрядной плазмы методом зондов.
- Практические применения голографии.
- Исследование высокотемпературной сверхпроводимости.
- Изучение свойств космических лучей.
- Оптические квантовые генераторы.
- Изучение фотопроводимости полупроводников. Определение КПД солнечного элемента.
- Радиоспектроскопия ядерного магнитного резонанса.
- Изучение скин-эффекта.
- Гальваномагнитные явления в полупроводниках. Эффект Холла.
- Голографическое преобразование волновых фронтов.
- Изучение законов теплового излучения. Экспериментальное исследование экспериментальной функции Кирхгофа.
- Исследование ударных и волновых процессов с помощью пьезоэлектрических преобразователей.
- Определение точки Кюри ферромагнетиков.

Лабораторные работы в зале НИРС отличаются от стандартных лабораторных работ, выполняемых в большинстве технических вузов страны тем, что они позволяют не только ознакомиться с тем или иным физическим явлением, а дают возможность определить зависимость этого явления от совокупности различных факторов, влияющих на характер и динамику развития физического процесса. Особое внимание уделено прикладному характеру содержания лабораторных работ, что важно для будущего выпускника технического университета.

Так, при выполнении лабораторной работы “Исследование ударных и волновых процессов с помощью пьезопреобразователей” студенты знакомятся с динамическим методом тарировки пьезопреобразователя, исследуют влияние на параметры ударной нагрузки относительной

скорости тел, их формы, размеров, прочностных свойств, определяют вид силовой характеристики при ударе тел, исследуют процесс распространения и затухания упругих волн в стержнях из разных материалов.

При выполнении работы “Изучение фотопроводимости полупроводников” студенты осуществляют градуировку монохроматора источником света с известным спектральным составом, снимают вольт-амперные характеристики фоторезистора, получают его световую и спектральные характеристики, определяют ширину запрещённой зоны полупроводника и красную границу внутреннего фотоэффекта.

Более подробные сведения об объёме и содержании лабораторных работ, установленных в зале НИРС, можно получить из аннотационного альбома, созданного на кафедре [1].

1.2. Компьютерное моделирование физических процессов

С учётом тенденции широкого внедрения в науку и производство электронно-вычислительных машин на кафедре Физики проводятся работы по внедрению в учебный процесс компьютерной техники.

Они идут в двух направлениях:

1. Использование персональных компьютеров для обработки результатов эксперимента.
2. Создание лабораторных работ по компьютерному моделированию физических процессов.

Наряду с работой на “живых” экспериментальных установках, студенту предлагается выполнить “компьютерную” работу из списка, приведённого ниже:

ЭВМ-1. Компьютерное моделирование физических процессов в оптическом квантовом усилителе лазера.

ЭВМ-2. Компьютерный эксперимент по исследованию интерференции и дифракции света.

ЭВМ-3. Рассеяние альфа-частиц на потенциальном центре (опыт Резерфорда).

ЭВМ-4. Моделирование задач одномерного рассеяния квантовых частиц на потенциальном барьере сложной формы.

ЭВМ-5. Моделирование одномерного волнового пакета в квантовой механике на персональном компьютере.

ЭВМ-6. Компьютерное моделирование процессов в ядерных взаимодействиях элементарных частиц высокой энергии.

1.3. Методика проведения лабораторных работ в зале НИРС

В настоящее время, зал НИРС в силу объективных причин, не может “пропустить” всех студентов младших курсов, обучающихся в МГТУ (максимальная “пропускная способность” зала составляет до 200 студентов в семестр). Поэтому набор студентов в зал НИРС идёт на

конкурсной основе: для обучения в первую очередь приглашаются наиболее успевающие студенты. Из набранных со всех факультетов и специальностей МГТУ студентов формируются группы по 6-8 человек.

Занятия в группе из 6-8 человек ведут преподаватель кафедры и инженер-лаборант в часы, отводимые студентам учебным расписанием.

Каждый студент работает за отдельной лабораторной установкой.

Продолжительность занятия четыре академических часа с периодичностью раз в две недели.

Наличие в зале НИРС большого количества лабораторных работ на различные темы даёт студенту право выбора работ с учётом его наклонностей и специфики обучения на профилирующем факультете и кафедре. То есть студент сам устанавливает себе индивидуальный график прохождения лабораторного практикума.

Студент обязан предварительно подготовиться к очередной лабораторной работе, проработав и законспектировав методические указания, которыми он заблаговременно обеспечивается.

Студент допускается к выполнению работы после собеседования с преподавателем и соответствующего инструктажа на рабочем месте.

После выполнения исследований, рекомендованных в методических указаниях к лабораторной работе, студенту по его желанию предлагается дополнительная задача для самостоятельного решения [1]. Студент должен составить план и схему постановки эксперимента и, согласовав их с преподавателем или инженером, провести исследования.

Отчёт студента о выполненной им работе преподаватель принимает либо в конце занятия, либо, если необходима домашняя доработка отчёта, на следующем занятии.

Подводя итог, можно сделать вывод, что работа студентов в зале НИРС строится так, что она содержит все необходимые компоненты научно-исследовательской работы: многопараметрические измерения, современные методы обработки результатов измерений, планирование эксперимента, проведение самостоятельных исследований наряду с задачами и исследованиями, рекомендуемыми в методических указаниях к лабораторной работе.

Таким образом, в зале НИРС созданы условия для выполнения студентами их первых научных исследований, более глубокого изучения курса физики.

2. Лабораторный практикум выпускающей кафедры физики

Наличие на кафедре Физики большого количества лабораторных работ по всем разделам курса физики дает возможность организовать в соответствии с учебным планом лабораторный практикум для студентов – выпускников кафедры.

Лабораторные занятия и научные исследования студентов-выпускников кафедры

реализуются по следующим направлениям:

1. Проведение аудиторных лабораторных занятий в зале НИРС в требуемом объеме учебного плана.
2. Проведение самостоятельных экспериментальных исследований на темы, предлагаемые в зале НИРС.
3. Моделирование физических процессов на персональном компьютере.
4. Участие студентов в разработке и создании новых лабораторных работ.
5. Проведение экспериментальных исследований, связанных с выполнением курсовых и дипломных проектов.

На 1-2 курсах студенты – выпускники кафедры проходят через общефизический практикум с набором лабораторных работ и методикой обучения, изложенных в параграфе 1.

На старших курсах выполняются **комплексные** научно-исследовательские лабораторные работы, коррелирующие с темами курсовых и дипломных проектов.

Комплексная работа предназначена для **всестороннего** экспериментального изучения физического эффекта или явления, специализации студента в выбранном физическом направлении.

Комплексная работа состоит из цикла лабораторных работ, объединенных единым тематическим содержанием, более глубоко раскрывающего научный и прикладной характер изучаемого явления.

Например, комплексная работа “Пьезоэлектрический эффект” включает следующие лабораторные работы:

1. Пьезоэлектрический эффект для диагностики динамической нагрузки.
2. Исследование ударных и волновых процессов с помощью пьезоэлектрических преобразователей.
3. Определение параметров уравнения состояния жидкости и скорости звука в ней с помощью пьезоэлектрических датчиков.
4. Контроль качества многослойных изделий с помощью акустических волн, возбуждаемых пьезоэлектрическими преобразователями.

Комплексная работа “Электромагнитная индукция” состоит из следующих работ:

1. Электромагнитная индукция.
2. Использование явления электромагнитной индукции для измерения малых перемещений и изучения неоднородного магнитного поля.
3. Использование явления электромагнитной индукции для определения температуры Кюри ферромагнетиков.
4. Изучение скин-эффекта с помощью индукционных датчиков.

В настоящее время в физическом практикуме выпускающей кафедры имеется 11

комплексных работ на темы: пьезоэлектрический эффект, тепловое излучение, электромагнитная индукция, лазеры, голография, электромагнитные колебания, дифракционные и интерференционные явления, поляризация, внешний и внутренний фотоэффекты, полупроводники и р-п переходы, ядерная физика.

3. Лабораторный практикум удаленного доступа – фрагмент Российской студенческой лаборатории

Появление и интенсивное развитие в конце XX века новых информационных технологий, резко возросший объем дисциплин, которые необходимо усваивать в процессе обучения и воспитания, делают необходимым поиск и внедрение качественно новых, нетрадиционных форм и методов образования.

На международном симпозиуме “Инженерная педагогика – 98” отмечено, что на рубеже третьего тысячелетия имеет место устойчивая тенденция создания с помощью сети ИНТЕРНЕТ единой всемирной системы образования, в рамках которой роль инженера будет с каждым годом возрастать.

В интервью, опубликованном в “Независимой газете” за ноябрь 1999 г., на вопрос “Как обстоят дела с дистанционным образованием?” Министр Образования РФ В. Филиппов ответил:

“Мировым сообществом признано, что есть определённый кризис в организации и реализации высшего образования почти во всех развитых странах мира. Сегодня наступил совершенно новый этап в развитии информационных технологий, который, безусловно, внесёт резкие изменения в уклад нашей жизни и, соответственно, в образовательный процесс. Во всём мире реализуется информационные технологии образования: студент спокойно может вызвать из банка данных компьютера любые лекции. Кроме того, уже создаются адаптированные компьютерные программы, можно сидеть дома, читать лекцию и самому себе задавать вопросы. Многие университеты мира с помощью ИНТЕРНЕТА предлагают студентам блоки информации, то есть часть дисциплин из одного вуза, часть из другого, а если к тому же между вузами заключены соответствующие соглашения, то можно получить сразу несколько дипломов. У нас сейчас студентов, занимающихся таким образом, более 100 тысяч, а в ближайшие годы будет около 500-600 тысяч. МЫ НЕ ДОЛЖНЫ ПРОСПАТЬ ОЧЕРЕДНУЮ РЕВОЛЮЦИЮ В МЕТОДАХ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ.”

С учётом этой тенденции в стране разрабатывается Федеральный Проект “Создание межвузовской системы коллективного пользования уникальным оборудованием (Российская студенческая лаборатория) путём организации удалённого доступа как к результатам эксперимента, так и к управлению самим экспериментальным стендом”. В рамках этого Проекта на кафедре Физики МГТУ им. Н.Э. Баумана ведётся работа по созданию лабораторного практикума

удаленного доступа – фрагмента Российской студенческой лаборатории.

Цель работы – дать возможность студентам различных регионов России и зарубежных стран через сеть ИНТЕРНЕТ участвовать в проведении учебных и научных исследований с использованием уникального научного оборудования, установленного на кафедре Физики МГТУ.

В настоящее время в лабораторном практикуме удаленного доступа размещены следующие лабораторные стенды:

3.1. Автоматизированный лабораторный стенд для изучения ударных и волновых процессов с помощью пьезопреобразователей



Рисунок 2.

Стенд предназначен для изучения ударных и волновых процессов, возникающих в результате соударения твердых тел. Он укомплектован ударниками и преградами, изготовленными из различных материалов и имеющими разные форму, размеры и массу. Скорость ударников изменяется путем их отклонения на разные углы от преграды с помощью электромагнитов. Смена преград осуществляется автоматическим поворотом стола, на котором они расположены.

В ударниках размещены пьезоэлектрические преобразователи. Электрическое напряжение,

вырабатываемое пьезопреобразователем и пропорциональное силе, действующей на ударник в процессе удара, подается либо на осциллограф, либо с помощью аналого-цифрового преобразователя трансформируется в цифровой код передаваемый в компьютер.

В теоретической части методического сопровождения лабораторного стенда рассмотрены физические явления, происходящие при ударе двух твердых тел. Дан вывод основного уравнения удара. Решена задача о взаимодействии упругого шара с абсолютно жесткой стенкой. Приведены сведения о пьезоэлектрическом методе регистрации ударных нагрузок.

Экспериментальная часть работы состоит из следующих заданий:

1. Определение чувствительности пьезоэлектрического преобразователя ударным методом.
2. Исследование влияния на параметры ударной нагрузки относительной скорости тел, их формы, размеров, прочностных свойств.
3. Определение параметров силовой характеристики при ударе тел.
4. Измерение скорости упругих продольных волн в стержнях.
5. Исследование процесса затухания волн в стержнях.

3.2. Автоматизированный лабораторный стенд для изучения состава космических лучей



Рисунок 3.

Стенд предназначен для изучения состава, свойств и проникающей способности вторичного космического излучения, определения относительной интенсивности жесткой и мягкой компонент космических лучей (КЛ) и их коэффициентов поглощения.

Стенд состоит из телескопа космических лучей со сцинтилляционными детекторами, схемы совпадений, частотомера, блоков питания и управляющего ПК.

В теоретической части методического сопровождения лабораторного стенда приведены

сведения о первичном и вторичном космических излучениях : галактических космических лучах, солнечном космическом излучении, заряженных частицах радиационных поясов Земли, “мягкой” и “жесткой” компонентах КЛ, их угловом распределении. Обсуждаются физические основы работы детекторов КЛ.

Экспериментальная часть работы состоит из следующих заданий:

1. Измерение полного потока космических лучей.
2. Исследование поглощения КЛ в свинце.
3. Измерение скорости счета случайных совпадений.
4. Разделение “мягкой” и “жесткой” компонентах КЛ и определение коэффициентов поглощения.

3.3. Автоматизированный лабораторный стенд для изучения скин – эффекта

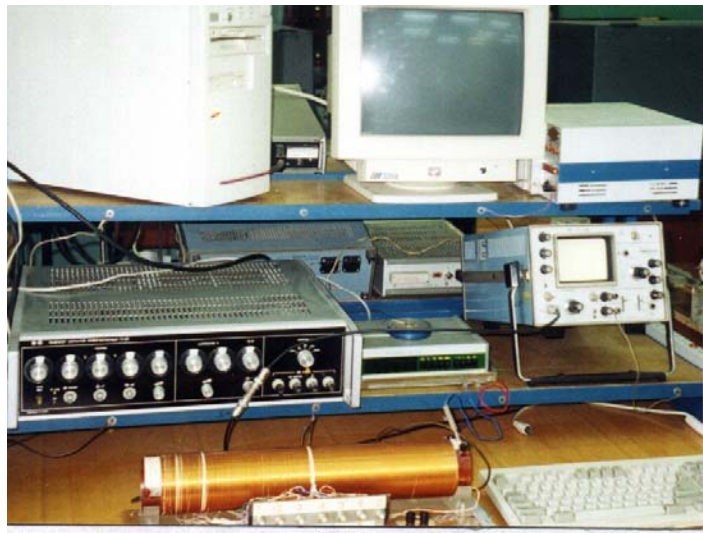


Рисунок 4.

Стенд предназначен для изучения скин-эффекта в проводящей среде в различных диапазонах частот, и экспериментальной проверки теории эффекта.

Он включает в себя длинный соленоид, обмотка которого подключен к выходу генератора гармонических сигналов. Внутри соленоида установлены два свинцовых цилиндра между которыми размещена тонкая измерительная катушка. Катушка представляет собой систему семи концентрических обмоток из тонкого провода. По величине ЭДС, возникающей в каждой из

обмоток, можно судить о распределении магнитного поля по сечению свинцового цилиндра.

В теоретической части методических указаний к лабораторному стенду изложены физические принципы, лежащие в основе этого явления. Приведено теоретическое решение задачи о проникновении переменного магнитного поля в глубь цилиндрического проводника. Определено понятие эффективной глубины скин-слоя. Рассмотрено влияние скин-эффекта на сопротивление и индуктивность проводников.

В экспериментальной части указаний изложена методика проведения исследований на установке. Дан вывод выражения для расчета эффективной глубины скин-слоя по результатам измерения ЭДС в обмотках измерительной катушки.

Исследовательская часть состоит из следующих заданий:

1. Изучение проникновения магнитного поля в проводник на малых частотах (до 100 Гц).
2. Изучение проникновения магнитного поля в проводник в диапазоне частот от 100 до 3000 Гц.
3. Исследование зависимости глубины скин-слоя от частоты переменного магнитного поля и сравнение с теоретическими оценками этой величины.

3.4. Автоматизированный лабораторный стенд лазерной спектроскопии



Рисунок 5.

Стенд является учебной версией аналогичного научного стенда, установленного в

Оптическом отделе им. Г.С. Ландсберга Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук. Стенд создан в результате тесного сотрудничества кафедры Физики МГТУ им. Н.Э. Баумана и Оптического отдела ФИАН.

Стенд предназначен для изучения принципа действия и свойств современных оптических квантовых генераторов, явления комбинационного рассеяния света, нелинейных оптических эффектов.

Стенд содержит: лазер на парах меди “Фемта” с мощностью излучения в импульсном режиме 10^4 Вт, монохроматора, нелинейно-оптического преобразователя частоты, шагового двигателя для поворота дифракционной решетки монохроматора, компьютера, осуществляющего управление монохроматором, регистрацию и обработку спектров излучения.

Экспериментальная часть работы состоит из следующих заданий:

1. Измерение спектрального состава и мощности излучения лазера “Фемта”.
2. Измерение частоты стоксовых и антистоксовых компонент спектральных линий и их относительных интенсивностей.
3. Регистрация излучения с удвоенной частотой при возбуждении нелинейных кристаллов.

Использование лазера на парах меди и нелинейно-оптических кристаллов позволяет возбуждать спектры люминесценции и комбинационного рассеяния света в ультрафиолетовом диапазоне спектра (до 255,3 нм) в твердых, жидких и газообразных средах.

Этот спектральный диапазон сравнительно мало изучен, поэтому проведение экспериментальных работ на стенде представляет не только учебный, но и научный интерес.

Посетив Российскую студенческую лабораторию кафедры Физики МГТУ, пользователь сети ИНТЕРНЕТ изучает электронную версию выбранной лабораторной работы. Электронная версия включает теоретическую часть, экспериментальную часть, контрольные вопросы и литературные источники.

В теоретической части излагаются основы изучаемого физического явления, приводится вывод расчетных формул и зависимостей.

В экспериментальной части излагается порядок проведения исследований и методика обработки полученных экспериментальных данных.

После проведения экспериментов, их обработки и анализа пользователь сети ИНТЕРНЕТ отвечает на контрольные вопросы, за которые ему начисляются рейтинговые баллы.

Выводы по работе

На кафедре Физики МГТУ им. Н.Э. Баумана, по нашему мнению, создана учебная научно-исследовательская лаборатория технического университета. Лаборатория оснащена современным научным оборудованием, приборами, измерительной и компьютерной техникой.

Широкий тематический спектр лабораторных работ и стендов с исследовательской частью обеспечивает индивидуальное качественное обучение студентов младших курсов, студентов-выпускников кафедры, слушателей Института повышения квалификации (учителей физики) и пользователей сети ИНТЕРНЕТ.

Полагаем, что разработки, выполненные на кафедре Физики МГТУ им. Н.Э. Баумана, будут полезны для других технических вузов, работающих в направлении совершенствования и развития лабораторного практикума.

Литература

1. *Корчагин В.Н., Павлов К.Б.* Лабораторный практикум по физике с элементами научно-исследовательской работы студентов (НИРС). Аннотационный альбом: Учебное пособие для студентов вузов / Под. ред. В.Н. Корчагина.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
2. *Афонин А.М., Горелик В.С., Корниенко В.Н., Корчагин В.Н., Морозов А.Н., Савельев И.В.* Распределенная физическая лаборатория удаленного доступа МГТУ им. Н.Э. Баумана. Международная научно- методическая конференция “Телематика 2000” (29 мая – 1 июня 2000 г., Санкт-Петербург) Тезисы докладов, С. 174-175.