

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПРАВИТЕЛЬСТВО НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**МАТЕРИАЛЫ  
54-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**МНСК–2016**

**16–20 апреля 2016 г.**

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНИКА  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

Новосибирск  
2016

УДК 53  
ББК 22.3+32

Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2016: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2016. 43 стр.

ISBN 978-5-4437-0491-3

Конференция проводится при поддержке Сибирского отделения Российской академии наук, Правительства Новосибирской области, инновационных компаний России и мира, Ассоциации выпускников «СОЮЗ НГУ».

**Научный руководитель секции –**  
д-р техн. наук, проф. Аульченко В. М.

**Председатель секции –**  
канд. физ.-мат. наук, доцент Логашенко И. Б.

**Ответственный секретарь секции –**  
канд. техн. наук, доцент. Жуланов В. В.

**Экспертный совет секции:**  
канд. техн. наук. Фатькин Г. А.  
канд. техн. наук, доцент Козырев Е. В.  
канд. техн. наук, доцент Лысаков К. Ф.  
доцент Шадрин М. Ю.

ISBN 978-5-4437-0491-3

© Новосибирский государственный  
университет, 2016

**NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY  
SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
NOVOSIBIRSK OBLAST GOVERNMENT**

**PROCEEDINGS  
OF THE 54th INTERNATIONAL STUDENTS  
SCIENTIFIC CONFERENCE**

**ISSC-2016**

**April, 16–20, 2016**

**INSTRUMENTAL METHODS AND TECHNOLOGIES  
OF EXPERIMENTAL PHYSICS**

**Novosibirsk, Russian Federation  
2016**

Proceedings of the 54<sup>th</sup> International Students Scientific Conference.  
Instrumental methods and technologies of experimental physics/ Novosibirsk  
State University. Novosibirsk, Russian Federation. 2016. 43 pp.

ISBN 978-5-4437-0491-3

The conference is held with the significant support of Siberian Branch of  
Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Oblast Government, innovative  
companies of Russia, NSU Alumni Union.

**Section scientific supervisor** – Dr. Tech., Prof. Aulchenko V. M.

**Section head** – Cand. Phys. Math., Assoc. Prof. Logashenko I. B.

**Responsible secretary** – Cand. Tech., Assoc. Prof. Zhulanov V. V.

**Section scientific committee:**

Cand. Tech. Fatkin G. A.  
Cand. Tech., Assoc. Prof. Kozyrev E. V.  
Cand. Tech., Assoc. Prof. Lysakov K. F.  
Assoc. Prof. Shadrin M. Yu.

# РАДИОФИЗИКА И УСКОРИТЕЛИ

УДК 53.06

## Методика расчета конфигурации магнитного поля для транспортировки электронного пучка

Асмедьянов Н. Р.

Новосибирский государственный университет

Цель данной работы: произвести перерасчет системы питания и магнитного поля транспортирующей обмотки стенда по испытаниям материалов установки ГОЛ-3 по средствам программ Visual Studio и MathCAD по методике независимой от популярной в ИЯФ SAM, проверив результаты путем анализа осциллограмм процессов в транспортирующей обмотке и магнитных датчиках.

Из закона Кирхгофа была получена точная зависимость тока в обмотке от времени, подтвержденная осциллограммой:

$$I = U_0 C \left( \omega + \frac{\beta^2}{\omega} \right) \exp(-\beta t) \sin(\omega t), \quad (1)$$

где  $U_0$  — начальное напряжение на питающих конденсаторах,  $C$  — их емкость,  $\omega$  — резонансная частота,  $\beta$  — декремент затухания.

Разработана программа Utilit3 для аппроксимации осциллограмм последовательного колебательного контура по (1).

Рассчитанная конфигурация амплитуды магнитного поля соответствует показаниям индуктивных датчиков с точностью до 10%. Используя ряд округлений, можно записать конфигурацию поля на оси как сумму полей каждого витка вблизи их центральных осей:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

где  $I$  – ток в обмотке,  $R$  – радиус витка,  $z$  – координата исследуемой точки по оси системы.

Так же была получена досканальная формула составляющих вектора магнитной индукции во всех точках пространства с построением графиков, с чем можно ознакомиться в более полной версии работы.

Сравнение графика амплитуды поля рассчитанной в MathCAD по закону Био-Савара с аналогичным графиком, полученным в SAM, показывает заметное расхождение результатов, вызванное разницей в округлении значений.

Погрешность в 10% вызвана усреднением параметров поля по объему индуктивного датчика.

Научный руководитель – Трунев Ю. А.

**Оптическая диагностика пучка на инжекционном комплексе ВЭПП-5**

Балакин В. В.

Новосибирский государственный университет

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Крайне важно, при работе на ускорительном комплексе, знать параметры пучка, с которым вы работаете. Это необходимо для более точной настройки ускорителя и получения необходимых параметров сгустка.

Основная цель ИК ВЭПП5 – это поставка электронного и позитронного пучка для работающих коллайдеров ИЯФ: ВЭПП – 2000 и ВЭПП – 4. Поэтому первостепенная задача комплекса – хороший захват пучка при инжекции с минимальными потерями и точный выпуск в транспортный канал.

Цель работы – это изучение захвата сгустка, его потерь при этом и смещения от равновесной орбиты, исследование внутренней структуры пучка и распределения плотности заряда в нем. Вся диагностика базируется на синхротронном излучении (СИ).

На данном этапе работы, используя ФЭУ, удалось пронаблюдать захват сгустка, и зафиксировать его потери на уровне 60% при охлаждении в накопителе. Для наблюдения смещений положения пучка планируется, помимо ФЭУ, использовать оптоволоконную линейку, которая будет чувствительна к отклонениям от равновесной орбиты. Такая система поможет не только отслеживать уровень потерь, но и положение сгустка.

Изучение временной структуры пучка будет проводиться с помощью разработанного в ИЯФе прибора – диссектора. Он позволит наблюдать временную структуру импульса СИ, который в свою очередь повторяет продольное распределение плотности сгустка. Стоит отметить, что данный прибор имеет высокое временное разрешение, которое позволит нам наблюдать эволюцию процесса охлаждения, от момента инжекции в накопительное кольцо и до момента выпуска в транспортный канал. Кроме того, диссектор позволяет наблюдать неустойчивости пучка и его фазовые колебания.

Таким образом, данная система повысит эффективность комплекса ВЭПП5, так как точное отслеживание процессов при инжекции, накоплении, охлаждении и выпуске пучка позволит квалифицированно управлять параметрами системы накопителя – охладителя.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Старостенко А. А.

**Монитор состояния локального контроллера СУ ЛИУ-20**

Балуев А. О.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск,  
Новосибирский государственный университет

Рентгенографический комплекс на базе линейно индукционного ускорителя (ЛИУ), управляется 40 локальными контроллерами (ЛК), разнесенными вдоль ускоряющей структуры длиной порядка 200 метров. Локальный контроллер представляет собой VME крейт с набором контрольно-измерительных модулей. Для обеспечения надежной работы комплекса необходима разработка системы мониторинга ЛК. Система должна обеспечить: регистрацию пульсаций и отклонений от номинала напряжения линий питания (3.3В, 5В, 12В, -12В); определение состояния сетевого напряжения; регистрацию температуры крейта. В функции разрабатываемого монитора также входит информирование оператора о нештатной ситуации и удаленное управление питанием ЛК.

Представленные на рынке решения имеют высокую стоимость, базируются на сетевой инфраструктуре, требующей дополнительного оборудования и большого количества линий.

В качестве сетевой топологии системы выбрана общая шина с использованием стандарта Controller Area Network (CAN). Сеть мониторов обеспечена автономным питанием, которое подается по одному кабелю с линиями CAN.

Устройство выполнено в виде печатной платы, размещенной внутри крейта. Дополнительная плата обеспечивает индикацию состояния на передней панели. Решение основано на микроконтроллере AT89C51CC01 в состав которого входят: контроллер CAN сети стандарта ISO11898; две линии прерывания; 10 битный АЦП с 8-ю мультиплексированными каналами, которые используются для определения напряжения линий питания и аналоговых термометров. Регистрацию пульсаций напряжения указанных линий осуществляет амплитудный дискриминатор, реализованный на компараторах LMx93-N. Сигналы фиксируются в RS триггерах, возбуждая вызов обработчика прерывания МК, который считывает состояние во внутреннюю память и сбрасывает триггер. В зависимости от конфигурации, программа МК выводит статус на переднюю панель крейта и информирует операторскую программу.

Изготовленный прототип проходит тестирование в рабочих условиях. Продолжается разработка программы для микроконтроллера и окна оператора.

Научный руководитель – канд. техн. наук Фаткин Г. А.

**Измерения продольного импеданса коллайдера ВЭПП-4М**

Борин В. М.

Новосибирский государственный университет  
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Пучок заряженных частиц, движущихся внутри вакуумной камеры циклического ускорителя, возбуждает в стенках камеры токи. Создаваемые этими токами поля, в свою очередь, действуют на частицы пучка. Такое взаимодействие пучка с вакуумной камерой ведет к потерям энергии пучка, изменениям формы сгустков и может быть причиной различных неустойчивостей продольного движения. «Гладкость» вакуумной камеры характеризуют величиной, называемой продольный импеданс. Таким образом, важность проблемы устойчивости пучка делает задачу измерения продольного импеданса значимой.

Взаимодействие частиц пучка с самовозбужденным магнитным полем следа в вакуумной камере приводит, начиная с некоторого порогового значения тока сгустка, к его турбулентному удлинению. Зависимость длины сгустка от тока должна быть пропорциональна току сгустка в степени  $1/3$ . Определяя зависимость длины сгустка от тока можно найти величину продольного импеданса.

В работе представлены результаты измерений зависимости продольного размера пучка в коллайдере ВЭПП-4М от его тока. Для этого при помощи диссектора и стрик камеры регистрировалась длительность вспышки синхротронного излучения сгустка, длительность которой совпадает со временем пролета пучка через точку наблюдения и повторяет его продольную структуру. Проведен сравнительный анализ полученных данных и вычислен продольный импеданс коллайдера ВЭПП-4М

Научный руководитель – д-р. физ.-мат. наук Мешков О. И.



## **Нелинейная динамика в бустерном кольце БЭП ускорительного комплекса ВЭПП-2000**

Бочек Д. В.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

На завершающей стадии модернизации ВЭПП-2000, актуальными являются вопросы, касающиеся изучения эффектов, вызывающих нелинейную динамику в бустере электронов и позитронов – БЭП.

Важной характеристикой любого накопительного кольца является зона устойчивого движения частиц – динамическая апертура (ДА). Уменьшение ДА приводит к ухудшению захвата частиц и сокращению времени жизни пучков. Источниками уменьшения ДА служат нелинейные элементы, в первую очередь секступоли, которые используются для подавления хроматизма бетатронных частот.

Данная работа посвящена изучению влияния источников нелинейности в БЭП на динамику частиц, методом расчета ДА. Для расчета в данной работе использовалась программа MADX, разработанная в CERN, в которой осуществлялся многооборотный трекинг массива частиц с различными начальными амплитудами.

Помимо секступолей в кольце БЭП существуют дополнительные источники нелинейности, одним из которых является впускной импульсный магнит. Поле магнита не полностью экранируется и проникает в кольцо. Для оценки воздействия такого эффекта на динамику пучка было экспериментально измерено распределение поля в вакуумной камере вблизи магнита, далее была рассчитана ДА кольца с дополнительным мультиполем в структуре. Несмотря на сильную нелинейность этого распределения, ДА уменьшается незначительно.

Также было изучено влияние на ДА мультипольного разложения квадрупольных линз, которое было экспериментально измерено для каждой линзы с шагом по току в 1 кА, усреднено по всем линзам и добавлено в структуру БЭП. Оказалось, компоненты разложения поля линз гораздо заметнее ограничивают ДА, чем проникающее поле впускного магнита.

Следующим этапом этой работы был выбор рабочей точки на пространстве бетатронных частот, методом выбора наибольшей ДА.

Научный руководитель канд. физ.-мат. наук Шварц Д. Б.

## **Черенковский датчик поперечного распределения частиц пучка на основе кварцевого волокна**

Ворошилов Д. А.

Новосибирский государственный технический университет

Важной задачей диагностики пучков заряженных частиц в ускорителях является измерение поперечного распределения частиц в широком динамическом диапазоне. Эта информация, зачастую, необходима для контроля за состоянием вспомогательных систем ускорительного комплекса, например, детекторов элементарных частиц.

Принцип действия датчика, предложенного для измерения поперечного распределения частиц в пучке, основан на эффекте Вавилова-Черенкова. В вакуумной камере ускорителя перпендикулярно орбите пучка передвигается отрезок кварцевого световода. Попадающие в световод релятивистские частицы испускают свет, который выходит через торцы оптического волокна и регистрируется фотоумножителями. Измеряя интенсивность собираемого света в разных точках вакуумной камеры, можно пытаться восстановить одномерную картину поперечного распределения частиц в гало пучка. Целью данной работы было разработка системы управления для датчика нового типа и определение его практической применимости.

В ходе работы над данным проектом было сделано следующее:

- Подобраны компоненты для системы управления датчиком.
- Написано программное обеспечение для управления датчиком.
- Проведены первичные испытания работоспособности датчика с помощью радиоактивного изотопа.
- Датчик смонтирован в кольцо ускорительного комплекса ВЭПП-4М.
- Проведены первые эксперименты с ультрарелятивистскими ( $E = 1,5$  —  $1,8$  ГэВ) пучками позитронов в ускорителе и получена картина поперечного распределения гало пучка.
- Получены данные о степени влияния датчика на пучок.

На сегодняшний день прототип датчика находится в работоспособном состоянии, проводятся дальнейшие эксперименты по изучению факторов, влияющих на заселенность гало. Также решаются вопросы о способах повышения чувствительности датчика при одновременном снижении влияния на пучок.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Мешков О. И.

## Магнитная система установки электронного охлаждения для бустера NICA

Денисов А. П.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Система электронного охлаждения для бустера комплекса NICA предназначена для формирования необходимого эмитанса пучка  $^{197}\text{Au}^{32+}$ , накапливаемого в бустере, с дальнейшим ускорением ионов до энергии 600 МэВ/н. Рабочая энергия электронного пучка системы электронного охлаждения лежит в диапазоне от 3 кэВ до 60 кэВ. Охлаждение ионов осуществляется за счет совмещения холодного электронного пучка с пучком ионов. Траектория движения электронов, а также температура электронного пучка определяются конфигурацией магнитных полей, создаваемых элементами магнитной системы установки электронного охлаждения.

В результате первых измерений магнитной системы на установке электронного охлаждения были определены поля вдоль всей траектории движения электронного пучка, а также на участке совмещения ионного и электронного пучков. Исходя из расчета движения пучка ионов в секции охлаждения, была выбрана конфигурация полей магнитной системы, позволяющая согласовать входные и выходные параметры ионного пучка.

Для обеспечения минимальной температуры электронного пучка в секции охлаждения силовые линии магнитного поля должны быть спрямлены до уровня  $V_t/V_1 \sim 10^{-5}$ . Спрявление силовых линий производилось в несколько этапов с последовательными измерениями магнитного поля при помощи компаса, обеспечивающим точность измерения магнитного поля до  $V_t/V_1 \sim 10^{-6}$ , и последующими коррекциями катушек соленоида, создающего продольное магнитное поле.

По результатам магнитных измерений был сделан вывод о влиянии соседних магнитных элементов друг на друга, а также о влиянии остаточных магнитных полей. Была предложена методика улучшения повторяемости измерений, а также был предложен и реализован метод компенсации остаточных магнитных полей.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук,  
чл.-корр. РАН Пархомчук В. В.

## **Импульсный метод измерения магнитных полей в вигглерах и ондуляторах на основе проволоочки с током**

Каноник П. В.

Новосибирский государственный университет

На сегодняшний день Институт ядерной физики активно занимается созданием и разработкой устройств для генерации синхротронного излучения. Одной из основных компонент источников СИ являются вигглер или ондулятор. Данные установки являются многополюсными устройствами со знакопеременным полем вдоль орбиты пучка. Траектория движение внутри них устроена таким образом, чтобы, когда пучок пролетал через магнитные промежутки, генерировалось синхротронное излучение и складывалось от каждого из них.

В мире такие устройства являются очень востребованными и важными инструментами для фундаментальных исследований. Ондуляторы используют для получения большие интенсивности в узких спектральных диапазонах (например, дифракционные исследования). На излучении из вигглера можно осуществлять перестройку энергии с помощью монохроматоров, что позволяет проводить сканирование по энергии. Данное свойство активно используется в методиках спектроскопии поглощения (XAFS-спектроскопии).

Важно сказать, что качество поля, производительность и другие важные характеристики излучения вигглеров и ондуляторов в решающей степени зависит от структуры полей в самом устройстве. Например, в ондуляторе любое отклонение в траектории пучка от идеальной синусоидальной траектории производит фазовую ошибку, которая приводит к сокращению в яркости. В случае лазеров на свободных электронах, это приводит к снижению лазерного усиления, что ухудшает эксплуатационные характеристики устройства. Поэтому важно иметь методики и системы по настройки таких устройств.

Работа посвящена импульсному методу измерения магнитных полей при помощи проволоочки с током. На данный момент в мире этот метод не является новым, однако в Институте ядерной физике им пока еще никто не занимался. Целью работы, было создание прибора для измерений таким методом. Собран прибор, получены качественные картины измерений и изучена дисперсионная зависимость проволоочки, необходимая для измерений.

Научный руководитель – Зорин А. В.

**Модернизация программно-аппаратного комплекса  
высоковольтной системы питания для перспективных  
установок электронного охлаждения**

Люлин А. В.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики активно ведутся работы по созданию систем электронного охлаждения. Немаловажную роль в данных системах играет ускорительная колонна, состоящая из управляющих секций, связанных между собой с помощью беспроводной связи ZigBee.

В случае возникновения различного рода программных ошибок, или при необходимости модернизации внутреннего программного обеспечения (ПО) управляющей секции, нужно производить полный демонтаж колонны для того, чтобы обновить ПО на каждой секции вручную. Чтобы упростить данную процедуру, было решено реализовать алгоритм обновления программы с помощью существующего канала радиосвязи, что является основной целью представленной работы.

В ходе данной работы, с помощью среды программирования Code Composer Studio, был реализован алгоритм принятия посылки с обновленным ПО и последующей его записью во флэш память микроконтроллера. Полученная программа учитывает различные виды ошибок, связанных с возможным обрывом связи, отправкой неверных посылок, искажением данных во время передачи. Помимо этого, с помощью среды разработки LabWindows, была произведена модернизация серверной части, ответственной за правильное формирование и отправку посылок с внешнего терминала в управляющую секцию ускорительной колонны. Для проверки работоспособности данных алгоритмов было проведено несколько тестов, направленных на выявление различных ошибок, связанных с правильностью записи обновленного ПО. По итогам данных проверок, в существующие алгоритмы внесен ряд поправок.

По итогам данной работы, полученные программы корректно обновляют внутреннее программное обеспечение управляющей секции высоковольтной колонны.

Научный руководитель – Скоробогатов Д. Н.

## **Расчет, измерение и оптимизация ускоряющей структуры с параллельной связью на энергию 7 МэВ**

Мальцева М. В.

Новосибирский государственный университет

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Развитие способа СВЧ питания ускоряющих резонаторов параллельным образом к созданию ускоряющей структуры нового типа - с параллельной связью, представляющей собой набор ускоряющих резонаторов, возбуждаемых параллельно одним общим резонатором через индивидуальные отверстия связи.

Проведен расчет электродинамических характеристик резонаторов ускоряющей структуры, определены длины ускоряющих цилиндрических резонаторов. Длины первых двух резонаторов выбраны переменными, 17 и 25 мм соответственно, что необходимо для инжекции нерелятивистского пучка с энергией 50 кВ. Для достижения энергии 7 МэВ необходимо 7 регулярных ускоряющих резонаторов. Длина регулярных резонаторов выбрана 32 мм. Расчетные собственные добротности на частоте 2857 МГц (что соответствует собственной моде E010) двух коротких резонаторов составили 9000 и 11500 соответственно, регулярных резонаторов – 14000. При полученных расчетных параметрах смоделировано электромагнитное поле в ускоряющих резонаторах.

Проведен расчет параметров возбуждающего прямоугольного резонатора. В соответствии с суммарной длиной ускоряющих резонаторов длина возбуждающего резонатора выбрана равной 483 мм. Для подвода мощности в ускоряющие резонаторы выбрана мода H109. Для настройки собственной частоты возбуждающего резонатора на этой моде на нижнюю стенку резонатора помещаются реактивные штыри. Проведен расчет высоты реактивных штырей для подстройки частоты.

С учетом полученной конфигурации электромагнитных полей проведен расчет динамики частиц. Как следует из динамики, частицы должны набрать энергию около 8 МэВ при подведенной мощности в ускоряющие резонаторы 4 МВт.

В соответствии с расчетами ускоряющая структура изготовлена. Параметры ускоряющих резонаторов измерены и оптимизированы для рабочей частоты на моде E010. Параметры возбуждающего резонатора также измерены и настроены на рабочую частоту на моде H109 вариацией высоты реактивных штырей.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Левичев А. Е.

## Блок измерения импульсных параметров - FADC

Морсин А. А.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН проектируется комплекс ЛИУ-20 (Линейный индукционный ускоритель электронов), в составе которого используется импульсное питание элементов магнитной системы транспортировки пучка. Работа посвящена блоку «FADC» - специализированный четырехканальный модуль прецизионного измерения тока импульсного питания фокусирующих соленоидальных линз.

Устройство имеет следующий принцип работы: производная величины тока, измеренная непосредственно в источнике питания поясом Роговского, передается в модуль FADC, где происходит измерение сигнала аналого-цифровым преобразователем (АЦП) последовательного приближения с последующей обработкой программой сигнального микроконтроллера. АЦП находится в составе микроконтроллера ТМ4С1294 серии «Tiva C», имеет 16 мультиплексированных каналов, разрешение 12 бит, предельная частота оцифровки 2 МГц после мультиплексора. В программе микроконтроллера реализуются следующие функции: оперативная обработка сигналов тока от четырех источников питания с накоплением измерений в памяти; вычисление интеграла сигналов с нахождением максимума тока линзы; вычисление длительности импульса тока; передача данных по внешним запросам по каналу связи.

Обмен с устройством осуществляется по серийному мультиплексированному каналу промышленному стандарту связи - шина CAN. По шине может быть передана следующая информация: максимальное значение тока, время от команды «старт» до максимального значения, профиль производной тока. Также в устройстве существует возможность передачи данных и использование компьютерной сети Ethernet. Данный модуль может одновременно производить измерения с четырех независимых источников питания.

Устройство имеет следующие параметры: точность измерения интеграла величины тока не хуже чем  $5 \cdot 10^{-4}$ , полоса пропускания - 5кГц, рабочий диапазон напряжения +/- 10 Вольт, до 4 каналов измерения на одном модуле, конструктивное исполнение – еврмеханика высотой 3U и глубиной 160мм.

Научные руководители – Сингатулин Ш. Р.,  
канд. техн. наук, доцент Беликов О. В.

## **Система управления ускорителями серии ИЛУ на базе контроллера NI cRIO 9022**

Никонов Ф. С.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Уже более 40 лет в ИЯФ СО РАН разрабатываются и поставляются в промышленность импульсные линейные ускорители (ИЛУ). Ускорители типа ИЛУ предназначены для широкого применения в различных радиационно-технологических процессах в качестве мощного источника радиации и электронных пучков с высокой энергией и рассчитаны на длительную непрерывную и круглосуточную работу в промышленных условиях.

Данная работа посвящена системе управления ускорителями серии ИЛУ. В настоящее время на рынке существуют контроллеры автоматизации, которые позволяют создать автономную встраиваемую систему для управления производством и сбора данных, и обладают высоким быстродействием. На одном из таких контроллеров от National Instruments – Compact RIO 9022 разрабатывается новая система управления ускорителями ИЛУ.

Для использования данного контроллера в системе управления были разработаны плата подготовки сигнала и программное обеспечение контроллера на основе программных пакетов LabView 2014 и LabWindows CVI 2013. Данная система генерирует управляющие сигналы для импульсного источника питания (модулятора), выполняет защитные функции и автоматический сбор данных с датчиков.

Контроллер заменяет собой три блока старой системы управления: блок быстрой защиты, блок управления модулятором, control unit. Все функции данных модулей реализованы в FPGA программе контроллера.

В новой системе управления реализовано 3 уровня программ управления. Первый уровень – FPGA программа контроллера, которая выполняет все функции управления ускорителем и выполняется автономно на контроллере. Второй уровень – Real Time программа контроллера, которая служит для связи FPGA программы с ПК и тоже автономно выполняется на контроллере. Третий уровень – программа управления на ПК, которая позволяет оператору управлять контроллером и задавать параметры работы ускорителя.

Научный руководитель – Безуглов В. В.



## Численное моделирование измерительного прямоугольного многомодового резонатора

Поливанова А. С.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

При выборе того или иного материала для использования в радиоэлектронной аппаратуре необходимо знать его динамические электромагнитные характеристики (частотные зависимости комплексной диэлектрической и магнитной проницаемостей), а также значения коэффициентов отражения, прохождения и поглощения в рабочей полосе частот. Для этих целей используются разные типы измерительных ячеек: измерительные конденсаторы, коаксиальные, объёмные цилиндрические и прямоугольные резонаторы и т.д. Одной из часто встречающихся в литературе измерительных ячеек является объёмный прямоугольный резонатор [1]. Также в литературных источниках приведены формулы для расчёта электромагнитных параметров образцов материалов, которые находятся в центре прямоугольного резонатора, когда образец поочерёдно располагается в пучностях магнитного и электрического полей [2], причем объем образца много меньше объема резонатора. Это позволяет при расчете параметров материалов использовать метод малых возмущений, при котором выполняется условие:

$$\frac{\omega}{c} \times \sqrt{|\varepsilon| \times |\mu|} \times d \leq \frac{\pi}{6},$$

где  $d$  – поперечные размеры образца. Для помещения образца внутрь резонатора в центре широкой и узкой стенок сделаны небольшие круглые отверстия.

Расчетные формулы [2] являются приближёнными, так как в них предполагается, что образец находится в центре резонатора и представляет собой длинный стержень, толщина которого стремится к нулю. Поэтому при расчете присутствует погрешность математической модели. Перед данной работой была поставлена цель: разработать программу расчёта электромагнитных параметров образцов с учётом его размера и местоположения в резонаторе.

---

1. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: ЛИБРОКОМ, 2012. – 416 с.

2. Sheen J. Measurements of dielectric properties of TiO<sub>2</sub> thin films at microwave frequencies using an extended cavity perturbation technique / J. Sheen, C.Y. Li, L.W. Ji, W.L. Mao, W. Liu, C.A. Chen // Journal Mater Sci: Mater Electron. – 2010. – V. 21. – No. 8. – P. 817–821.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Доценко О. А.

## **Измерение проходной индуктивности импульсных высоковольтных конденсаторов К75-28**

Прохорова Е. С.

Новосибирский государственный университет

Емкостные накопители энергии используются в научных исследованиях и промышленности при необходимости получения импульсов напряжения или тока с мощностью больше десятков киловатт. Основным преимуществом емкостных накопителей энергии является возможность быстрого вывода энергии, то есть получения импульсов большой мощности, при высоком КПД и возможности длительного накопления энергии.

Токоведущие конструктивные элементы конденсатора, такие как обкладки и токоотводы, создают его собственную или внутреннюю индуктивность. Эта индуктивность, наряду с сопротивлением и ёмкостью конденсатора, определяет режим работы электрической цепи. В импульсных системах внутренняя индуктивность определяет длительность фронта нарастания тока и максимальную импульсную мощность, создаваемую емкостным накопителем. Именно поэтому для эффективного использования конденсаторов необходимо знать их индуктивность.

В работе исследовалась проходная индуктивность импульсных конденсаторов К75-28 с номинальной емкостью 100 мкФ и рабочим напряжением 3 кВ. Для определения проходной индуктивности с помощью генератора синусоидального напряжения перестраиваемой частоты и осциллографа измерялись амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики конденсатора. Полученные характеристики сравнивались с теоретической зависимостью, по которой, с помощью метода нелинейного регрессионного анализа определялись параметры цепи – емкость, индуктивность и внутреннее сопротивление. Измеренное значение индуктивности конденсатора К75-28 составило 108 нГн.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Полосаткин С. В.

## **Измерение параметров пучка заряженных частиц с помощью поворотных датчиков положения пучка**

Рабусов Д. В.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Прецизионная настройка всех параметров ускорителя — очень непростая задача. Для ее разрешения необходимо измерять параметры реального пучка с высокой точностью, что становится возможным при использовании системы диагностики. Эта система на любом коллайдере состоит из множества приборов. В данной работе предметом изучения является поворотный датчик положения пучка (далее пикап) и сигнал, записываемый с такого датчика.

В данной работе изучался модель-независимый анализ (model-independent analysis). Этот анализ подразумевает, что все необходимые параметры осцилляций пучка могут быть измерены с помощью записанной истории колебаний на нескольких пикапах, без использования оптической модели ускорителя.

Было проведено численное моделирование, которое включало в себя: создание матрицы истории колебаний пучка, составленной с помощью смоделированных сигналов с четырех пикапов; применение сингулярного разложения к этой матрице; изучение пространственных и временных мод, полученных при сингулярном разложении; нахождение набега фаз между датчиками и  $\beta$ -функций на каждом датчике с помощью пространственных мод; прецизионное нахождение частоты колебаний с помощью временных мод, фурье-анализа сигнала и специальных методов уточнения частоты. В ходе моделирования была установлена зависимость ошибки измерений частоты, набега фаз и  $\beta$ -функций от длины записанной истории колебаний пучка, от уровня шума в сигнале, от наличия постоянной составляющей в сигнале, от рассинхронизации датчиков.

Все изученные методы планируется применить на коллайдере ВЭПП-2000 (4 поворотных датчика положения пучка), на накопителе БЭП (4 пикапа), на накопителе-охладителе ВЭПП-5 (16 датчиков).

Научный руководитель – Роговский Ю. А.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

УДК 62-503.55+007.52+62-526

## Автоматизация коллекторной системы отопления в многоквартирном доме на базе микроконтроллера Arduino

Билалова Б. Б., Хусаинова Н. Т

Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

Данная работа направлена на повышение эффективности подачи тепла в дома и на предотвращение лишних теплопотерь. В работе предлагается двухтрубная система отопления с горизонтальной разводкой на базе установки коллекторной системы отопления (см. рис.1). С помощью данной установки каждый житель может самостоятельно устанавливать необходимую температуру в квартире или же вовсе ее выключить. Горизонтальная разводка труб с верхним распределением тепла также значительно уменьшит теплопотери и предотвратит воздушные пробки в радиаторах, тем самым обеспечивая еще и безопасность при монтировании или починке радиаторов. .



Рис.1. Структурная схема подключения коллекторной системы к радиаторам отопления. 1- горячая вода, 2 –охлажденная вода.

Система автоматизации спроектирована на базе микроконтроллера Arduino, в режиме симуляции в программной среде ISIS с помощью Arduino Uno R3, датчиками температуры LM35, сервоприводом PWM, виртуальными COM-портами. Микроконтроллер работает согласно загруженной программе, написанной на языке C++. С виртуальных портов были сняты значения температуры и выход регулирования сервопривода в Microsoft Excel (см. рис.2). Сервопривод работает по ПИД-закону.

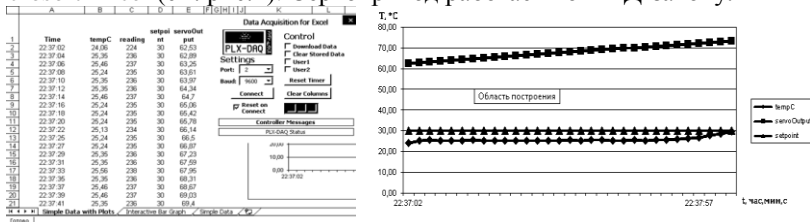


Рис.2. Данные с микроконтроллера Arduino и график регулирования сервопривода

Научный руководитель – Атамуратова К. Р.

## **Веб-приложение для графического представления измерений, храняемых в базах данных ускорительного комплекса ВЭПП-4**

Гаврилов А. С.

Новосибирский государственный университет

Сегодня реляционные базы данных используются повсеместно, в том числе и в Институте ядерной физики имени Г. И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук на ускорительно-измерительном комплексе ВЭПП-4. Все сведения о настройках и измерениях систем комплекса записываются в базу данных на основе СУБД PostgreSQL. Для доступа к хранимым данным нужен развитый графический интерфейс, работающий в режиме удалённого доступа, например, веб-приложение. Данные как текущей, так и архивных баз используются для мониторинга параметров комплекса, корректировки режимов работы, определения неисправностей комплекса, а также для моделирования магнитной структуры. В связи с этим есть необходимость отображать на экране данные за большой промежуток времени, порядка двух лет. Так как результаты некоторых измерений записываются в базу каждую секунду, отрисовка такого массива данных может быть проблематична для веб-браузера.

Целью данной работы является разработка веб-интерфейса, предоставляющего пользователям различных платформ доступ ко всем базам данных ВЭПП-4, в том числе и за большие промежутки времени. Кроме того, предоставить возможность сохранять данные как в текстовом формате, так и в различных графических.

В качестве языка для реализации клиентской части приложения был выбран язык JavaScript, так как он изначально создавался, чтобы делать страницы в интернете «живыми». Также он позволяет быстро и эффективно решать задачи, возникающие в процессе веб-разработки. Кроме того, в настоящий момент это самый популярный инструмент для решения подобных задач и в связи с этим имеет развитую поддержку интернет-сообществом.

Серверная часть реализована на PHP, потому что при малом использовании памяти и системных ресурсов, этот язык обеспечивает высокую скорость и стабильность работы, также он имеет высокую интеграцию с базами данных семейства SQL.

В настоящее время продолжается работа по реализации веб-интерфейса и изучение возможностей быстрого извлечения данных из больших таблиц.

Научный руководитель – Плотникова О. А.

## **Применение Xenomai для управления технологическим процессом электронно-лучевой сварки в Институте ядерной физики СО РАН**

Герасёв А. В.

Новосибирский государственный университет

Технологический процесс электронно-лучевой сварки требует управления в режиме жёсткого реального времени, гарантирующем время отклика порядка 10 мс. Операционные системы общего назначения, такие как Windows и Linux являются системами мягкого реального времени, которые не всегда гарантируют время исполнения операции. ОС жёсткого реального времени довольно специфичны и, более того, на них проблематично переносить программы, написанные для операционных систем общего назначения. Существуют способы получения жёсткого реального времени от ОС общего назначения. Один из них – использование Xenomai.

Xenomai – это фреймворк реального времени для Linux. Он представляет из себя патч ядра, модули и библиотеки. Xenomai предоставляет перехват прерываний и их быструю обработку, драйверы реального времени, программный интерфейс, позволяющий приложениям выполняться и работать с устройствами в режиме жёсткого реального времени.

В рамках данной работы исследован процесс установки Xenomai на ПК, изучен механизм написания программ, выполняющихся в режиме жёсткого реального времени. Налажена коммуникация с внешними ЦАП-АЦП СЕАС121 и СЕАС124 по шине CAN на скорости 1 Мбит/с, измерены времена отклика Xenomai по шине CAN – оказалось, что они не превышают **500 мкс**, что значительно меньше необходимых времён для электронно-лучевой сварки. Внесён вклад в разработку Xenomai – найдена и исправлена ошибка в исходном коде, патч отправлен разработчикам. Осуществлено управление установкой для электронно-лучевой сварки.

Научный руководитель – Чеблаков П. Б.

## **Веб-сайт мониторинга и управления детектора КМД-3 на основе фреймворка Django**

Жадан Д. С.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики проводятся эксперименты на электрон-позитронном ускорителе ВЭПП-2000. Для сбора данных используется детекторы элементарных частиц КМД-3 и СНД, каждый из которых представляет собой сложную экспериментальную установку. КМД-3 это универсальный криогенный магнитный детектор, который имеет сотни измерительных датчиков и каналов контроля. Такой установке необходима система мониторинга и управления. Одно из решений это пользовательский веб-интерфейс, независимый от программного обеспечения измерительной аппаратуры, а также предоставляющий унифицированный доступ к панели управления через браузер.

Интерфейс оператора системы медленного контроля эксперимента КМД-3 был разработан и спроектирован около 10 лет назад и на сегодняшний день нуждается в естественном обновлении и расширении функционала. Целью данной работы является создание нового веб-сайта управления с использованием современных инструментов и методов в разработке веб-приложений. В качестве основы для сайта был выбран Django фреймворк построения веб-приложений на языке программирования python. Архитектура сайта позволяет независимо разрабатывать модули системы и объединять их в единое целое, что делает сайт легко расширяемым.

На данный момент реализованы следующие модули: веб-интерфейс на основе jsTree для работы с онлайн базой данных архитектуры Midas, модуль отображение данных из базы в табличном виде, использующий плагин datatables библиотеки jQuery, модуль визуализации данных в графическом виде на стороне клиента средствами библиотеку d3.

Научный руководитель – Анисёнков А. В.

**Блок для определения термодинамических характеристик воздуха**

Занина Э. А., Курдюмов Д. С.

Новосибирский государственный технический университет

При изучении курса «Молекулярная физика и термодинамика» выполняется лабораторная работа: «Определение вязкости воздуха». В ходе эксперимента из герметичной емкости под давлением воздух вытекает через капилляр. Исследование зависимости изменения давления в емкости от времени позволяет определить коэффициент динамической вязкости воздуха, длины свободного пробега молекул и число Рейнольдса. При ручном выполнении этого эксперимента фиксация данных затруднительна, а результаты содержат существенную ошибку.

Целью проекта являлось создание автоматизированной лабораторной установки для определения термодинамических характеристик воздуха.

В ходе работы над проектом был разработан и изготовлен опытный образец лабораторной установки БЛТ2, подготовлена конструкторская документация для мелкосерийного производства и разработано методическое сопровождение для выполнения лабораторных работ.

Лабораторная установка БЛТ2 состоит из измерительной камеры и электронного блока.

Измерительная камера содержит герметичную емкость, датчик давления, электромагнитный клапан и систему подключаемых капилляров с различными геометрическими размерами. Электронный блок содержит: измеритель давления, секундомер, компрессор, схему управления и памяти.

Данная установка позволяет проводить классические эксперименты:

- Определение вязкости воздуха методом истечения из капилляра;
- Определение показателя адиабаты по методу Клемана-Дезорма.

Особенностью работы установки является автоматическая фиксация показаний датчика давления и секундомера с последующим просмотром результатов измерений в ручном режиме и передачей измеренных данных в ЭВМ по каналу USB.

Лабораторная установка в настоящее время внедряется в учебный процесс на кафедре ПИТФ НГТУ, в КазНУ г. Алматы, в КГТУ г. Кострома, в АлтГПУ г. Барнаул и др.

Научный руководитель – канд. техн. наук Морозов А. В.



## **Определение момента зарождения пластических деформаций малоуглеродистой стали на основе анализа теплового излучения**

Засухин И. В.

Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск

Правилами проектирования предусматривается, что под эксплуатационными нагрузками искусственные сооружения должны работать в упругой стадии. Однако в силу износа, накопления усталостных повреждений и развития начальных дефектов даже при многократном проходе тяжелых нагрузок (транспортёров), а также в силу конструктивных особенностей в конструкции появляются зоны напряжений, превышающих предел пропорциональности металла. Это приводит к преждевременному появлению и развитию трещин, и снижению долговечности сооружения. Поэтому задача выявления зон концентрации напряжений с целью своевременного принятия мер по предотвращению развития дефектов является актуальной.

Одним из перспективных методов оценки технического состояния является применение инфракрасной термографии для выявления зон повышенных напряжений. Основой для применения этого метода служат известные явления термоупругости и термопластичности, связанные с тем, что при деформировании металлов происходит выделение тепловой энергии. Предел пропорциональности стали согласно существующим нормам определяется по испытаниям на растяжение. При переходе упругих деформаций в пластические график зависимости напряжений от деформаций меняет угол наклона. Определение напряжений, по визуальной оценке, графика может содержать некоторые погрешности из-за плавной смены угла наклона, в то время как изменение температуры имеет более резкий и контрастный характер и может быть уверенно зарегистрирован тепловизионным устройством.

Выполненными лабораторными исследованиями при малоцикловых нагружениях была установлена закономерность изменения величины тепловыделения от уровня нагруженности малоуглеродистой стали, разработаны методики проведения измерений и обработки термограмм, определены факторы, влияющие на результаты.

Применение методики на эксплуатируемых мостах показало эффективность использования метода инфракрасной термографии для выявления зон зарождения пластических деформаций, трещин и областей их распространения.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Соловьев Л. Ю.

## **Динамический расчет инженерных сооружений с использованием программных комплексов Midas**

Зубарев М. А.

Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск

При строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, в частности мостовых конструкций, с целью обеспечения безопасной эксплуатации необходимо производить контроль частот колебаний, зависящих от постоянных нагрузок, и внешних временных нагрузок. Расчет частот собственных колебаний конструкций, с различным сочетанием нагрузок, необходим для оценки технического состояния сооружения.

Одной из практических задач является проблема влияния типа мостового полотна на загруженность элементов конструкции. Замена деревянных мостовых брусьев на железобетонные плиты с одной стороны должна была улучшить состояние пролетных строений. Однако, практика показала, что после такой замены количество трещин в стенках балок металлических пролетных строений увеличивается.

Для выявления причины, необходимо оценить изменение динамических характеристик конструкций с учетом их взаимодействия с подвижным составом. На первом этапе были проведены исследования методики моделирования динамического поведения конструкций. Были использованы вычислительные комплексы на базе метода конечных элементов - MidasGTS и MidasCivil. Производился динамический расчет пролетного строения эксплуатируемого внеклассного железнодорожного моста от различных сочетаний нагрузок при различном типе мостового полотна.

В результате работы получены формы колебаний конструкции, произведен анализ результатов вычисления собственных частот и форм колебаний в зависимости от способа моделирования, времени расчета, количества итераций. Дана качественная и количественная оценка возможностей использования выбранных программных комплексов для расчета сложных конструкций. И был выбран оптимальный вариант мостового полотна, в зависимости от характера изменения частот колебаний.

Научные руководители – канд. техн. наук, доцент Соловьев Л. Ю.,  
Кузнецов А. О.

## **Оптическая система комптоновского поляриметра ВЭПП-4М**

Ивакин В. О., Каминский В. В.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Новосибирский государственный технический университет

Новосибирский государственный университет

Прецизионные эксперименты на ускорителях заряженных частиц требуют калибровки энергии пучков с большой точностью. В данный момент на ускорительном комплексе ВЭПП-4М используется метод резонансной деполяризации. Измерение поляризации пучка основано на эффекте тушековского рассеяния, применение которого ограничено энергиями до 2 ГэВ. Поэтому для калибровки энергий в экспериментах по измерению масс ипсилон-мезонов (энергия пучка 5 ГэВ), необходима система измерения поляризации пучка по асимметрии обратного комптоновского рассеяния.

Целью данной работы являлось создание оптической части комптоновского поляриметра. Было сделано следующее:

Произведена модернизация оптической части установки для комптоновской калибровки системы регистрации рассеянных электронов детектора КЕДР для комптоновского поляриметра.

Создана система измерения поляризации лазерного излучения.

Проведены измерения поляризации лазерного излучения на разных участках оптической системы.

Создана автоматическая система управления поляризацией лазера.

Результатом работы является готовая к экспериментам оптическая часть поляриметра. Были проведены первые эксперименты по измерению асимметрии обратного комптоновского рассеяния.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Николаев И. Б.

### **Реализация распределенного чтения данных с использованием микрокомпьютеров в системе сбора данных детектора КМД-3**

Карев В. В.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики продолжается набор экспериментальной статистики с детектором КМД-3 на ускорительном комплексе ВЭПП-2000, являющемся  $e^+e^-$  коллайдером с рекордной светимостью в области энергий от 0.36 до 2 ГэВ в системе центра масс. Данная работа посвящена разработке распределенной системы обработки данных для детектора КМД-3.

В 2013-2016 годах была проведена модернизация ВЭПП-2000 и ожидается увеличение его светимости в несколько раз. Исходный поток оцифрованных данных с регистрирующей аппаратуры составит 160 МБ/с при ожидаемой частоте событий 2 кГц, что на порядок превосходит поток, наблюдаемый ранее.

Было решено обновить аппаратную часть системы сбора данных детектора и ее архитектуру, и перенести функции по обработке и сжатию данных в блоки приема передачи данных (БППД), коммутирующих поток данных из регистрирующей аппаратуры в Ethernet канал. Такое решение позволит распараллелить процесс сжатия и фильтрации экспериментальных данных и повысить пропускную способность системы в целом. Для этого в каждый БППД интегрируются микрокомпьютер. В рамках работы производилась разработка программного обеспечения (ПО) для сбора и первичной обработки данных в новой схеме.

Был написан прототип ПО и с помощью него было произведено экспериментальное измерение скорости передачи данных с использованием двух разных моделей микрокомпьютеров Banana Pi M2 и Cubieboard 2. Полученная максимальная скорость 9 МБ/с и 7МБ/с соответственно достаточны для обработки ожидаемого потока данных.

В настоящее время вводится разработка полноценной версии ПО, которая будет встроена в систему сбора данных КМД-3.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Логашенко И. Б.

## **Автоматизация технологической подготовки высокоскоростной лазерной микрообработки**

Куприков Е. А.

Институт автоматики и электротметрии СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время, лазерная микрообработка является быстроразвивающейся областью технологического применения лазеров. С её помощью могут быть получены структуры с субмикронной точностью и разрешением по произвольным 3D-моделям. Однако в процессе взаимодействия лазерного излучения с веществом необходимо учитывать физические и технологические факторы обработки и для получения изделий с высокими показателями качества необходимо обеспечить точное управление компонентами системы, вычисление траекторий перемещения лазерного пучка и определение оптимальных режимов лазерной микрообработки.

Для получения структур с высокими показателями качества необходимо задавать траектории перемещения лазерного пучка с субмикронной точностью, учитывая особенности установки, на которой будет производиться микрообработка.

Для 3D послойной обработки использована система составного сканирования с Nd:YVO<sub>4</sub> лазером с длиной волны 1064, наносекундной длительностью импульсов и 10Вт максимальной средней мощностью на выходе, перемещение лазерного луча проводилось быстрыми сканерами (скорость до 1 м/с). Практика показала, что, при использовании растрового обхода зоны обработки лазерным пучком на этой установке, границы зон обработки не удовлетворяют требуемому качеству, поэтому для уменьшения дефектных зон потребовалось разработать специальный метод обхода – контурный. Метод основан на том, что изначальная 3D-модель разбивается по слоям, каждый слой представляет из себя набор сечений объемных фигур – контуров. Теперь, траектории формируются так, чтобы лазерный пучок огибал эти контура, постепенно проходя всю зону обработки.

В ходе работы был разработан алгоритм построения контурных послойных траекторий. Он состоит из двух частей: построение карты расстояний и объединение контуров. Проведено его тестирование при обработке металлических подложек, при формировании массива микролинз, 3D пресс-форм и других комплексных структур.

Научный руководитель – канд. техн. наук Бессмельцев В. П.

## **Программа управления системой нестационарной терагерцовой спектроскопии**

Минаков Ф. А.

Институт автоматики и электротметрии СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

В терагерцовом диапазоне частот (0,1–10 ТГц) электромагнитного излучения лежат спектры поглощения полупроводников, нелинейно-оптических кристаллов, белков, ДНК и взрывчатых веществ, что позволяет проводить их идентификацию и получать информацию об их структуре. Для получения терагерцовых спектров в стационарном режиме в ИАиЭ СО РАН создана система широкополосной импульсной спектроскопии с управлением на базе LabVIEW. В такой системе излучение фемтосекундного лазера разделяется на два канала: генерации и детектирования терагерцовых импульсов, причем длина второго регулируется оптической линией задержки. Естественным расширением стационарного метода является добавление канала, обеспечивающего оптическую накачку исследуемого объекта. Релаксация возбуждения зондируются терагерцовыми пробными импульсами, т. е. реализуется метод нестационарной спектроскопии. Целью данной работы является разработка программы управления с учетом появления дополнительного канала, усложнения логики сканирования и визуализации.

В рамках работы был модифицирован интерфейс программы для управления каналом накачки и просмотра трехмерных данных в виде двумерных графиков с возможностью перемещения по третьей оси. Создана система инициализации для линейных позиционеров, обеспечивающих оптическую задержку, с возможностью динамической настройки скорости. Кроме того, реализованы два режима одномерного сканирования: с перемещением линии задержки в канале детектирования при неменяющейся задержке в канале накачки и наоборот. А также два режима двумерного сканирования: с синхронным изменением задержки в каналах детектирования и накачки, и со сканированием оптической задержки в канале детектирования с последующим изменением длины канала накачки. Используя эти режимы можно исследовать динамику носителей заряда в полупроводниках при фотовозбуждении.

Научный руководитель – канд. техн. наук Мамрашев А. А.

## **Экспериментальное оборудование для исследования распределения струйно-капельного потока в массообменных аппаратах**

Миськив Н. Б.

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный технический университет

В ряде технологий, использующих оросительные системы, распределение потоков орошающей жидкости по сечению аппарата существенно влияет на его эффективность. Неравномерное распределение жидкости по сечению может привести к ухудшению теплообмена в градирнях, контактных теплообменниках, оросительных конденсаторах, к неравномерному протеканию реакций в химических реакторах, к ухудшению массообмена в насадочных ректификационных колоннах. Следствием этого является снижение эффективности и надежности работы тепломассообменных аппаратов. Поэтому разработка и создание приборов и методик исследования потоков в таких системах является актуальной задачей.

В работе описан автоматизированный комплекс с координатной системой позиционирования датчиков в заданные координаты измерительного сечения крупномасштабной дистилляционной установки. Высота экспериментальной колонны составляет 6 м, диаметр – 0.9 м. Система позиционирования представляет собой подвижную каретку, перемещающуюся по направляющим флюгера, который имеет полную ось вращения на 360° в центре колонны. Движение каретки вдоль радиуса и флюгера по азимуту осуществляется двумя шаговыми двигателями с помощью цифрового привода по программе из компьютера. Погрешность позиционирования каретки составляет по азимуту  $\pm 2^\circ$ , радиусу  $\pm 2$  мм.

В состав измерительного комплекса входят, установленные на каретке локальный пузырьковый расходомер капельно-струйного потока, пристенный уровнемер, измеряющий локальный расход жидкости, текущей по стенке колонны и электронный термометр, регистрирующий локальную температуру потока с погрешностью 0.25 %. Погрешность измерения локального потока под насадкой и на стенке колонны составляет 3 %. Положение каретки с измерительными приборами контролируется при помощи резистивных датчиков, подвижные выводы которых вращаются с шаговыми двигателями. Созданный комплекс позволяет регистрировать локальные параметры потока в диапазоне позиционирования порядка тысячи точек.

Научный руководитель – д-р техн. наук Назаров А. Д.

## **Внедрение перспективного интерфейса SpaceWire в новые разработки бортовой аппаратуры НГУ**

Михайлов Б. О.

Новосибирский государственный университет

В большинстве ныне функционирующих и разрабатываемых космических аппаратах основным телекоммуникационным интерфейсом является MIL-STD 1553В (в Российской редакции мультиплексный канал обмена, МКО) утвержденный в 1973 году. В данном стандарте устанавливаются требования к составу технических средств интерфейса, характеристикам устройств интерфейса и линии передачи информации, топологии сети и организации контроля передачи данных.

По мере развития технологий, возрастали и требования к интерфейсам передачи данных. Чтобы удовлетворить эти требования в 2003 году Европейским Космическим Агентством была опубликована первая версия стандарта SpaceWire. Ключевыми особенностями данного интерфейса стали:

- высокая скорость передачи данных (от 2 Мбит/с до 400 Мбит/с);
- отсутствие жестких требований к топологии сети;
- низкая потребляемая мощность.

НГУ, участвуя в кооперации по продвижению этого интерфейса, в рамках ОКР «Карабула» разрабатывает комплект аппаратуры реализующей основную информационную магистраль по стандартам SpaceWire и протокол транспортного уровня.

В настоящей работе рассматриваются основные аспекты разработки модуля информационного взаимодействия с КА для унифицированного блока электроники. Решается задача реализации стандарта SpaceWire и протокола СТП ИСС на базе микроконтроллера 1874BE7Т и IP-ядра SpaceWire компании Actel. Проводится анализ и выбор оптимальной топологии сети SpaceWire и варианты её реализации.

Особое внимание уделяется задаче параллельного функционирования шин МКО и SpaceWire в унифицированном блоке электроники и связанными с этим требованием особенностями архитектуры шин данных и программного обеспечения унифицированного блока электроники.

Научный руководитель – канд. техн. наук Прокопьев Ю. М.



## **Измерение стабильности работы кикеров системы перепуска пучков из накопителя ВЭПП-3 в коллайдер ВЭПП-4М**

Можейко Е. Д.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный технический университет

На ускорительном комплексе ВЭПП-4 управление пучками во время их транспортировки из накопителя ВЭПП-3 в коллайдер ВЭПП-4М выполняется с помощью специальных импульсных отклоняющих устройств – кикеров. Эффективность перепуска зависит от того, насколько отличается момент прихода импульса, подаваемого на пластины магнитов впуска-выпуска, от момента пролёта пучка через эти пластины.

Основная цель работы состоит в определении временных интервалов между ударами по пучку и моментами присутствия пучка в местах удара. Также требуется сохранять результаты обработки измерений в базе данных комплекса, давать графическую интерпретацию текущих результатов. Регистрация импульсов, действующих на пучок при перепуске, выполняется на двух четырехканальных цифровых осциллографах, которые подключены к локальной сети рабочей станции.

Для решения задачи разрабатывается графическое приложение, работающее с осциллографами, оно позволит обрабатывать сигналы, получаемые с пластин магнитов, сравнивать их положение с положением сигнала от датчика тока пучка. Необходимо выполнять интерполяцию сигналов для более точного нахождения их экстремумов, определять разности между получаемыми экстремумами и вершиной сигнала от датчика тока пучка, следить за динамикой этих разностей.

Приложение создавалось на языке программирования C++, с применением графической библиотеки Qt и её плагина Qwt. Для обмена данными между компьютером и осциллографом использовался механизм сокетов. Для хранения получаемых результатов используется база данных комплекса на основе СУБД PostgreSQL. На данный момент в приложении отображается состояние исследуемых сигналов.

Работа выполняется в рамках дипломной работы бакалавра в ИЯФ СО РАН им. Будкера.

Научный руководитель – Плотникова О. А.

## Программа обработки терагерцовых данных

Назаров А. В.

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск  
Новосибирский государственный университет

Широкополосная импульсная спектроскопия – основной метод исследования материалов в терагерцовом (ТГц) диапазоне частот (0,1–10 ТГц). Метод заключается в детектировании и анализе временной формы и спектров терагерцовых импульсов, прошедших через исследуемый объект. В ТГц диапазоне лежат спектральные особенности нелинейно-оптических кристаллов, сложных органических молекул и взрывчатых веществ, что позволяет делать выводы об их внутренней структуре, обнаруживать и идентифицировать их.

Для анализа ТГц импульсов требуются программные инструменты, реализующие специфические алгоритмы обработки и наглядное отображение данных. Базовый набор алгоритмов включает расчет свойств исследуемых материалов, сравнение и комбинирование импульсов. Одно из основных требований к программе – возможность расширения функциональности конечными пользователями. Также должно быть реализовано сохранение и автоматическое воспроизведение последовательности преобразований. Требование выпустить программное обеспечение под свободной лицензией накладывает ограничения на используемые инструменты разработки. Цель работы – разработка программы обработки ТГц данных, реализующей перечисленные требования.

В рамках работы проведено сравнение наиболее популярных инструментов разработки по критериям быстродействия, открытости, полноты требующихся библиотек. Выбраны язык программирования python и набор библиотек scipy. Объектная структура программы построена с использованием паттерна проектирования «команда», что позволяет поддерживать динамическое расширение функциональности, а также логирование и воспроизведение операций в формате Jupyter Notebook. Реализован базовый набор алгоритмов обработки.

Разработанное программное обеспечение может быть использовано специалистами в смежных областях ТГц спектроскопии. Пользователи смогут самостоятельно реализовывать алгоритмы обработки ТГц данных, специфичных для их задач.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-00356 мол\_a.

Научный руководитель – канд. техн. наук Мамрашев А. А.

## **Разработка программного обеспечения для управления вакуумным оборудованием установки электронно-лучевой сварки**

Попенко Я. Н.

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) – сварка, источником энергии при которой является кинетическая энергия электронов в электронном пучке, сформированном электронной пушкой. ЭЛС используется для сварки тугоплавких, высокоактивных металлов и при необходимости получения высококачественных швов с глубоким проплавом металла. Сварка осуществляется в высоком вакууме, что необходимо для эффективной генерации электронного пучка и беспрепятственного прохождения его до свариваемого изделия (за счет отсутствия столкновения электронов с молекулами воздуха), а также для создания химически инертной среды.

Целью работы является разработка программного обеспечения для управления вакуумным оборудованием установки ЭЛС для получения высокого вакуума. Программа управляет работой оборудования, передавая через последовательный порт команды, по специально реализованному протоколу и дает оператору необходимую информацию о состоянии оборудования.

Для реализации поставленной задачи был выбран язык программирования с++ и инструментарий разработки QT, так как он является кроссплатформенным, использованы средства объектно-ориентированного и многопоточного программирования. Разработка началась в июне 2015 года и продолжается в настоящее время.

На данный момент уже реализовано управление форвакуумным и турбомолекулярными насосами через приводное устройство ТС 1200, для откачки воздуха из вакуумной камеры в несколько этапов, контроль состояния их работы и работы с блоком управления и измерения вакуума TRG 256A.

В дальнейшем планируется полная автоматизация процесса откачки и контроля вакуума в камере, без необходимости участия оператора, контроль ошибок работы оборудования, автоматическое формирование отчетов о работе и упрощение пользовательского интерфейса.

В настоящее время разработанная программа успешно применяется для работы вакуумного оборудования установки ЭЛС и проведения экспериментов в институте ядерной физики СО РАН, а также продолжается постоянное наращивание функционала и оптимизация, в соответствии с нуждами пользователей.

Научные руководители – Медведев А. М.,  
канд. физ.-мат. наук Старостенко А. А.

## Применение фотограмметрии при измерениях методом люминесцентных преобразователей давления

Рабецкий А. С.

Новосибирский государственный университет

При разработке летательных аппаратов проводятся экспериментальные аэродинамические исследования их моделей. При этом измеряются распределения параметров по поверхности модели летательного аппарата. Один из таких параметров — давление. Для оптической регистрации поля данного параметра применяют метод люминесцентных преобразователей давления, известный за рубежом как метод PSP. Он основан на явлении тушения люминесценции органических люминофоров кислородом воздуха.

Набор расчетных процедур, предназначенный для обработки PSP данных, включает калибровку установки для построения зависимости яркости от давления для каждого пикселя камеры и восстановление из изображений мгновенных полей давления на основе калибровки. Однако во время эксперимента модель может деформироваться или смещаться, что приводит к появлению значительных погрешностей.

Цель работы — развитие методов, компенсирующих смещения модели при обработке PSP данных. Измерение смещения основано на фотограмметрическом подходе, позволяющем определить пространственные координаты объекта по координатам его проекции на цифровом изображении. Для идентификации точек в работе используется метод с нанесением нерегулярной мелкомасштабной структуры пятен на поверхность.

В данной работе реализованы процедуры преобразования системы координат (поворот, сдвиг, масштабирование) в плоскости модели. Определены матрицы преобразований выполнены двумя способами:

- на основе алгоритма PIV из ActualFlow;
- алгоритм поиска евклидовых преобразований из OpenCV.

По результатам тестирования оба способа показали близкие результаты: погрешность измерений уменьшилась в 3 раза с 3.6% до 1.1%. Таким образом, мы убедились, что применение фотограмметрии повышает точность измерения поля давления. При этом существующий PIV алгоритм неверно определяет поле смещения модели на значительных областях поверхности модели; требуется фильтрация и интерполяция этих полей. В дальнейшем планируется развивать данный подход для моделей более сложной (трехмерной) формы.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Бильский А. В.

## **Разработка эффективной системы сбора рассеянного света для повышения чувствительности КР-спектрометра**

Сединкин Д. О., Петров Д. В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
г. Томск

Наряду с преимуществами спектроскопии комбинационного рассеяния света (КР) газовых сред при решении фундаментальных и прикладных задач основным ее недостатком является малая интенсивность сигналов КР, вследствие низких сечений рассеяния и малых концентраций молекул в анализируемом объеме. Одним из вариантов увеличения интенсивности сигналов КР является увеличение количества собранного рассеянного излучения за счет увеличения телесного угла сбора оптической системы.

В работе представлены три разработанных варианта оптических систем сбора рассеянного излучения: линзовый (два фотообъектива), зеркально-линзовый (параболическое зеркало и фотообъектив) и зеркальный (эллиптическое зеркало), обеспечивающие телесные углы  $\sim 0.38$ ,  $1.88$  и  $2.54$  ср соответственно.

Экспериментальная апробация и оценка эффективности данных оптических систем проводилась на разработанном ранее КР-спектрометре газовых сред, в котором на входную щель спектрального прибора проецируется продольное изображение рассеивающего объема – лазерной перетяжки ( $90^\circ$  геометрия сбора). Путем поочередной установки оптических систем сбора в прибор, осуществлялся контроль регистрируемой интенсивности Q-ветви спектра КР азота, присутствующего в атмосфере.

Полученные результаты продемонстрировали, что, несмотря на большие углы сбора, системы с зеркалами обеспечили величину зарегистрированной интенсивности примерно в два раза меньшую, по сравнению с линзовой системой. Вероятнее всего, это объясняется возникающими внеосевыми aberrациями при использовании зеркал, в результате чего формируемое в плоскости входной щели изображение лазерной перетяжки уширяется и часть энергии теряется, поскольку не проходит сквозь щель спектрального прибора и, соответственно, не доходит до детектора.

Таким образом, проведенные исследования показали, что для случая  $90^\circ$  геометрии сбора рассеянного света, наиболее целесообразно использовать линзовую систему с исправленными aberrациями.

Научный руководитель – канд. техн. наук Матросов И. И.

## Измерение давления в камере сгорания малоинерционными пьезодатчиками при непрерывной спиновой детонации

Тарнайкин А. Е.

Новосибирский государственный университет

Измерение профиля давления поперечных детонационных волн (ПДВ) при непрерывной спиновой детонации является нерешенной проблемой, поэтому разработка и конструирование высокочастотных датчиков давления, способных проводить измерения давления и регистрацию истинного профиля детонационной волны в условиях высокой температуры, является актуальной задачей в изучении детонационных процессов в целом и, в частности, изучения ПДВ при спиновой детонации. Проблемой существующих датчиков, используемых в подобных работах, является малая собственная частота колебаний датчика (высокая инерционность), связанная с теплоизоляционным покрытием, и изменение коэффициента преобразования в связи с нагревом.

Целью работы является разработка высокочастотных датчиков, подходящих для измерения профиля давления ПДВ при спиновой детонации частиц бурого угля с воздухом и добавлением синтез газа  $\text{CO} + 2\text{H}_2$  в радиальной камере диаметром 500 мм. Размеры частиц угля находились в диапазоне  $\delta = 1 \div 12$  мкм. Оптические измерения проводились с помощью высокоскоростной камеры Photron FASTCAM с частотой 400000 кадров в секунду через два радиальных окна, симметрично расположенных относительно центра камеры. Пьезоэлектрический элемент высокочастотных датчиков был изготовлен на основе цирконата бария, а корпус - из латуни. Собственная частота датчика составляла 2 МГц. Одновременно инерционными датчиками измерялись средние статические давления в камере  $p_{ci}$ .

В результате получены осциллограммы давлений в камере сгорания, определены уровни давлений во фронте волны по отношению к статическому давлению, а так же скорости ПДВ. К примеру при удельном расходе смеси  $g_{\Sigma} = 347$  кг/(с·м<sup>2</sup>), коэффициенте избытка горючего  $\varphi_{\Sigma} = 3.22$ , средних давлений в камере в месте установки датчиков  $p_{c1} = 4.41 \cdot 10^5$  Па и  $p_{c2} = 3.8 \cdot 10^5$  Па, скорости детонации относительно наружного диаметра камеры  $D = 1.69$  км/с, числе ПДВ  $n = 1$  давления во фронте волны составляли:  $p_{c1h} \approx 60 \cdot 10^5$  Па и  $p_{c2h} \approx 20 \cdot 10^5$  Па, а начальные перед волной -  $p_{c10} \approx p_{c20} \approx 2 \cdot 10^5$  Па. Уровни давлений снижаются в направлении к центру камеры. Выявлена область химической реакции за фронтом волны, составляющая около 8% периода между волнами.

Научный руководитель — д-р техн. наук Быковский Ф. А.

## **Теоретическое и экспериментальное исследование способов бесконтактного измерения натяжения тросов.**

Фомин Д. С.

Новосибирский государственный университет

Существует проблема неравномерного потребления электроэнергии в течение суток.

Для решения этой проблемы используются гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС). ГАЭС имеют ряд недостатков, связанных с экологическими и климатическими проблемами, поэтому разрабатываются гравитационные накопители, использующие твердые грузы (ГНТ). Запасание энергии происходит путем поднятия твердых грузов на большую высоту (как правило в часы низкого энергопотребления), а в часы высокой активности потребления электроэнергии грузы спускаются.

Для решения этой задачи планируется использовать плоские резинотросовые канаты (РТК), которые под нагрузкой растягиваются.

Процесс растяжения канатов необходимо постоянно контролировать. При растяжении РТК происходит уменьшение толщины в сечении. Для измерения уменьшения толщины каната используется регистрация изменения индуктивности соленоида, в котором сердечником служит исследуемый канат. Калибровка измерительного устройства осуществляется по графику зависимости напряжения на соленоиде в зависимости от растяжения каната.

Экспериментальная установка состоит из домкрата, ВЧ-генератора и измерительной системы. Канат закреплен двумя концами и перекинут через блок, который поднимается при помощи домкрата. Одна катушка прямоугольного сечения установлена на растягиваемую часть каната, вторая закреплена на свободном конце каната. Генератор, работающий на частоте 1 кГц включен в мостовую схему, напряжение снимается при помощи измерительной системы, состоящей из шасси compactDAQ, модуля ввода-вывода и ПК, подключенной к средней точке мостовой схемы. Система сбора и обработки данных была автоматизирована с применением графического языка G в среде разработки LabVIEW.

В дальнейшем измерительная система будет преобразована и удешевлена, планируется замена универсального оборудования на специализированную систему, базирующуюся на микроконтроллере ARM.

Планируется использование данной измерительной системы в разрабатываемом стенде ресурсных испытаний резинотросовых канатов и в ГНТ.

Научный руководитель – канд. техн. наук Бакиров Т. С.

## **Размерный состав и счётная концентрация взвешенного вещества в воде озёр Алтайского края**

Эккердт К. Ю.

Алтайский государственный университет, г. Барнаул

В связи с ростом мирового промышленного производства и возникающем при этом антропогенного загрязнения природной воды, мониторинг гидрофизических и гидробиологических характеристик является актуальной задачей. Неотъемлемой частью водных экосистем является взвешенное в толще воды вещество (взвесь), которое, в основном, определяет их функциональное состояние.

В работе приведены результаты измерений размерного состава и счётной концентрации частиц взвеси с помощью метода оптической микроскопии для трёх разнотипных озёр Алтайского края: Лапа, Красиловское и Большое Островное за период 2011–2016 гг. Количество и размеры частиц взвеси определялись с использованием камеры Нажотта и светового микроскопа. Было обработано 38 проб озёрной воды, обработано 310 микрофотографий с общим количеством частиц 24262 штуки, что обеспечивает хорошую статистику и свидетельствует о высокой достоверности полученных результатов.

По данным сезонных измерений размеры частиц в пробах озёр находились преимущественно в пределах 0,5–10 мкм по радиусу. Аппроксимация экспериментальных данных по размерам частиц проводилась с использованием функции типа Юнге. При этом коэффициент корреляции находился в диапазоне от 0,77 до 0,99, что свидетельствует об удовлетворительной аппроксимации. В результате получено, что средневзвешенный радиус частиц в поверхностном слое оз. Лапа за исследуемый период составил 1,1 мкм, в озёрах Красиловское и Большое Островное – 1,4 и 1,3 мкм, соответственно. Среднее значение счётной концентрации частиц взвеси в исследуемых озерах за период наблюдений изменялось в пределах от  $(0,2–9,7) \times 10^6 \text{ см}^{-3}$  и составило  $2,3 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$  для оз. Лапа,  $2,9 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$  - для оз. Красиловское и  $3,8 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$  - для оз. Большое Островное. Результаты измерений размерного состава частиц взвеси исследуемых трёх разнотипных озёр Алтайского края показали, что экспериментальное распределение частиц по размерам удовлетворительно аппроксимируются функцией типа Юнге.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. Букатый В. И.,  
канд. физ.-мат. наук, доцент Андрухова Т. В.



## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Асмедьянов Н. Р. ....	5	Люлин А. В. ....	13
Балакин В. В. ....	6	Мальцева М. В. ....	14
Балуев А. О. ....	7	Минаков Ф. А. ....	30
Билалова Б. Б. ....	20	Миськив Н. Б. ....	31
Борин В. М. ....	8	Михайлов Б. О. ....	32
Бочек Д. В. ....	9	Можейко Е. Д. ....	33
Ворошилов Д. А. ....	10	Морсин А. А. ....	15
Гаврилов А. С. ....	21	Назаров А. В. ....	34
Герасёв А. В. ....	22	Никонов Ф. С. ....	16
Денисов А. П. ....	11	Петров Д. В. ....	37
Жадан Д. С. ....	23	Поливанова А. С. ....	17
Занина Э. А. ....	24	Попенко Я. Н. ....	35
Засухин И. В. ....	25	Прохорова Е. С. ....	18
Зубарев М. А. ....	26	Рабецкий А. С. ....	36
Ивакин В. О. ....	27	Рабусов Д. В. ....	19
Каминский В. В. ....	27	Сединкин Д. О. ....	37
Каноник П. В. ....	12	Тарнайкин А. Е. ....	38
Карев В. В. ....	28	Фомин Д. С. ....	39
Куприков Е. А. ....	29	Хусаинова Н. Т. ....	20
Курдюмов Д. С. ....	24	Эккердт К. Ю. ....	40

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>РАДИОФИЗИКА И УСКОРИТЕЛИ.....</b>	<b>5</b>
Асмедьянов Н. Р.....	5
Балакин В. В.....	6
Балуев А. О.....	7
Борин В. М.....	8
Бочек Д. В.....	9
Ворошилов Д. А.....	10
Денисов А. П.....	11
Каноник П. В.....	12
Люлин А. В.....	13
Мальцева М. В.....	14
Морсин А. А.....	15
Никонов Ф. С.....	16
Поливанова А. С.....	17
Прохорова Е. С.....	18
Рабусов Д. В.....	19
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ.....</b>	<b>20</b>
Билалова Б. Б., Хусаинова Н. Т.....	20
Гаврилов А. С.....	21
Герасёв А. В.....	22
Жадан Д. С.....	23
Занина Э. А., Курдюмов Д. С.....	24
Засухин И. В.....	25
Зубарев М. А.....	26
Ивакин В. О., Каминский В. В.....	27
Карев В. В.....	28
Куприков Е. А.....	29
Минаков Ф. А.....	30
Миськив Н. Б.....	31
Михайлов Б. О.....	32
Можейко Е. Д.....	33
Назаров А. В.....	34
Попенко Я. Н.....	35
Рабецкий А. С.....	36
Сединкин Д. О., Петров Д. В.....	37
Тарнайкин А. Е.....	38
Фомин Д. С.....	39
Эккердт К. Ю.....	40
<b>АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....</b>	<b>41</b>
<b>ОГЛАВЛЕНИЕ.....</b>	<b>42</b>

МАТЕРИАЛЫ  
54-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
МНСК–2016

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНИКА  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

*Материалы конференции публикуются в авторской редакции*

---

Подписано в печать 31.03.2016

Офсетная печать

Заказ № \_\_\_\_\_

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 2,0. Усл. печ. л. 2,7.

Тираж 70 экз.

---

Редакционно-издательский центр НГУ  
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2