

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

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

**МНСК–2017**

**17–20 апреля 2017 г.**

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ  
И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

**Новосибирск  
2017**

УДК 53  
ББК 22.3+32

Материалы 55-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2017: Инструментальные методы и техника экспериментальной физики / Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. – 55 с.

ISBN 978-5-4437-0623-8

**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 978-5-4437-0623-8

© Новосибирский государственный  
университет, 2017

**NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY  
SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

**PROCEEDINGS  
OF THE 55th INTERNATIONAL STUDENTS  
SCIENTIFIC CONFERENCE**

**ISSC-2017**

**April, 17–20, 2017**

**INSTRUMENTATION IN EXPERIMENTAL PHYSICS**

**Novosibirsk, Russian Federation  
2017**

Proceedings of the 55<sup>th</sup> International Students Scientific Conference.  
Instrumentation in experimental physics / Novosibirsk State University.  
Novosibirsk, Russian Federation. 2017. 55 pp.

ISBN 978-5-4437-0623-8

**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. Section

## Анализ возможности формирования ЭМИ наносекундной длительности в многоканальной резонансной системе

Алексеев Б. А.

Томский политехнический университет

В настоящее время развитие радиотехнических систем различного назначения характеризуется потребностью увеличения пиковой мощности на выходе генератора и расширением абсолютной полосы частот электромагнитного излучения. Одним из возможных направлений для реализации данной потребности является метод на основе интерференционного сложения колебаний с эквидистантными частотами. Данный метод позволяет увеличивать амплитуду импульсов пропорционально квадрату количества генераторов. В то же время уменьшается и длительность импульса обратно пропорционально величине дискретности эквидистантных частот и количеству генераторов.

В работе рассматривается возможность реализации данного принципа в системе, состоящей из генераторов, последовательно подключенных к общему волноводу через частотные фильтры на основе резонаторов бегущей волны. Фильтры играют роль развязки между генераторами и общим волноводом. Частоты генераторов должны располагаться в порядке увеличения или уменьшения частоты, а резонансная частота фильтра – совпадать с частотой генератора. Данная система может работать в двух режимах: режим формирования цуга импульсов, который возникает при длительности импульсов генераторов  $t_{имп} \gg 3\tau$ , где  $\tau$  – постоянная времени резонаторов, а также режим формирования одиночного импульса, где  $t_{имп} \ll 3\tau$ .

В работе показано:

- в режиме последовательности импульсов максимальное значение КПД достигается при значении постоянной времени  $\tau = 3/\Delta f$ , где  $\Delta f$  – частота эквидистантной дискретизации. КПД преобразования импульсов в этом случае может достигать 86 %, а энергия, идущая на создание боковых лепестков, составляет 9 %;
- в режиме одиночного импульса, постоянную времени  $\tau$  стоит выбирать близкой к значению  $\tau = 0.7/\Delta f$ . В этом случае КПД преобразования импульсов может достигать 62 %, а энергия, идущая на создание боковых лепестков, – 7 %.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Чумерин П. Ю.

## **Оценка излучения потерь тороидального СВЧ-резонатора с малой щелью**

Асмедьянов Н. Р.

Новосибирский государственный университет

Одним из наиболее перспективных направлений в модификации поверхностей является метод обработки плазмой. На данный момент он требует использования вакуумных камер, что приводит к понижению концентрации рабочих газов, большой стоимости и трудностям при встраивании в технологические линии. Актуальным становится вопрос использования этого метода в атмосферных условиях. Пропускание эклектического тока через плазму позволяет увеличить энергию ионов в сотни раз. Используя пульсирующие разряды, можно добиться большой плотности потока ионов на поверхность. С целью получения контролируемых ионных потоков в районе газвыделяющей головки был размещен СВЧ-резонатор с зазором на подвижной головке. Электромагнитное поле, излучаемое через зазор, может достигать значений, способных влиять на добротность резонатора и превышать допустимые нормы.

Интенсивность излучения на выходе действующего резонатора весьма непредсказуема, практически невозможно говорить о точных ее значениях в каждой точке пространства, но из наводящих соображений можно привести общий вид функций распределения в цилиндрических координатах. У идеального резонатора не должно быть зависимости излучения щели от горизонтального угла. Но малейшая асимметрия приведет к тому, что отраженные волны будут действовать как второй источник. Распределение по вертикальной координате должно иметь вид дифракции на щели, что и подтвердили эксперименты. Поляризация поля должна быть везде преимущественно перпендикулярной плоскости щели, что вызвано расположением излучающей петли и граничными условиями резонатора, однако из оценочных экспериментов видно, что поляризация имеет форму наклонного эллипса.

Оценка суммарного излучения показала, что влияние щели (~1 мм) на добротность составило менее 1 %, а радиационное воздействие на предельной мощности генератора много меньше ограничений САНПИН.

Основным недостатком работы является систематическая погрешность, вызванная большим размером измерительной антенны относительно характерных расстояний.

Научный руководитель – Медведев А. Э.

**Модернизация системы питания  
выпускного устройства ускорителя электронов**

Барабанов В. В.

Новосибирский государственный университет

Импульсные линейные ускорители (ИЛУ) разрабатываются и поставляются заказчикам Институтом ядерной физики СО РАН начиная с 1970 г. Они находят применение как в исследовательских, так и в промышленных радиационных установках в России и за рубежом.

Для корректной работы фокусирующей аксиальной линзы и линзы Пановского выпускного устройства ускорителя требуются стабилизированный источник тока, работающий в условиях отклонения сетевого напряжения в некоторых пределах, помех и импульсных падений напряжения, связанных с особенностями работы самого ускорителя.

Используемый источник тока представляет из себя AC-DC преобразователь, выходное напряжение которого регулируется пропорционально стандартному сигналу управления 0–10 вольт. Значение тока в нагрузке отслеживается бесконтактным датчиком тока, сигнал с которого реализует отрицательную обратную связь.

Распространенные AC-DC преобразователи имеют выходное напряжение 48 вольт, недостаточное для корректной работы. Снятие с производства хорошо зарекомендовавшего себя AC-DC преобразователя приводит к необходимости поиска его замены и модернизации схемы управления. Подходящий источник с менее распространенными параметрами стоит гораздо дороже широко распространенных устройств.

Данная работа посвящена разработке источника со следующими параметрами: выходной ток до 20 ампер при выходном напряжении до 50 вольт, точность поддержания тока, заданного стандартным сигналом управления, на уровне 1 %.

Импульсный источник тока, работающий на частоте преобразования 50 кГц, реализован по схеме полного моста. Он имеет фильтр сетевых помех и защиту от аварийных режимов работы, вызванных помехами.

Научный руководитель – Власов А. Ю.

## **Устройство управления датчиком-дальномером и датчиком-диэлектрометром на основе СВЧ-автогенератора**

Бердюгин А. И., Выговский В. Ю.  
Томский государственный университет

На сегодняшний день существует большое разнообразие устройств для измерения расстояний. Несмотря на это, существует необходимость в создании недорогих, малогабаритных устройств, способных измерять расстояния в особых условиях (при высоких температурах, взрывоопасности и т. д.) или продиктованных конкретным оборудованием. В свою очередь, создание устройства, способного в короткие сроки и с высокой точностью определять диэлектрическую проницаемость исследуемого вещества, является перспективной задачей науки и техники.

На кафедре радиоэлектроники разработан датчик, реагирующий на изменение длины волны в однопроводном резонаторе при изменении частоты возбуждающего генератора. Этот датчик может быть использован для измерения длины резонатора. Так же рассматривается применение данного датчика в роли диэлектрометра, где при фиксированной длине резонатора измеряется относительная диэлектрическая проницаемость среды. Перед авторами была поставлена цель: создание цифрового устройства для управления датчиком и получения информации о расстоянии до препятствия либо о значении относительной диэлектрической проницаемости исследуемого вещества. Управление и обработку сигналов в таких устройствах целесообразно выполнять с помощью микроконтроллерных средств, так как с их помощью обеспечивают автоматизацию всего процесса управления системой.

Датчик формирует низкочастотный периодический во времени сигнал. Анализируя количество полупериодов этого сигнала можно определить один из искомых параметров (расстояние, диэлектрическая проницаемость). В качестве устройства обработки сигнала с датчика использовалась платформа Arduino Uno. Источником, управляющим частотой СВЧ-автогенератора послужил микроконтроллер ATmega8 с ЦАП, собранным по схеме R-2R. Программы устройств написаны на языке программирования C++. Для увеличения функциональных возможностей системы реализован интерфейс взаимодействия этих устройств между собой. Информация об измеренном параметре выводится на двустрочный ЖК-дисплей.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Мещеряков В. А.

## **Исследование цилиндрических диэлектрических объектов в открытом резонаторе в гигагерцовом диапазоне частот**

Бессонов В. В.

Томский государственный университет

В настоящее время в мире существует большое количество различных цилиндрических диэлектрических объектов, например, медицинские нити, рыболовные лески. В работе рассмотрен один из частных случаев, где цилиндрическим объектом служит рыболовная леска различных диаметров от 0,1 до 0,6 мм. К производству диэлектрических цилиндрических объектов предъявляются высокие требования, одно из таких требований – это минимальное отклонение диаметра. Данный контроль отклонения диаметра можно обеспечить включением в технологический процесс устройств непрерывной неразрушающей радиоволновой диагностики. Такому условию удовлетворяет открытый резонатор.

Экспериментальная установка для измерения резонансной частоты и добротности открытого резонатора была построена на основе векторного анализатора цепей Agilent и открытого резонатора со сферическими зеркалами. Измерения проводились в диапазоне 30–40 ГГц, 56–67 ГГц. Образцы располагались в центре резонатора ортогонально его оси и параллельно вектору электрического поля в его пучности.

Результаты исследования показали, что потери, вносимые в открытый резонатор образцами, становятся заметными в диапазоне 57–67 ГГц, однако по абсолютной величине по-прежнему малы. Из этого следует, что основным параметром, определяющим реакцию резонатора на изменение диаметра цилиндра, является сдвиг резонансной частоты. С увеличением диаметра образца сдвиг резонансной частоты увеличивается.

С точки зрения диагностики диаметра лески необходимо, чтобы на единицу изменения диаметра образца приходилось максимальное значение изменения резонансной частоты резонатора, в связи с чем вводится понятие абсолютной чувствительности  $S = \partial(\Delta f) / \partial d$ . Данная величина различна на каждом участке и ее значение возрастает с увеличением диаметра образца и частоты.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Дорофеев И. О.

## **Измерение зависимости энергетического разброса пучка от его энергии на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М**

Борин В. М.

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

Важным параметром любого ускорителя является энергетический разброс его пучка. Он влияет на его геометрические размеры, а также является фактором, ограничивающим энергетическое разрешение в экспериментах физики элементарных частиц. Поэтому измерение энергетического разброса является достаточно важной задачей

Целью данной работы является определение степени влияния эффекта многократного рассеяния частиц в пучке на энергетический разброс электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-4М. За счет рассеяния происходит передача части энергии бетатронных колебаний в энергию продольного движения, увеличивая энергетический разброс пучка. Влияние эффекта нарастает с понижением энергии пучка, тем самым ограничивая минимально возможный энергетический разброс пучка в ускорителе.

В рамках данной работы было определено влияние данного эффекта на энергетический разброс пучка ВЭПП-4М, также проведено сравнение с расчетами для этих энергий. Для измерения влияния эффекта были проведены измерения энергетического разброса пучка в диапазоне энергий от 1 до 3 ГэВ. Для этого, с помощью стрик камеры на нескольких энергиях из этого диапазона была измерена зависимость продольного размера пучка от его тока. Используя эту зависимость, можно определить длину пучка в отсутствии коллективных эффектов, влияющих на длину пучка. Зная ее, можно определить энергетический разброс пучка. При малом влиянии эффекта рассеяния относительный энергетический разброс пучка линейно связан с его энергией. По отклонению полученной зависимости от линейной был измерен вклад этого эффекта в суммарный энергетический разброс.

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

**СВЧ-модуль блока управления  
фазой инжекционного комплекса ВЭПП-5**

Гао Чун

Новосибирский государственный университет

Современные ускорители позволяют получать элементарные частицы с энергией десятки и сотни ГэВ. Для этого необходимо контролировать и управлять мощностью СВЧ-устройств, работающих на частотах от единицы до десятков ГГц. Достоинством использования для этих задач микрополосковых СВЧ-элементов является сочетание легкости их изготовления и относительной простоты методов расчета, применяемых на этапе проектирования.

В данной работе рассматривается блок управления фазой СВЧ мощности инжекционного комплекса ВЭПП-5. Рабочая частота данного блока 1428 МГц. Повышенные требования к рабочим параметрам блока делают использование готовых промышленных элементов затруднительным. Решением является самостоятельная разработка отдельных узлов на основе полосковой технологии с необходимыми характеристиками на рабочей частоте. Высокая надежность, устойчивость к температурным, радиационным и другим воздействиям, хорошая повторяемость параметров, невысокая стоимость, а также ряд других факторов делает такой выбор предпочтительным.

Блок включает в себя входной буфер, построенный аттенюатор, фазовращатель и выходной буфер. Задачей входного и выходного буфера является развязка блока управления фазой от основного канала СВЧ. А построенный аттенюатор и фазовращатель управляет амплитудой и фазой СВЧ мощности. Используемые схемотехнические решения позволяют достичь необходимые технические параметры.

Научный руководитель – Суханов Д. П.

**Создание установки для проверки  
метрологических характеристик датчика электрического поля,  
применяемого в бортовой аппаратуре космических аппаратов**

Козлов А. С., Прокопьев Ю. М., Шилов А. М.  
Новосибирский государственный университет

Исследования электризации космических аппаратов (КА) и ее влияния на бортовую аппаратуру (БА) ведутся более 40 лет [1] и сохраняют актуальность по настоящее время [2–4]. Разработанный в НГУ датчик электростатического поля (ДЭП) [5] поставляется в комплектах аппаратуры, предназначенной для контроля электризации на различных КА, в том числе и серийно выпускаемых («Горизонт», «Радуга», «Глонасс», «Глонасс-М», «Молния-3К», «Экспресс», «Ямал», «Электро-Л», «Спектр-Р» и на нескольких малых КА). Развитие данных исследований требует применения датчиков с подтверждением метрологических характеристик, однако существующие метрологические установки (например, [6]) не позволяют провести испытания ДЭП в условиях, близких к режимам эксплуатации ДЭП на КА. Для решения данной проблемы нами разработан и изготовлен специальный поверочно-калибровочный стенд (ПКС), на котором произведена первичная калибровка партии датчиков ДЭП. Метрологические испытания данной партии, выполненные на эталоне [6] при нормальных условиях, показали, что максимальная погрешность ДЭП не превышает 15 % в диапазоне измерений от  $\pm 0,1$  до  $\pm 200$  кВ/м. Поэтому данный ПКС возможно использовать при проведении работ по внесению ДЭП в Государственный реестр средств измерений и в дальнейшем при производстве ДЭП.

1. DeForest S. E. Spacecraft Charging at Synchronous Orbit // J. Geophys. Res. 1972. Vol. 77. Feb. 1. P. 65 1–659.
2. Новиков Л.С. Взаимодействие космических аппаратов с окружающей плазмой: учеб. пособие. М. : Университетская книга, 2006. 120 с.
3. Иванов В. А., Кириллов В. Ю., Морозов Е. П. / Под ред. В. Ю. Кириллова. М. : Изд-во МАИ, 2012. 168 с.
4. Белик Г. А. автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2013.
5. Патент RU 2414717 «Датчик электростатического поля и способ измерения электростатического поля». 20.03.2011.
6. Установка поверочная средств измерений напряженности электростатического поля П1-23 (ЦКЛМ.411723.003).

Научные руководители – канд. техн. наук, доц. Прокопьев Ю. М., Шилов А. М.

**TDS-спектрометрия  
в исследовании высокодобротных резонансных структур**

Ле Б. Х., Кремзер Р. А., Ле К. Т.

Томский государственный университет

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Терагерцовым называется электромагнитное излучение с частотой колебаний, расположенной в интервале от 0,3 до 10 ТГц, т. е.  $0,3 \times 10^{12}$ – $10 \times 10^{12}$  Гц (длина волны: 1 мм – 30 мкм). Терагерцовое излучение безвредно для человека, что позволяет применять его для медицинской диагностики, в современных системах безопасности, экологического мониторинга, для контроля качества медикаментов и продуктов питания, высокоскоростной связи. Измерения спектров пропускания, отражения и поглощения в терагерцовом диапазоне частот могут осуществляться как частотными методами, предполагающими вариации (как правило, сканирование) частоты колебаний источника излучения, применяемого в спектрометре, так и тайм-доменной методикой (TDS), в основе которой лежит использование короткого импульса излучения и Фурье-преобразование протектированных сигналов реакции исследуемого объекта на этот короткий импульс.

Представляет интерес исследование особенностей измерений тайм-доменной методикой спектральных характеристик объектов, содержащих резонансные элементы с высокой добротностью. Для таких объектов характерны малые значения ширины резонансных кривых и, соответственно, долгое время «звучания» в реакции на импульсное возбуждение. Особый интерес представляет TDS анализ характеристик многочастотных высокодобротных резонансных структур.

Экспериментально исследована возможность наблюдения многочастотного спектра резонансных колебаний открытого КВЧ резонатора методами TDS-спектрометрии. Полученные результаты важны для дальнейшего продвижения в высокочастотную часть терагерцового диапазона, где частотные методы реализуется с трудом, и в основном используются TDS-методы спектрального анализа.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Дунаевский Г. Е.

**Диагностика продольного профиля пучка  
в накопителе-охладителе инжекционного комплекса  
ИЯФ СО РАН с помощью стрик-камеры и диссектора**

Ма Сяочао

Новосибирск государственный университет

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

Эта работа посвящена измерению продольного профиля сгустков частиц в накопителе-охладителе (НО) инжекционного комплекса (ИК) ИЯФ СО РАН. ИК – интенсивный источник электронных и позитронных сгустков с энергией до 510 МэВ, обеспечивающий все потребности в частицах всех работающих и строящихся в ИЯФ СО РАН установок на встречных электрон-позитронных пучках.

Пучки электронов и позитронов, вращающиеся в НО, испускают синхротронное излучение в оптическом диапазоне длин волн (СИ) при движении в поворотных магнитах. По длительности вспышки СИ можно определить продольное распределение частиц в пучке. Для регистрации вспышки СИ длительностью около 100 пикосекунд мы использовали стрик-камеру и электронно-оптический диссектор. С помощью этих приборов исследовалась динамика продольного профиля пучка как при его инжекции в НО из линейного ускорителя, и при накоплении пучка в НО и инжекции из НО в выпускной канал. Зарегистрированы равновесные профили пучка с гауссовым распределением плотности частиц, а также нестабильные распределения, возникающие в пучке при развитии фазовых колебаний. Оба прибора позволяют измерить распределение частиц пучка по сепаратрисам НО. Проведены оценки эффективности захвата пучка в НО из линейного ускорителя.

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

**Исследование импульсных и частотных характеристик аморфного железа для барьерных станций коллайдера NICA(Дубна)**

Мальшев А. М.

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

Аморфный металл – металлический материал с высокой степенью хаотичности, беспорядочности распределения атомов. Такую структуру металлы приобретают при охлаждении со скоростью  $>10^6$  °К/с. Их удельное электрическое сопротивление в 3–5 раз выше, чем у кристаллических аналогов. Аморфные сплавы обладают меньшими удельными магнитными потерями по сравнению с электротехнической сталью, пермаллоями и ферритами. Они имеют высокую магнитную проницаемость и индукцию насыщения на высоких частотах. Барьерная станция коллайдера NICA предназначена для стекинга частиц с последующим ускорением накопленных частиц до энергии эксперимента. Станция выполнена на основе 14 секций, состоящей из колец аморфного железа с формирователями импульсов напряжения (ключами), располагающихся последовательно для формирования суммарного напряжения 5кВ. Каждое кольцо охватывают петлями связи, которые подключены к транзисторным формирователям импульсов. Данная работа посвящена исследованию характеристик аморфного железа для использования его в барьерной станции коллайдера NICA. Были проведены малосигнальные и высоковольтные измерения колец разного типа. Выявлены границы линейности аморфного железа, произведен расчет мощности. Посчитаны параметры эквивалентной схемы ключей и колец для исследования возбуждения колебаний всей барьерной системы от фронтов импульсов напряжения. Проведено исследование скорости затухания этих колебаний и необходимости их демпфирования. Дополнительно использованы S-параметры секций, полученные при помощи векторного анализатора.

Научный руководитель – Крутихин С. А.

## **Расчет и оптимизация канала транспортировки пучка из ВЧ пушки для Новосибирского ЛСЭ**

Матвеев А. С.

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

Новосибирский лазер на свободных электронах (ЛСЭ) – мощнейший источник терагерцового излучения в мире. Важным условием повышения мощности излучения является улучшение параметров электронного пучка, что включает в себя уменьшение эмиттанса, а также увеличение пикового и среднего тока.

В настоящее время ведется разработка новой ВЧ пушки для инжектора Новосибирского ЛСЭ, которая позволит увеличить средний ток и уменьшить величину эмиттанса пучка на выходе. Транспортировка пучка из данной ВЧ пушки в существующий инжектор будет осуществляться через 90 градусный ахроматический поворот.

Цель данной работы – рассчитать оптимальный режим оптической системы канала транспортировки пучка из ВЧ пушки, т. е. режим с минимальным значением эмиттанса пучка на выходе. Расчет электронной оптики канала осложняют следующие факторы. Во-первых, низкая энергия пучка (~250 кэВ) приводит к необходимости учитывать влияние сил пространственного заряда. Во-вторых, поворот пучка и большой начальный энергетический разброс пучка (~8 %) приводят к сильному влиянию хроматических aberrаций, вызванных дипольными магнитами и фокусирующими линзами, на динамику пучка. В-третьих, наличие неопределенности в энергии пучка на выходе из ВЧ пушки.

В данной работе проводится расчет режимов оптической системы поворотного канала и существующего инжектора. Моделирование проводилось с использованием пакета программ ASTRA, который позволяет учитывать влияние пространственного заряда и aberrаций оптических элементов. В результате был найден оптимальный режим конфигурации электронной оптики, обеспечивающий оптимальные параметры пучка на выходе из инжектора.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Шевченко О. А.

**ТГц пучки с орбитальным угловым моментом:  
генерация и исследование**

Осинцева Н. Д.

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

На данный момент генерация, исследование и применение пучков с орбитальным угловым моментом (ОУМ), или кратко «закрученных пучков», является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений в современной оптике. Такие пучки могут широко использоваться в различных приложениях, например, передача информации на большие расстояния, зондирование протяженных объектов и др. В данной работе представлено аналитическое описание, результаты экспериментальных исследований, а также численного моделирования формирования закрученных пучков на установке «Новосибирский лазер на свободных электронах».

ТГц бесселевы пучки с топологическими зарядами  $\pm 1$  и  $\pm 2$  были сформированы с помощью кремниевых бинарных аксиконов. Диаметры первого кольца пучков составляют 1,7 и 3,2 мм для топологических зарядов  $\pm 1$  и  $\pm 2$  соответственно. Такие пучки обладают уникальными свойствами, одним из них является свойство «бездифракционности», которое означает, что после формирования пучка, на протяжении некоторого продолжительного расстояния, его поперечное сечение остается неизменным. В нашем случае пучок формировался на расстоянии  $z \approx 130$  мм и сохранялся вплоть до  $z \approx 280$  мм. «Бездифракционная» длина распространения может быть увеличена двумя методами: изменением длины волны излучения и с помощью телескопической системы. Экспериментально длина распространения пучка была увеличена более чем в 10 раз, с помощью телескопической системы.

Еще одним уникальным свойством бесселевых пучков является свойство самовосстановления, которое означает, что пучок восстанавливает исходное состояние своего волнового фронта на определенном расстоянии после прохождения. Экспериментально было показано, что пучок самовосстанавливается даже в тех случаях, когда размеры объекта превышают размеры первого кольца пучка.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Чопорова Ю. Ю.

## **Широкодиапазонный измеритель тока с пределом чувствительности 500 фА**

Пелемешко А. В.

Новосибирский государственный университет

В процессе эксплуатации космического аппарата (КА) часто возникает потребность в информации об окружающей его среде. Важным параметром мониторинга являются данные о потоках низкоэнергетичных частиц, воздействие которых приводит к зарядке отдельных частей спутника и, как следствие, электростатическим разрядам. Основными источниками потоков частиц являются ионосферная плазма, потоки частиц от солнца, а также плазменные двигатели самого спутника.

Для контроля параметров потоков заряженных частиц низких энергий нами используется Датчик натекающего тока (ДНТ), разработанный в Отделе Атмосферных Исследований НГУ, который позволяет получать данные во время эксплуатации спутника в открытом космосе.

В данном докладе рассматриваются вопросы, связанные с усовершенствованием датчика и технические особенности измерительного каскада ДНТ, к которым относятся высокая чувствительность, широкий входной диапазон и устойчивость к условиям эксплуатации в открытом космосе на борту спутника. Входной каскад ДНТ обеспечивает измерение токов ниже 1 пА, обладает входным диапазоном 120 дБ и ошибкой измерений не более 20 %. В работе приведены результаты зависимости точности регистрации тока от времени измерения и результаты влияния системы автокалибровки на температурную стабильность измерительного тракта в диапазоне рабочих температур от  $-20$  °С до  $+50$  °С.

Научные руководители – канд. техн. наук, доц. Ю. М. Прокопьев, В. Ю. Прокопьев.

## Испытательный стенд для ускорительного масс-спектрометра

Петрищев Н. А.

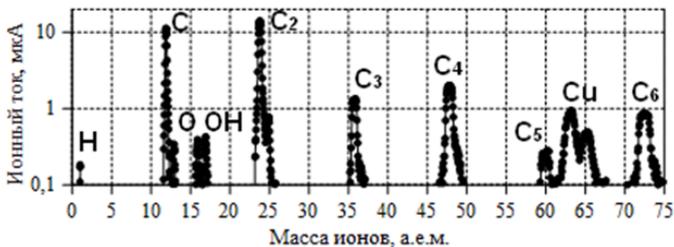
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск

В ИЯФ проводится регулярное радиоуглеродное датирование археологических образцов на ускорительном масс-спектрометре (УМС). Ввиду высокой загруженности УМС в этих экспериментах, с одной стороны, и необходимости совершенствования методик УМС, с другой, был создан испытательный стенд, позволяющий проводить исследования по модернизации узлов УМС без прерывания датирования.

Стенд представляет собой инжекционную часть УМС и включает в себя последовательно: ионный источник распылительного типа, формирующий из исследуемого образца пучок отрицательных ионов; ХУ-корректор для юстировки положения пучка относительно оси транспортного канала установки; поворотный магнит, являющийся масс-анализатором низкой энергии; окончательные регистрирующие устройство – цилиндр Фарадея.

Для управления установкой была написана программа управления, которая позволяет вести контроль рабочих параметров системы, таких как давление внутри вакуумной камеры установки и ток в обмотках магнита, и выбирать условия эксперимента – диапазон и шаг сканирующего магнитного поля, время измерения одной точки. Регистрация ионного тока ведется в автоматическом режиме с отображением результатов сканирования в режиме реального времени. По окончании каждого измерения все данные записываются в файл.

На стенде были проведены эксперименты по получению масс-спектров образцов графита марки МПГ (см. рисунок), в ходе которых достигнуто значение углеродного тока равное 10 мкА при энергии пучка 7 кэВ. Эксперименты показали полную работоспособность установки как масс-спектрометра низкой энергии, открывая возможности для проведения работ по подготовке модернизаций действующего УМС.



Характерный масс-спектр образца МПГ

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Растигеев С. А.

## Оценка погрешности метода малых возмущений при расчете диэлектрической проницаемости материалов

Поливанова А. С.

Томский государственный университет

Теория возмущений впервые была разработана для небесной механики. В своем начальном смысле она связана с разработкой различных способов учета изменений движения планет [1]. Объемный прямоугольный резонатор [2] применяется для исследования электрофизических свойств диэлектрических материалов. Экспериментальный образец в этом случае представляет собой длинный стержень с поперечными размерами не более 2 мм, который помещается в измерительную ячейку. Возникает задача о малом возмущении, находящемся внутри объема резонатора. Расчетные формулы для нахождения диэлектрической проницаемости (ДП) материалов, приведенные в [2], учитывают уход резонансной линии и изменение ее полуширины и являются приближенными, так как в них присутствует погрешность математической модели, заключающаяся в том, что образец: а) находится точно в центре пучности поля; б) является бесконечно тонким. Возникает вопрос: как изменится значение, если образец установлен не строго в центре резонатора?

Перед данной работой была поставлена цель: провести исследование влияния поперечных размеров и положения образца в резонаторе на величину ДП. Для этого использовалась программа расчета электромагнитных параметров образцов с учетом погрешности математической модели [3].

Исследования показали, что при расчетах допустимая погрешность действительной части ДП составляет 3–5 %, а мнимой части – не более 10–15 %, если образец сдвинут относительно центра не более, чем на 3 мм. Поперечный размер образца оказывает меньшее влияние на рассчитанные значения ДП, поэтому его можно не учитывать.

---

1. Соболев В. А. Метод возмущений: алгебраические уравнения // Соросовский образовательный журнал. 1999. Т. 11. С. 117–121.

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

3. Поливанова А. С. Численное моделирование прямоугольного многомодового резонатора // Труды XIII Всеросс. конф. студенческих научно-исследовательских инкубаторов. Томск : Издательский дом ТГУ. 2016. С. 97–100.

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

## **Изучение динамической апертуры ускорителя «Collector Ring» для проекта «FAIR»**

Рабусов Д. В.

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

Динамическая апертура – область пространства, доступная для движения частиц в поперечном направлении, является одним из самых важных параметров ускорителя. Необходимость оптимизация данного параметра в процессе разработки любого ускорителя не подвергается сомнению. Для этого перед вводом ускорителя в эксплуатацию уже на этапе проектирования магнитной системы ускорителя проводятся численные расчеты, позволяющие оценить динамическую апертуру для различных оптик, после чего выбирается лучший вариант оптики ускорителя.

Кроме того, изучение влияния различных мультипольных составляющих магнитного поля на динамику поперечного движения частиц, частоту колебаний (Frequency Map Analysis) может уточнить физические требования к качеству производства магнитных элементов. Таким образом, целью работы является изучение динамической апертуры, нелинейной динамики частиц в ускорителе «Collector Ring» с дальнейшим формированием требований к качеству магнитных полей и точности выставки магнитных элементов.

Было проведено численное моделирование с помощью программы MADX (CERN). Для автоматизации процесса использовался внешний скрипт, написанный на языке «Python». Идеальная структура циклического ускорителя «Collector Ring» подвергалась различным возмущениям, таким как: введение мультипольных составляющих магнитного поля различного порядка, сдвиг магнитных элементов друг относительно друга, вращение относительно различных осей. Далее в неидеальной структуре проводился трекинг частиц при различных начальных условиях, по которым была построена карта динамической апертуры.

Научный руководитель – Роговский Ю. А.

## **Проектирование и испытание выходного усилителя мощности канала ближнепольной магнитной связи**

Сушков А. А.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В настоящее время существует проблема связи с подводными и подземными объектами. Использование электромагнитных волн, для решения данных задач, является не эффективным по ряду причин: высокое затухание сигнала в среде; из-за неоднородности среды, через которую будет передаваться сигнал, возникает резкое изменение параметров канала связи; большие габаритные размеры передающей и приемной антенны для низкочастотных диапазонов.

Для решения данных проблем предлагается реализовать систему ближнепольной магнитной связи. Затухание магнитного поля в грунте и воде практически не отличается от затухания в окружающей среде. Это позволит передавать информацию через различные среды без значительного изменения уровня полезного сигнала. Также ограничения снимаются с габаритов антенны, так как прием может осуществляться с помощью обычной катушки индуктивности любого размера или датчика магнитного поля. Существует два типа построения усилителей мощности: резонансный и нерезонансный. В нашем случае будет разрабатываться широкополосный усилитель мощности нерезонансного типа для обеспечения широкой полосы пропускания системы связи.

Структурная схема усилителя мощности (инвертора) состоит из генератора управляющих импульсов, драйверов моста, силовых ключей, источника питания и нагрузки.

Испытания проходили в полевых условиях. Состав макета связи: цифровой передатчик и приемник; усилитель мощности; нагрузка, которая представляла собой катушку индуктивности, состоящую из 10 витков и площадью  $0,25 \text{ м}^2$ . Приемной антенной служил датчик магнитного поля на тонких магнитных пленках (ТМП). Система связи предназначена для передачи голосовых данных на несущей частоте от 10 кГц до 200 кГц. Испытания проходили на частоте 10 кГц, реактивное сопротивление катушки на данной частоте равно 5,7 Ом. В результате испытаний были получены следующие результаты: при величине магнитного момента  $40 \text{ А} \times \text{м}^2$  дальность радиосвязи составила порядка 100 метров. При увеличении магнитного момента до  $80 \text{ А} \times \text{м}^2$  дальность составила порядка 200 метров. Полученные данные полностью совпадают с расчетными значениями.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Беляев Б. А.

**Исследование переходных характеристик термоанемометра  
постоянного сопротивления  
в режиме автоматического переключения перегрева датчика**

Афанасьев Л. В.

Институт теоретической и прикладной механики  
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время одним из методов измерения, при проведении экспериментов на аэродинамических трубах, для выделения трех основных мод пульсаций (акустической, вихревой, энтропийной) в сжимаемом потоке является использование термоанемометра. Достоинством использования термоанемометра являются: миниатюрность датчика, широкая частотная (от единиц кГц до сотен кГц) полоса пропускания, что позволяет регистрировать достаточно высокочастотные пульсации без искажений. В экспериментах, проводимых в лаборатории № 14 ИТПМ СО РАН, применяются термоанемометры постоянного сопротивления (далее ТПС), так как они обладают более высоким коэффициентом чувствительности к пульсациям массового расхода, чем термоанемометры постоянного тока. До создания ТПС с режимом автоматического сканирования по перегревам, данный метод использовался ограниченно, из-за дороговизны экспериментов. Удешевить аэродинамические эксперименты с использованием сканирующего ТПС возможно, если уменьшить время сканирования. Одним из путей уменьшения времени измерения при его сохранении точности будет уменьшение времени перехода с одной температуры перегрева на другую.

В работе [1] изучались переходные процессы, возникающие при автоматическом переключении перегрева однопиточного датчика ТПС. Для этого снималась полная осциллограмма с ДС выхода ТПС. Сигнал оцифровывался 12-разрядным АЦП, который был установлен в крэйт КАМАК с частотой дискретизации 750 кГц. Исследовалось три прибора СТА-2, СТА-2016V1 и СТА-2016V2, каждый из которых переключал по 10 перегревов датчика.

По результатам измерений выполнен сравнительный анализ временных характеристик сканирующих ТПС, а также выработаны рекомендации для разработчиков данных приборов.

---

1 Афанасьев Л. В. Исследование переходных характеристик ТПС в режиме автоматического переключения перегрева датчика.

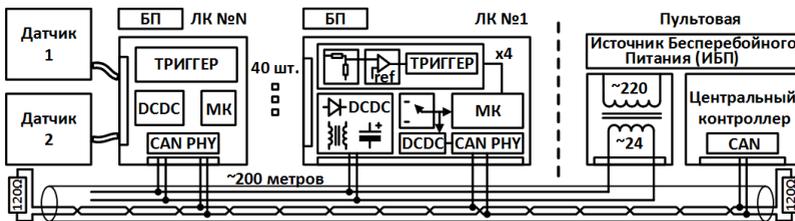
## Распределенная система мониторинга с резервируемым питанием

Балуев А. О.

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

В ИЯФ СО РАН разрабатывается линейный индукционный ускоритель с энергией 20 МэВ и током пучка 2 кА. Ускоритель управляется 40 локальными контроллерами (ЛК) на основе модифицированного **VME крейта** производства ИЯФ, разнесенными на расстояние порядка 200 м.

Специфика и стоимость проводимых экспериментов предъявляют высокие требования к надежности работы всех систем, включая систему питания крейтов. Для своевременного обнаружения сбоев блоков питания (**БП**) необходима система мониторинга. Одним из ключевых недостатков существующих решений является отсутствие резервного питания, что не позволяет сообщить об отключении локального источника  $\sim 220$  В. Спроектирована система мониторинга с **резервируемым** питанием, структура которой приведена на рисунке.



Упрощенная схема системы мониторинга

Переключение между локальным и резервным источником реализовано на мультиплексоре питания **TPS2114**. Регистрацию пульсаций напряжений обеспечивает амплитудный дискриминатор на **RS** триггере и компараторах **LMx39-N**, отклонение напряжений VME магистрали от номиналов измеряется при помощи АЦП. Подключение к общей шине гальванически изолировано. Шины питания и сети Controller Area Network (**CAN**) прокладываются одним совмещенным кабелем **UNITRONIC®**.

На настоящий момент собрано и эксплуатируется 5 крейтов с представленной системой мониторинга. В ходе тестирования были обнаружены сбои под действием электростатического разряда на корпус. Произведены схемотехнические и программные доработки, устраняющие данный эффект.

Ведется разработка программы оператора в системе **TANGO**.

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

**Модуль для автоматической угловой ориентации  
исследуемых материалов в квазиоптическом тракте**

Бердюгин А. И., Выговский В. Ю.  
Томский государственный университет

В настоящее время терагерцовый диапазон остается слабо освоенным, однако исследования в данном диапазоне позволяют получить новые знания об электромагнитных свойствах материалов различной природы. Процесс исследования электрофизических свойств материалов в квазиоптических линиях очень трудоемок, в особенности анизотропных материалов. При исследовании образцов анизотропных материалов необходимо производить их вращение относительно продольной оси распространения линейно поляризованной электромагнитной волны.

Недостатки данной методики заключаются в следующем: высокая погрешность установки углового положения образца, большие временные затраты ввиду продолжительности частотного сканирования в каждом угловом положении. Избавиться от данных недостатков можно путем осуществления автоматической угловой ориентации образцов.

В качестве прецизионного привода используется униполярный шаговый двигатель ШД-300 с тремя управляющими обмотками. Управление механизма осуществляется по средствам: устройств ввода-вывода информации, микроконтроллера и силового модуля управления ключами. Питание осуществляется от источника постоянного напряжения 24 В. На языке программирования С++ была написана программа для микроконтроллера ATmega328P. Устройство позволяет управлять углом поворота исследуемого образца анизотропного материала как в ручном режиме, так и в автоматическом, задавая начальную и конечную позиции, шаг, временную задержку для сканирования.

Апробация рабочего лабораторного макета устройство углового позиционирования была произведена в составе интерферометра Маха – Цандера в центре коллективного пользования «Центр радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов» Национального исследовательского Томского государственного университета. Данное устройство может быть использовано в другом экспериментальном оборудовании СВЧ диапазона, основанном на рупорном методе и методе открытого резонатора.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Бадьин А. В.

## **Система автоматической двумерной регистрации электрофизических свойств материалов**

Бердюгин А. И., Выговский В. Ю.  
Томский государственный университет

В настоящее время необходимость дистанционного контроля объектов особенно актуальна. Особое место среди существующих методов такого контроля (рентгеновская, ультразвуковая и магнитно-резонансная томографии) занимает терагерцовая томография. Данная диагностика является перспективной поскольку большинство характерных особенностей различных сред, а также спектры инородных включений попадают в терагерцовый диапазон. Однако недостатком такой методики является необходимость осуществления перемещения исследуемого объекта относительно пучка электромагнитного излучения.

Одним из путей решений данной проблемы является создание системы автоматической двумерной регистрации электрофизических свойств материалов. Данная система включает в себя два прецизионных привода, в качестве которых используются униполярные шаговые двигатели, обеспечивающие вертикальное и горизонтальное перемещение закрепленного образца относительно падающего излучения. Управление механизма осуществляется по средствам: ПК, модуля ввода – вывода E-154 фирмы L-card, силового модуля управления ключами. Питание осуществляется от источника постоянного напряжения 5 В.

В среде программирования LabVIEW была написана программа для управления системой автоматической двумерной регистрации электрофизических свойств материалов. Данная программа позволяет: вводить параметры сканирования (начальная позиция, шаг, размер области сканирования, величину задержки сканирования в каждой позиции); графически отображать интенсивность прошедшего излучения сквозь образец; сохранять результаты измерений в файл; вносить поправки в полученные результаты путем ввода формулы для пересчета.

Апробация системы автоматической двумерной регистрации электрофизических свойств материалов произведена в составе спектрометра СТД-21 в центре коллективного пользования «Центр радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов» Национального исследовательского Томского государственного университета.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Бадьин А. В.

## **Применение алгоритмов слежения за частицами для расчета полей скорости по изображениям с камеры светового поля**

Богачев В. А.

Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск

Анализ мгновенной вихревой структуры течения и ее динамики по времени является востребованной задачей во многих научных и практических задачах. Для получения мгновенного поля скорости используются различные методы, основанные на слежении за частицами, такие как Particle Image Velocimetry и Particle Tracking Velocimetry. Данные методы позволяют получать трехмерное поле скорости, обычно для этого используется несколько камер, однако в последнее время появилась возможность использовать одну пленоптическую камеру, которая позволяет получать глубину объекта, т. е. координату по главной оптической оси камеры, что сильно упрощает требования на оптический доступ.

Для решения проблемы получения мгновенного поля скорости в ИТ СО РАН разрабатывается система «ПОЛИС». Система состоит из экспериментальной установки и программного обеспечения «ActualFlow». В поток в экспериментальной установке добавляются частицы, после чего делаются пара изображений, и затем на основании полученных изображений с помощью различных алгоритмов распознавания частиц и нахождения пар частиц получают искомые поля скоростей.

Целью работы является разработка и применение алгоритмов для получения трехмерного поля скорости на основе изображений с камеры светового поля.

В ходе работы был разработан алгоритм идентификации частиц, основанных на поиске локальных максимумов, были подобраны оптимальные параметры алгоритма, был применен алгоритм Particle Tracking Velocimetry с оценкой вероятности исходов для изображений с пленоптической камеры для получения трехмерных полей скорости. Полученные алгоритмы были протестированы на массиве изображений, полученных в эксперименте, в котором рассматривалось движение частиц в струе воды в щелевом канале глубиной 4 мм. Полученное поле скорости было разбито на области различной глубины, после чего было показано, что результаты совпадают с данными, ранее полученными другими методами.

Результатом работы является программный модуль для расчета поля скорости, который в дальнейшем может быть использован в программном обеспечении «ActualFlow».

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

## Создание программного обеспечения для универсального сенсора «SpectraAnalyte»

Галеев А. Е.

Новосибирский государственный университет

Создание чувствительного сенсора является актуальной задачей в самых различных областях жизнедеятельности, например в криминалистике, экологии и в главную очередь в медицине. Известно, что различные болезни вызывают изменение баланса веществ в организме человека в результате биохимических процессов. Существует возможность определения таких летучих биомаркеров в выдохе человека. Такой метод детектирования является неинвазивным, что особенно востребовано при сложных медицинских операциях или медосмотрах. Однако работа с такими приборами, как правило, требует специальную подготовку медицинского персонала в области спектроскопии и поэтому создание полностью автоматизированного сенсора для использования в амбулаторной практике является крайне важной задачей.

В данной работе описывается создание программного обеспечения для оптического сенсора, принцип работы которого основан на спектральном анализе газового разряда. Для автоматического качественного спектрального анализа вещества выбран кросс-корреляционный метод [1]. Метод основан на вычислении кросс-корреляционной функций для регистрируемого спектра исследуемого газа и спектров веществ из базы данных, предварительно приведенных к специальному виду. Наличие известного вещества в исследуемой пробе определяется по соотношению амплитуды корреляционного пика к шуму.

Составлена библиотека биомаркеров, содержащихся в выдохе человека, которая содержит порядка десяти веществ, найдены и реализованы методы в виде отдельных программных модулей для определения состава исследуемого газа и определения концентрации NO. Также разработан интерфейс, который позволяет использовать данный прототип газоанализатора пользователям, не имеющим каких-либо познаний в области спектроскопии.

Работа выполняется в рамках дипломной работы бакалавра в ИАиЭ СО РАН.

---

1. Петров А. А., Пушкарева Е. А. Корреляционный спектральный анализ веществ: в 2 кн. СПб.: Химия, 1993. Кн. 1. 272 с. Кн. 2. 272 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Атутов С. Н.

## Обработка сигнала с ЖК-калориметра

Григорьев А. С.

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

Одной из задач криогенного магнитного детектора, установленного на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 в Институте ядерной физики, является регистрация событий рождения нуклонов в результате электрон-позитронного взаимодействия. События, в которых происходит рождение нейтрон-антинейтронной пары с последующей аннигиляцией антинейтрона, регистрируются калориметрами детектора. Наиболее интересно изучение таких событий в области энергии, отстоящей от порога рождения нуклонов примерно на 25 МэВ. При таких энергиях аннигиляция антинейтрона в цилиндрическом жидкоксереновом калориметре происходит через 5 и более нс от момента столкновения пучков. Для уверенного опознавания таких событий нужно определять время пролета частиц до калориметра с точностью в несколько нс. Для решения данной задачи в лаборатории Института ядерной физики ведется разработка новой электроники жидко-ксеренового калориметра, которая будет производить дискретизацию сигналов калориметра для последующей цифровой обработки. Параллельно с этим ведется разработка программного обеспечения для обработки данных дискретизации.

Программный комплекс состоит из нескольких модулей. Первый из них производит извлечение данных, поступивших от башен жидко-ксеренового калориметра, из общих массивов данных детектора. При этом также отсеиваются данные, достоверность которых не подтверждена другими системами детектора КМД-3. Оставшиеся данные дополняются некоторыми параметрами, вычисленными на их основе. Второй модуль, используя данные, прошедшие первичную обработку, вычисляет время прихода сигнала и его амплитуду. Алгоритм основан на методе подгонки.

Данный программный комплекс был протестирован на смоделированных данных и готов к тестированию на реальных данных, полученных с калориметра, как только они будут готовы.

Научный руководитель – канд. техн. наук Юдин Ю. В.

**Моделирование полупроводникового производства  
на основе статистических данных**

Ершов И. А.

Томский политехнический университет

Одной из ведущих отраслей промышленности на сегодняшний день является производство интегральных микросхем. Именно поэтому проблема понижения себестоимости продукции без понижения качества становится как никогда актуальной. Ключевым фактором, влияющий на стоимость единицы продукции, является процент выхода годных изделий. Низкий процент выхода годных изделий можно повысить не только непрерывным совершенствованием технологического процесса, но и модернизацией контроля качества. Именно совершенствуя контроль качества можно достигнуть не только понижения процента брака, но и повышения качества продукции без серьезных изменений в технологическом процессе, что положительно скажется на себестоимости продукции.

Основной проблемой в контроле качества является избыточность статистических данных, которые формируются из измерений параметров микросхемы практически на каждом этапе технологического цикла. Данная проблема обусловлена особенностью производства интегральных микросхем: технологический процесс производства единицы продукции состоит из нескольких сотен шагов. Очевидно, что корректная обработка такого количества информации невозможно. Именно поэтому необходимо выработать методику обработки данных, для их дальнейшего использования в совершенствовании контроля качества.

Проводятся исследования по разработке методики применения кластерного и дискриминантного анализа для моделирования технологического процесса полупроводникового производства г. Томска. Данные представляют собой результаты промежуточного контроля, технологические параметры и процент выхода годных изделий. Цель данного исследования заключается в нахождении параметров, которые оказывают наибольшее влияние на процент выхода годных изделий. Основной проблемой обработки больших объемов статистической информации заключается в том, что применение стандартных методов обработки данных зачастую приводит к некорректным результатам.

Разработанная модель может быть использована для оценки процента выхода годных изделий до полного прохождения технологического маршрута. Данную информацию можно использовать для утилизации либо доработки заведомо негодной продукции.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Стукач О. В.

## **Модули отображения данных мониторинга для веб-сайта детектора КМД-3**

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 регистрации частиц используются детекторы 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, не зависящий от программного обеспечения измерительной аппаратуры, а также предоставляющий унифицированный доступ к панели управления через браузер.

Интерфейс оператора системы медленного контроля играет ключевую роль при проведении экспериментов с детектором КМД-3. В связи с тем, что он был разработан и спроектирован около 10 лет назад, на сегодняшний день происходит его обновление и расширение функционала. Целью данной работы является создание модулей отображения данных медленного контроля для веб-сайта управления детектора КМД-3 с использованием современных инструментов и методов в разработке веб-приложений. В качестве основы для сайта используется 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 происходит интеграция разработанных модулей мониторинга в веб-сайт контроля и управления детектора КМД-3. Происходит расширение функционала системы и внедрение обновлений процедуры отрисовки архивных значений из базы данных медленного контроля.

Научные руководители – Анисенков А. В., канд. физ.-мат. наук  
Логашенко И. Б.

**Особенности ввода моделей электропередач постоянного тока  
в программы расчета режимов энергосистем**

Желнина К. В.

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Ввод в электроэнергетическую систему электропередач (ППТ) и вставок постоянного тока (ВПТ) позволяет дополнительно решать ряд актуальных задач, например, таких, как обеспечение перераспределения мощностей в неоднородных линиях; повышение пропускной способности линий электропередач, повышение устойчивости электроэнергетической системы и ряд других. Преобразовательные подстанции ППТ и ВПТ сегодня могут быть выполнены, как на преобразователях тока (ПТ), так и на преобразователях напряжения (ПН). Применение последних существенно расширяет функциональные возможности ППТ, но они значительно дороже. Сегодня широко распространены расчеты режимов энергосистем на основе их математических моделей, реализованных в программном комплексе Rastr Win. В статье показано, как в такую модель вписать модели ППТ на базе как ПТ, так и ПН. Для этого выполнены расчеты режимов одного из проблемных районов Челябинской энергосистемы, в котором при перспективных электрических нагрузках появляются послеаварийные режимы, сопровождающиеся перегрузкой двухцепной линии электропередачи. Перевод этой линии на постоянный ток позволяет решить возникшую проблему.

Научный руководитель – канд. техн. наук, проф. Гольдштейн М. Е.

**Применение среды MATLAB / SIMULINK  
для оценки статической устойчивости синхронного генератора**

Зарудная А. П.

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Среда Matlab / Simulink сегодня находит широкое применение в задачах имитационного моделирования различных элементов электроэнергетической системы. Одной из таких задач является анализ устойчивости синхронных генераторов, параллельно работающих с энергосистемой. Возможности среды позволяют моделировать установившиеся режимы синхронного генератора, переходные процессы в его цепях при включении и отключении нагрузки и коротких замыканиях в сети, что необходимо при анализе его устойчивости. Однако применение среды сопряжено с рядом трудностей – реализованные в пакете схемы замещения отдельных элементов часто отличаются от общепринятых в отечественной литературе и требуют дополнительных навыков при их параметризации. Поэтому сохраняет свою актуальность изучение особенностей применения среды Matlab / Simulink в частности при оценке устойчивости синхронных генераторов.

В работе рассмотрены вопросы моделирования в среде Matlab / Simulink установившихся режимов парогазового блока мощностью 505 МВА, работающего параллельно с энергосистемой через цепь передачи напряжением 220 кВ, с целью оценки статической устойчивости. Для этого первоначально был выполнен расчет установившегося режима и определена угловая характеристика активной мощности (УХАМ) генератора в соответствии с общеизвестной методикой. Затем была собрана имитационная модель в среде Matlab / Simulink, при этом для каждого элемента модели было выполнено сопоставление его схемы замещения из среды с общепринятыми схемами, после чего получены выражения и составлены рекомендации по параметризации этих элементов. Далее было выполнено моделирование установившихся режимов и проведено сравнение полученных ранее потоков мощностей, напряжений в узлах и УХАМ генератора с результатами имитационного моделирования. Сопоставление результатов показало актуальность предложенных рекомендаций, в связи с чем они могут быть полезны в случае применения среды при анализе статической устойчивости отдельных генераторов в энергосистеме.

Научный руководитель – канд. техн. наук Горшков К. Е.

## **Моделирование процесса селективного лазерного плавления в приближении сплошной среды**

Иванов А. А.

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время активно развиваются технологии аддитивного производства. Селективное лазерное плавление (СЛП) является одной из таких технологий, при этом формирование готового изделия осуществляется посредством послойного сплавления порошкового материала. Преимуществом данной технологии является возможность создания изделий из металлических и керамических порошков.

При подготовке к процессу СЛП осуществляется преобразование трехмерной модели изделия в последовательность двумерных сечений (слоев), также задаются параметры обработки.

В ходе процесса выполняется сплавление металлического порошка последовательным сканированием заданной области в очередном слое с помощью сфокусированного лазерного луча. Параметры процесса (такие как мощность лазера, скорость сканирования, толщина слоя порошка, расстояние между линиями сканирования) определяют прочностные характеристики изделия, а также состояние его поверхности. Целью работы является создание модели распространения тепла в процессе лазерного сплавления в обрабатываемом слое с учетом влияния подложки, для выявления взаимосвязи между скоростью сканирования, интенсивностью лазера и толщиной слоя порошка.

В результате разработана физическая модель распространения тепла в процессе СЛП, поставлены одномерные краевая задача и задача Стефана (для случая плавления материала). При этом область, в которой находится порошок, рассматривается как сплошная среда с модифицированными свойствами материала. Для численного решения поставленных задач разработана конечноразностная неявная схема. Написана программа на языке программирования C++, реализующая данную схему и рассчитывающая температурное распределение в произвольный момент времени. На основании данных, полученных в ходе вычислительных экспериментов, выявлены зависимости между ключевыми параметрами обработки.

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

## **Разработка системы для хранения конфигурационных данных канала К-500 на основе семантической модели**

Ильина М. А.

Новосибирский государственный университет

Конфигурационные данные, которые используют программные компоненты системы управления любой физической установки, достигают значительных объемов и высокой разнородности в больших экспериментальных комплексах. Цель работы состояла в реализации хранилища настроек, которое позволит обеспечивать непротиворечивость данных и автоматизировать их обработку.

### **Анализ возможных подходов к хранению настроек**

В процессе исследования были выявлены недостатки текущих подходов к хранению конфигурационных данных – локальные файлы и реляционные базы данных, не обладающие достаточной гибкостью. В качестве альтернативного варианта была рассмотрена онтологическая модель данных – схема понятий и связей между объектами некоторой предметной области, в совокупности с принятыми в этой области правилами. Формирование базы знаний предоставляет более широкие возможности для семантического анализа, поэтому выбор был сделан в пользу этого подхода.

### **Разработка хранилища конфигурационных данных**

Разработка онтологической модели хранилища данных для электрон-позитронного канала К-500 (ИЯФ СО РАН) шла в два этапа. Сначала были описаны базовые классы и сущности, используемые системой контроля (СХ-сервером) для управления устройствами канала К-500. В результате, конфигурационный файл, необходимый системе управления может быть сгенерирован из содержащихся в онтологии утверждений.

С другой стороны, после изучения устройства самой физической установки, в базу знаний были внесены ее характеристики, структура и все обслуживающие устройства. В совокупности эти две онтологии, после установления взаимосвязей, дают полную информацию об управлении установкой К-500.

Для создания онтологии на языке *OWL* использована платформа *Protégé*. К сформированной базе знаний можно совершать запросы на языке *SPARQL* программным образом, а также с помощью созданного пользовательского интерфейса. В перспективе в базу знаний может быть внесена любая дополнительная информация об устройстве установки помимо конфигурационной.

Научный руководитель – Чеблаков П. Б.

## **Автоматизация измерений поперечных размеров пучка в бустере БЭП**

Каньшин А. Н.

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

Эффективная эксплуатация ускорителя заряженных частиц требует измерения параметров циркулирующих пучков, это необходимо как на этапе запуска, так и при ежедневной эксплуатации для настройки оптимальных режимов работы. Средствами диагностики пучка должны оборудоваться не только вновь сооружаемые установки, но и уже существующие в процессе их модернизации.

Бустер БЭП на комплексе ВЭПП-2000 работал до 2013 г. в диапазоне энергий от 250 до 800 МэВ [1]. В 2013 г. было принято решение о его модернизации. Данная модернизация была необходима как для увеличения рабочего диапазона энергий до 1 ГэВ, так и для успешной инжекции пучков электронов и позитронов из Инжекционного Комплекса ВЭПП-5 [2]. Основной целью модернизации являлось достижение проектной светимости коллайдера ВЭПП-2000. В рамках проводимых работ по модернизации бустерного кольца БЭП было принято решение оборудовать один или несколько выводов синхротронного излучения новыми современными ПЗС матрицами, что позволит проводить измерения поперечных размеров и положения пучка.

В данной работе было создано программное обеспечение, использующее трехуровневую архитектуру драйвер – сервер – клиент с использованием программной среды Tango, для автоматизации измерений параметров пучка по изображению с ПЗС матрицы. Данная система позволяет удаленно регулировать параметры измерений и получать данные о пучке со скоростью вплоть до 15 Гц. Также было разработано программное обеспечение для измерения пропускной способности системы.

---

1. Роговский Ю. А. и др. Recomissioning and perspectives of VEPP-2000 complex // Proc of International Particle Accelerator Conference RuPAC-2016. Saint-Petersburg, Russia.

2. Беркаев Д. Е. и др. Comissioning of Upgraded VEPP-2000 Injection Chain // Proc. of International Particle Accelerator Conference IPAC-2016. Busan, Korea.

Научный руководитель – Сенченко А. И.

## **Измерение параметров электролитических двухслойных конденсаторов**

Кумарин А. А.  
Самарский университет

Развитие электронной компонентной базы привело к расширению возможностей современных наноспутников. Задачи, которые ставятся перед аппаратами, все шире и зачастую включают системы, требующие большой электрической мощности. В связи с этим требуются мощные накопители энергии, способные работать длительное время в широком температурном диапазоне. Кандидатами на эту роль являются суперконденсаторы (СК). Они уступают основным типам аккумуляторов в плотности энергии, но существенно превосходят их по мощности. Кроме того, большинство существующих моделей характеризуется миллионом циклов заряда / разряда с малыми ограничениями на процесс, в то время как Li-Ion выдерживают 500–1000 циклов при правильном процессе заряда.

Для использования СК в составе системы электропитания наноспутника необходимо исследовать изменение этих параметров в ходе испытаний в различных условиях. Наиболее важны электрическая емкость, внутреннее сопротивление и мощность саморазряда. Эти показатели могут различаться даже среди изделий из одной партии. Обычно допуск емкости составляет +80 / –20 %, а утечки даны в документации величиной максимального тока.

Методы измерений существенно отличаются от аналогов для обычных конденсаторов. Большая постоянная времени и энергия не позволяет применять методы, основанные на колебательных процессах. Однако медленное изменение напряжения при заряде / разряде постоянным током позволяют проводить достаточно точное определение емкости.

В докладе описана экспериментальная установка, основанная на указанном принципе. Описана реализация импульсного источника регулируемого тока. Источник способен работать от источника постоянного напряжения. Управление ходом эксперимента ведется с помощью микроконтроллера. Он контролирует заряд, разряд и сбор данных в соответствии с программой эксперимента. Разряд производится на регулируемую нагрузку, а также предусмотрены подключаемые постоянные нагрузки для разряда с большой мощностью. Данные о разряде позволяют вычислять внутреннее сопротивление.

Разработка может быть в дальнейшем использована при отладке системы энергоснабжения, а также в качестве зарядного устройства на борту наноспутника.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. Кудрявцев И. А.

**Управляемая индукционная система нагрева металлических образцов**

Лисицын А. Е.

Томский государственный университет

В настоящее время сверхпластичное формование изделий широко используется в производстве. Это связано с созданием новых металлических материалов, демонстрирующих большие равномерные удлинения при высоких температурах и скоростях деформации. Для выбора оптимального режима формования необходимо знать, как ведет себя материал при различных температурах. Поэтому актуальная задача современного материаловедения заключается в проведении механических испытаний новых материалов при повышенных температурах.

Целью настоящей работы является разработка устройства нагрева металлических образцов до заданной температуры с последующим ее поддержанием. В последствии устройство планируется установить на испытательный стенд Instron 40/50-20. Существующие технологии проведения испытаний подразумевают использование громоздких печей.

Устройство представляет собой индукционный нагреватель, оснащенный системой управления на базе микроконтроллера. Оригинальная программа управления реализует нагрев образца до необходимой температуры и поддерживает ее на протяжении всего испытания. Нагрев осуществляется действием достаточно сильного электромагнитного поля на цельнометаллический образец. Мониторинг температуры осуществляет система управления с помощью датчиков температуры (термопарами). Алгоритм управления состоит из бесконечной последовательности 4 шагов: включение индукционного нагревателя на определенный интервал времени, его отключение, замер температуры, расчет времени работы следующего временного интервала.

На данном этапе идет отработка узлов прибора и алгоритма управления, их тестирование.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Борзенко Е. И.

## **Использование ПЛИС на модуле счетчиков-дискриминаторов детектора ОД-4**

Ма Хунянь

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

Широко распространенным методом изучения характеристик вещества является рентгенографический анализ. Анализируется дифракционная картина, полученная при облучении исследуемого образца рентгеновскими фотонами. Итогом анализа является оценка структуры и состава вещества.

Для получения дифракционной картины в Институте ядерной физики разрабатывается рентгеновский однокоординатный детектор ОД-4 на большие углы. Он состоит из газовой камеры с трехслойным газовым электронным множителем и веерной полосковой регистрирующей структуры. Сигналы с полосок собираются на модули счетчиков-дискриминаторов, значения счетчиков вычитываются ПЛИС на материнской плате детектора и записываются в динамическую память. Собранные данные передаются на удаленную ЭВМ по сети Ethernet.

Управляющая часть модуля счетчиков-дискриминаторов базируется на ПЛИС, которая вычисляет качество импульсов от усилителей-формирователей. В модуле счетчиков-дискриминаторов детектора ОД-4 используется одна ПЛИС, для которой я разрабатываю дизайн.

Данный доклад ознакомит с дизайном счетчиков-передатчика и интерфейса между материнской платой и модулем счетчиков-дискриминаторов и методом передачи данных между материнской платой и модулем счетчиков-дискриминаторов.

Научный руководитель – канд. техн. наук Жуланов В. В.

**Пакет DREAM: автоматизация метода многопетлевых вычислений,  
основанного на рекуррентных соотношениях  
по размерности пространства-времени**

Мингулов К. Т.

Новосибирский государственный университет

Поиски Новой физики требуют все большей точности теоретических вычислений. В рамках Стандартной модели высокая точность достигается с помощью методов многопетлевых вычислений. Один из таких методов использует рекуррентные соотношения по размерности пространства-времени  $d$  [1].

В большом числе случаев решение системы подобных соотношений представляется в виде многократных сумм. Структура этих решений позволяет применить объектно-ориентированный подход, в котором каждая сумма представляется в виде объекта, имеющего «дочерние» объекты – вложенные суммы. Каждый объект принимает запросы от других объектов на вычисление в ряде точек, а после получения всех запросов вычисляется и возвращает результаты. Свойства рассматриваемых многократных сумм позволяют организовать это вычисление крайне эффективно, без вложенных циклов.

Описанный подход был реализован в пакете DREAM, автоматизирующем метод разностных уравнений, для системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica. Дополнительным преимуществом этого подхода является то, что он позволяет комбинировать метод разностных уравнений с другими методами многопетлевых вычислений. Например, можно реализовать объект, вычисляющий интеграл, а затем использовать его в иерархии объектов-сумм.

---

1. Lee R. N. Space-time dimensionality  $D$  as complex variable: Calculating loop integrals using dimensional recurrence relation and analytical properties with respect to  $D$  // Nuclear Physics B. 2010. Vol. 830, № 3. P. 474–492.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ли Р. Н.

**Автоматизация системы гидродинамики  
сканирующего проточного цитометра**

Мулюков А. Р.

Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН,  
г. Новосибирск

Новосибирский государственный университет

Сканирующий проточный цитометр – прибор для измерения широкого спектра параметров оптических свойств одиночных биологических клеток и микрочастиц в жидкости. Одним из основных принципов метода является гидрофокусировка, которая обеспечивает пропускание клеток с высокой точностью (отклонение потока частиц от центра не более нескольких микрон) через зону измерения. Гидрофокусировка обеспечивается системой гидродинамики, имеющей строгие требования (точность поддержания скорости порядка 0,1 %).

Для обеспечения нужной точности была разработана система из двух перистальтических насосов и двух датчиков давления. Было создано программное обеспечение для управления скоростями шаговых двигателей насосов с использованием обратной связи показаний датчиков. Были исследованы различные варианты гидродинамической схемы и режимы работы итоговой конструкции, такие как одновременная работа насосов, работа только одного насоса или попеременный режим. Была проанализирована работа ряда алгоритмов стабилизации скорости потока с помощью регулирования скорости насосов, а именно: алгоритм бинарного поиска скорости, алгоритм непрерывной подстройки, следящий за производной давления, PID-алгоритм. Были выявлены преимущества одних режимов работы и алгоритмов над другими и определены границы их применимости в реальных задачах проточной цитометрии. Разработанная система обеспечивает поток с колебаниями скорости в пределах 0,5–1 %.

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

## Система контроля потоков данных детектора КМД-3

Нефедов В. П.

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

В 2016 г. на комплексе ВЭПП-2000, расположенном в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, была проведена масштабная модернизация. Возросла светимость комплекса, увеличились потоки данных. Это привело к необходимости модернизации существующей системы сбора данных (ССД), в частности, автоматизации контроля поступающих потоков данных с целью оперативного выявления каких-либо неисправностей и наблюдения за прохождением процесса набора данных.

Данные с электроники детектора через специальные блоки приема-передачи данных и коммутаторы Ethernet параллельно считываются несколькими компьютерами. Отдельные части события затем собираются вместе на центральном сервере ССД. Для контроля потоков данных необходимо:

- считывать информацию с коммутаторов Ethernet;
- считывать информацию о входных и выходных потоках данных компьютеров, входящих в ССД;
- считывать информацию о работе ПО, осуществляющего сбор данных (а именно, заполненность внутренних буферов).

Для доступа к аппаратной части ССД (коммутаторы + компьютеры) был выбран протокол SNMP, позволяющий управлять сетевыми устройствами. Наблюдение за состоянием буферов осуществляется путем анализа собранных данных, включающих в себя информацию о внутренних буферах ПО. Все данные поступают в режиме реального времени.

Все данные, полученные в ходе контроля, сохраняются в базе данных детектора КМД-3. Это позволяет анализировать данные в дальнейшем, выявлять закономерности возникновения ошибок.

Ведется разработка алгоритма, который на основе собранных данных подскажет оператору о возникновении ошибок и нестандартных ситуаций. Также планируется реализовать специализированный веб-интерфейс для удобного взаимодействия с системой контроля.

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

## Моделирование плавления твэл в реакторах на быстрых нейтронах

Николаенко А. В.

Новосибирский государственный университет

Обоснование безопасности энергетических реакторных установок – важнейший этап проектирования. Однако проведение натурального эксперимента для обоснования безопасности конструкции реактора зачастую невозможно. На сегодняшний день преобладающим подходом к валидации того или иного проекта является численное моделирование процессов, протекающих в реакторе.

В ходе тяжелой аварии в реакторе на быстрых нейтронах с охлаждением жидким натрием, теплоноситель может разогреться до температуры кипения, испариться из активной зоны, оголив, таким образом поверхность тепловыделяющего элемента (твэл). В результате оголения может расплавиться как оболочка твэл, так и топливо. Дальнейшее движение расплава зависит от баланса сил, гравитации, сил вязкого трения с поверхностью твэл и трения с газовым потоком. Поэтому важным является понимание того, какой эффект будет иметь преобладающее воздействие и в какую сторону будет двигаться пленка расплава.

В представленной работе исследуется поведение расплавленной в результате аварии оболочки твэл реактора на быстрых нейтронах с учетом различных внешних условий: под действием силы тяжести, трения пленки расплава с газовым потоком и одновременном действии указанных сил. Для проведения численных расчетов использовался модуль SAFR интегрального кода ЕВКЛИД/V2, разработанный в ИБРАЭ РАН.

Численное решение анализировалось при различных расчетных параметрах, таких как шаг интегрирования, масштаб расчетной сетки и др.

Для проведения вышеописанных расчетов была проведена интеграция метода, позволяющего правильно рассчитывать перенос массы и энергии между расчетными ячейками.

Научный руководитель – канд. техн. наук. Усов. Э. В.

## **Разработка методов исследования несмешивающихся жидкостей в микроканалах**

Плохих И. А.

Новосибирский государственный университет

В последнее время можно наблюдать тенденцию к уменьшению масштабов устройств, что может значительно увеличить их КПД. Микроканальные устройства обеспечивают высокую скорость тепло- и массообмена, а также позволяют увеличить площадь контактной поверхности несмешивающихся жидкостей. Использование микроканальных реакторов для проведения химических реакций, таких как нитрование, не только повышает их эффективность, но и более безопасно в сравнении с традиционными методами из-за микроскопического количества реагирующих веществ. Микроканальные устройства также используются при создании эмульсий, кристаллизации белков, экстракции веществ. На массообмен в двухкомпонентных течениях могут влиять различные параметры, такие как скорость потока, размеры снаряда, циркуляция внутри снаряда.

Многие эксперименты в области микрогидродинамики проводятся с использованием методов измерения скорости, основанных на слежении за частицами-метками. Для этого во время эксперимента производится съемка исследуемого объекта на высокоскоростную камеру. Перед обработкой полученных изображений необходимо создать маску для каждого кадра из серии, которая выделяет участки изображений для расчета полей скорости.

В рамках данной работы было создано вспомогательное программное обеспечение, которое позволяет создавать динамическую маску для изображений. Для построения маски последовательно применяются несколько фильтров, такие как пороговый, медианный и фильтры на основе морфологических операций. Программное обеспечение также позволяет сгладить границы маски. Для этого применяется прямое и обратное Фурье-преобразование границы с уменьшенным количеством Фурье коэффициентов для ее восстановления.

Работа выполняется в рамках дипломной работы бакалавра в ИТ СО РАН.

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

## **Разработка децентрализованного алгоритма управления группировкой мобильных роботов**

Попеленков В. В.

Новосибирский государственный университет

В настоящее время возрос интерес к разработке алгоритмов управления группировкой мобильных роботов в различных средах. Использование группы роботов обеспечивает эффективное решение задач исследования, поиска, транспортировки, наблюдения, разведки. В децентрализованной системе каждый робот является независимой единицей, поэтому потеря одного или нескольких роботов в группе не повлияет на решение задачи.

Основными задачами алгоритмов управления являются формирование и перестроение группы, а также отсутствие столкновений. Ситуативные методы управляют объектами при помощи заданных правил поведения. Наиболее популярны методы потенциальных функций, где управление группы объектов определяется экстремумом заданного функционала [1]. Существует ряд работ, изучающие методы, основанные на поведении индивида в коллективе. Собственный характер позволяет выбирать стратегии поведения, ориентируясь среди других индивидов [2].

В данной работе реализованы методы в виде отдельных программных модулей для навигации мобильных роботов. В частности, реализованы и протестированы некоторые методы потенциальных функций [3]. Также разрабатываются системы для проведения симуляции и анализа.

Работа выполняется в рамках дипломной работы бакалавра в ИАиЭ СО РАН.

---

1. Naomi E. L., Derek A. P., Russ E. D. et al. Coordinated control of an underwater glider fleet in an adaptive ocean sampling field experiment in monterey bay // Journal of field robotics. 2010. 27(6). P. 718–740.

2. Stephen J. G., Sujeong K., Ming C. L. and Dinesh M. Simulation heterogeneous crowd behaviors using personality trait theory // ACM SIGGRAPH / Eurographics symposium on computer animation. 2011. P. 43–52.

3. Mehdi M., Dirk H. and Guy T. How simple rules determine pedestrian behaviour and crowd disasters // Proceedings of the national academy of sciences of the United States Of America. 2011. 108(17):6884–8.

Научный руководитель – канд. техн. наук Котов К. Ю.

## **Интерфейс вторичного триггера для вершинного детектора и дрейфовой камеры детектора КЕДР**

Радченко О. В.

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

Детектор КЕДР работает на ускорителе ВЭПП-4М в ИЯФ СО РАН. Аппаратная система отбора событий детектора КЕДР состоит из первичного и вторичного триггеров. Вершинный детектор и дрейфовая камера детектора КЕДР не успевают выдать сигналы к моменту принятия решения первичным триггером, поэтому они задействованы только во втором уровне отбора.

В настоящее время в институте планируется повышение энергии пучков на коллайдере ВЭПП-4М. В связи с этим возрастет нагрузка электроники и системы отбора. Поэтому для улучшения качества отбора полезных событий изготовлен трекфайндер, который выделяет треки частиц из получаемых данных и ищет их совпадение с заранее рассчитанными масками. Новому трекфайндеру для получения информации о сработавших каналах вершинного детектора и дрейфовой камеры требуются новые интерфейсы вторичного триггера.

Интерфейсы вторичного триггера для вершинного детектора и дрейфовой камеры детектора КЕДР получают информацию о сработавших каналах вершинного детектора и дрейфовой камеры через шину крейта КЛЮКВА и передают их в трекфайндер по двум последовательным линиям. Разработанные блоки включают в себя программируемую логическую микросхему FPGA серии Cyclone. Печатные платы интерфейсов одинаковые, однако проекты, записанные в микросхему FPGA, у них разные.

В процессе работы был написан на языке AHDL проект для FPGA, разработана принципиальная схема блока и разведена печатная плата. Во время тестирования на стенде для проверки модулей КЛЮКВА новый блок интерфейса вторичного триггера показал свою работоспособность, а все его параметры полностью удовлетворили техническому заданию. В дальнейшем для дрейфовой камеры потребуется выпустить 23 таких блока, а для вершинного детектора – 2.

Научный руководитель – Тальшев А. А.

## **Энергетическая калибровка электромагнитного калориметра детектора Belle II, используя события космических мюонов**

Ремнев М. А.

Новосибирский государственный университет

Belle II – детектор частиц на базе электрон-позитронного коллайдера SuperKEKB, который является продолжением эксперимента Belle по изучению CP-нарушения.

Энергия частиц в детекторе измеряется с помощью цилиндрического калориметра из 8736 кристаллов CsI(Tl). За каждым каналом калориметра закреплен регулируемый коэффициент преобразования между единицами АЦП и энергией в МэВ.

Чтобы сохранять высокое энергетическое разрешение детектора, требуется регулировка этих калибровочных коэффициентов. Для этой цели было решено использовать события космических мюонов, как процесс с хорошо изученной статистикой.

Анализа данных производился с помощью программной библиотеки для экспериментов в физике элементарных частиц CERN Root, входящей в BASF2 (Belle Analysis Software Framework, фреймворк, используемый в эксперименте Belle для моделирования событий, обработки и визуализации данных).

Для определения значений калибровочных коэффициентов, параметры зарегистрированных событий сравнивались с данными, полученными из моделирования детектора средствами инструментария Geant4, также входящего в состав BASF2.

Рассматриваемые события были разделены на несколько кластеров: direct (данные поступили с малого количества кристаллов – прямой пролет частицы), phi (данные поступили с линии кристаллов, соседствующих по углу  $\phi$ ) и z (данные поступили с линии кристаллов, параллельной оси калориметра). Спектр энергии, выделившейся в кристалле, сравнивался со спектром, полученным при моделировании. Калибровочные коэффициенты вычислялись таким образом, чтобы пики сравниваемых спектров совпадали.

Результатом этой работы является программный модуль, использующий средства фреймворка BASF2 для вычисления калибровочных коэффициентов электромагнитного калориметра.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Кроковный П. П.

## Экспериментальное исследование датчика металлических микрочастиц на основе микросхемы LDC1101

Гудков С. А., Селиванов Н. В.

Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С. П. Королева

Одним из актуальных косвенных методов контроля состояния гидравлических систем различных машин является измерение дисперсного состава микрочастиц износа (размер 50–200 мкм) в омывающей механизмы рабочей жидкости.

Одними из перспективных датчиков микрочастиц, наряду с оптическими, являются вихретоковые датчики (ВД). Проходной ВД обычно представляет собой катушку индуктивности, через центральный канал которой прокачивается исследуемая жидкость. ВД включается в колебательный контур автогенератора, поэтому по изменению рабочей частоты автогенератора можно определить величину изменения индуктивности ВД. По величине изменения индуктивности можно судить как о размере микрочастицы, так и материале, из которого она сделана.

Основной проблемой автогенераторных схем является их низкая стабильность. В 2013 г. компания Texas Instruments анонсировала серию микросхем LDC1000, представляющих собой высокочувствительные измерители индуктивности на основе автогенераторной схемы, выполненной на одном кристалле, что потенциально позволяет увеличить стабильность и порог чувствительности прибора.

Целью работы являлось исследование возможности использования данных микросхем для построения вихретоковых датчиков микрочастиц.

Для этого в ходе работы был разработан и изготовлен ВД на основе микросхемы LDC1101. Разработана программа для систематизации и обработки данных измерений. Определены погрешности измерения малых изменений индуктивности: до 1,6 пкГн погрешность квантования и до 5,6 пкГн случайная погрешность, обусловленная внутренними шумами схемы. Разработан и собран стенд для прокачки жидкости с микрочастицами. С помощью данного стенда были получены импульсные характеристики измерительной части схемы.

Таким образом, в результате работы была доказана возможность использования микросхемы LDC1101 в качестве вихретокового датчика микрочастиц износа, обладающего низкой стоимостью и высокой чувствительностью: менее 150 мкм для немагнитных микрочастиц и менее 100 мкм для ферромагнитных частиц. В дальнейшем планируется разработка встраиваемого ВД и уточнение порога чувствительности.

Научный руководитель – канд. техн. наук Кудрявцев И. А.

**Разработка программно-аппаратного комплекса  
для ультразвуковой диагностики двухфазных потоков  
в жидкометаллической среде**

Стрельник А. С.

Новосибирский государственный университет

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

Развитие атомной энергетики связано с применением ядерных реакторов на быстрых нейтронах, в конструкции которых используют жидкометаллические теплоносители. Для оптимизации гидродинамических и теплофизических параметров потока теплоносителя необходима экспериментальная информация о локальных скоростях и трехмерных структурах, возникающих при аварийной ситуации или локальных перегревах.

Сложность диагностики двухфазных потоков в жидкометаллическом теплоносителе реактора связана с непрозрачностью исследуемой среды, высокой температурой и давлением, необходимостью исследования емкостей больших объемов. Для бесконтактной диагностики структурных и динамических параметров непрозрачных двухфазных сред перспективно использовать ультразвуковые (УЗ) методы. Цель работы: разработать программно-аппаратный комплекс для ультразвуковой диагностики двухфазных потоков в жидкометаллической среде.

Для экспериментальных исследований методов обработки УЗ данных созданы стенды, предусматривающие управление параметрами двухфазных потоков вода-воздух и металл-воздух. Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс должен выполнять диагностику пространственной динамической структуры потока. Для этого применены время-пролетный и доплеровский УЗ методы. В измерительной схеме использованы УЗ преобразователи, работающие на различных частотах: 460 кГц, 4,2 МГц, 5 МГц. Реализованы аналоговый и цифровой смесители для определения доплеровского сдвига частоты.

Создан лабораторный образец программно-аппаратного комплекса, реализующий обработку доплеровских сигналов с применением аналогового и цифрового смесителя. Показано, что реализованный лабораторный образец позволяет измерять структуру и динамические характеристики одно- и двухфазного потока. Полученные результаты подтверждают перспективность развития ультразвуковых методов для исследования структуры двухфазного потока в жидкометаллической среде.

Научный руководитель – канд. техн. наук Двойнишников С. В.

## Определение матрицы ошибок для электромагнитного калориметра детектора Belle II

Широкова Д. А.

Новосибирский государственный университет

Belle II – эксперимент в области физики элементарных частиц по измерению параметров CP-нарушения в распадах B-мезонов и D-мезонов, а также поиску Новой физики. В эксперименте используется коллайдер SuperKEKB на встречных электрон-позитронных пучках с асимметричной энергией в системе центра масс ( $E_{e^-} = 4$  ГэВ;  $E_{e^+} = 7$  ГэВ).

Для регистрации частиц применяется универсальный детектор Belle II. Одна из важнейших частей детектора – электромагнитный калориметр, который регистрирует фотоны, измеряет их энергию и координаты, а также предоставляет информацию, используемую для идентификации частиц.

В целях улучшения точности измеряемых величин производится процесс кинематической реконструкции, представляющий собой минимизацию функции ошибки методом наименьших квадратов по параметрам, удовлетворяющим кинематическим уравнениям. Для этой процедуры необходимо закладывать ошибки оптимизируемых параметров  $E$ ,  $\theta$  и  $\phi$ , традиционно представляемых в виде матрицы.

Диагональные элементы матрицы ошибок представляют собой квадраты энергетического и углового разрешения ( $\sigma_E^2$ ,  $\sigma_\theta^2$ ,  $\sigma_\phi^2$ ), а недиагональные элементы описывают корреляции между различными параметрами.

Для определения матрицы ошибок требуется установить зависимость энергетического и углового разрешения в цилиндрической и торцевых частях калориметра от энерговыделения, уровня фона, а также координат частицы. Кроме того, необходимо рассмотреть корреляции между измеренными параметрами.

Анализ матрицы ошибок проводился на данных, полученных путем моделирования Монте-Карло, имитирующего процесс регистрации фотонов калориметром. Было исследовано влияние энерговыделения, уровня фона, положения частицы в калориметре на энергетическое и угловое разрешение. Так, для диапазона энергий 30–1000 МэВ при изменении уровня фона от 0 до 1 (фон при максимальной светимости), энергетическое разрешение  $\sigma_{\Delta E/E}$  в относительных единицах варьируется в диапазоне от  $(13,29 \pm 0,24) \times 10^{-2}$  до  $(1,94 \pm 0,02) \times 10^{-2}$ .

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Кроковный П. П.

**Разработка системы доступа к системе архивирования  
ускорительного комплекса ВЭПП-2000**

Шубина О. С.

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

Ускорительный комплекс ВЭПП-2000 был запущен после глубокой модернизации, в рамках которой была проведена реконструкция бустера БЭП для расширения рабочего диапазона энергий до 1 ГэВ, а также введен в строй канал транспортировки частиц (К-500) от Инжекционного Комплекса (ИК) до БЭП.

В течение экспериментальной работы в период с 2009 по 2013 гг. была введена в строй и активно эксплуатировалась Система Журналирования (СЖ). Данная система предназначена для сохранения текущих параметров комплекса для последующего изучения и анализа. Для эффективного взаимодействия (просмотра, поиска, выгрузка) с СЖ необходимо наличие развитого как программного, так и графического интерфейса. Также важным является вопрос доступности данных для пользователей из других подразделений.

С 2011 по 2016 гг. количество журналируемых каналов возросло с 1500 до 5000, и в текущее время существует потребность расширения списка каналов (~100 в полгода), что ведет к значительному росту сохраняемых данных.

Для решения данной задачи было решено разработать единый программный интерфейс, основанный на REST парадигме. В качестве протокола транспортного уровня выбран широко распространенный протокол HTTP. Реализованы несколько алгоритмов для оптимизации поиска и просмотра данных. Произведены оценки быстродействия. Создан графический интерфейс для просмотра данных в режиме «on-line».

Научный руководитель – Сенченко А. И.

## Авторский указатель

Алексеев Б. А.....	5	Лисицын А. Е. ....	38
Асмедьянов Н. Р.....	6	Ма Сяочао.....	14
Афанасьев Л. В.....	23	Ма Хунянь.....	39
Балуев А. О.....	24	Малышев А. М.....	15
Барабанов В. В.....	7	Матвеев А. С.....	16
Бердюгин А. И.....	8, 25, 26	Мингулов К. Т.....	40
Бессонов В. В.....	9	Мулюков А. Р.....	41
Богачев В. А.....	27	Нефедов В. П.....	42
Борин В. М.....	10	Николаенко А. В.....	43
Выговский В. Ю.....	8, 25, 26	Осинцева Н. Д.....	17
Галеев А. Е.....	28	Пелемешко А. В.....	18
Гао Чун.....	11	Петрищев Н. А.....	19
Григорьев А. С.....	29	Плохих И. А.....	44
Гудков С. А.....	48	Поливанова А. С.....	20
Ершов И. А.....	30	Попеленков В. В.....	45
Жадан Д. С.....	31	Прокопьев Ю. М.....	12
Желнина К. В.....	32	Рабусов Д. В.....	21
Зарудная А. П.....	33	Радченко О. В.....	46
Иванов А. А.....	34	Ремнев М. А.....	47
Ильина М. А.....	35	Селиванов Н. В.....	48
Каньшин А. Н.....	36	Стрельник А. С.....	49
Козлов А. С.....	12	Сушков А. А.....	22
Кремзер Р. А.....	13	Шилов А. М.....	12
Кумарин А. А.....	37	Широкова Д. А.....	50
Ле Б. Х.....	13	Шубина О. С.....	51
Ле К. Т.....	13		

## Оглавление

Алексеев Б. А. ....	5
Асмедьянов Н. Р. ....	6
Барабанов В. В. ....	7
Бердюгин А. И., Выговский В. Ю. ....	8
Бессонов В. В. ....	9
Борин В. М. ....	10
Гао Чун ....	11
Козлов А. С., Прокопьев Ю. М., Шилов А. М. ....	12
Ле Б. Х., Кремзер Р. А., Ле К. Т. ....	13
Ма Сяочао ....	14
Малышев А. М. ....	15
Матвеев А. С. ....	16
Осинцева Н. Д. ....	17
Пелемешко А. В. ....	18
Петрищев Н. А. ....	19
Поливанова А. С. ....	20
Рабусов Д. В. ....	21
Сушков А. А. ....	22
Афанасьев Л. В. ....	23
Балуев А. О. ....	24
Бердюгин А. И., Выговский В. Ю. ....	25
Бердюгин А. И., Выговский В. Ю. ....	26
Богачев В. А. ....	27
Галеев А. Е. ....	28
Григорьев А. С. ....	29
Ершов И. А. ....	30
Жадан Д. С. ....	31
Желнина К. В. ....	32
Зарудная А. П. ....	33

Иванов А. А.....	34
Ильина М. А.....	35
Каньшин А. Н. ....	36
Кумарин А. А.....	37
Лисицын А. Е.....	38
Ма Хунянь.....	39
Мингулов К. Т. ....	40
Мулюков А. Р. ....	41
Нефедов В. П. ....	42
Николаенко А. В.....	43
Плохих И. А. ....	44
Попеленков В. В. ....	45
Радченко О. В. ....	46
Ремнев М. А. ....	47
Гудков С. А., Селиванов Н. В.....	48
Стрельник А. С. ....	49
Широкова Д. А.....	50
Шубина О. С. ....	51

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ  
55-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МНСК–2017

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ  
И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Материалы конференции публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 31.03.2017 г. Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 3,4. Усл. печ. л. 3,2.

Тираж 100 экз. Заказ № 50.

Издательско-полиграфический центр НГУ  
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2