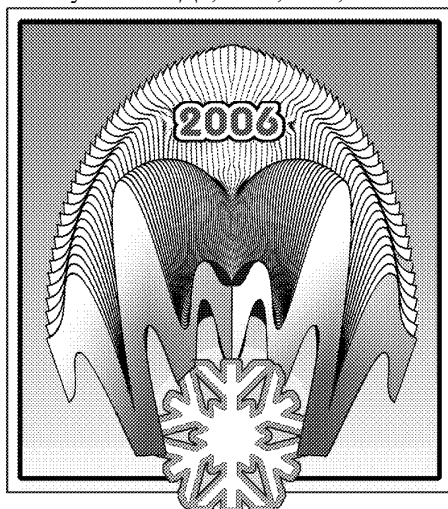




Изв. вузов «ПНД», т. 14, № 3, 2006



**ХIII ЗИМНЯЯ ШКОЛА-СЕМИНАР  
ПО СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКЕ  
И РАДИОФИЗИКЕ**

Саратов, Волжские Дали,  
31 января – 5 февраля 2006

**Организаторы**

- Саратовский государственный университет им Н.Г. Чернышевского
- Государственный учебно-научный центр «Колледж»

**При поддержке**

- Российского фонда фундаментальных исследований
- Фонда некоммерческих программ «Династия»
- ФГУП НПП «Алмаз»
- ФГУП НПП «Контакт»
- IEEE Saratov – Penza Chapter

**Программный комитет**

Д.И. Трубецков, чл.-корр РАН, профессор, СГУ, Саратов (председатель); Ю.П. Блиох, д.ф.-м.н., «Технион», Хайфа, Израиль; В.Л. Братман, д.ф.-м.н., профессор, ИПФ РАН, Н. Новгород; Н.А. Бушуев, к.ф.-м.н., директор ФГУП «НПП «Алмаз», Саратов; Е.И. Волков, д.ф.-м.н., ФИАН, Москва; А.В. Гапонов-Грехов, академик РАН, ИПФ РАН, Н. Новгород; Ю.В. Гуляев, академик РАН, директор ИРЭ РАН, Москва; Ю.А. Калинин, д.т.н., профессор, СГУ, Саратов; С.П. Кузнецов, д.ф.-м.н., профессор, СФ ИРЭ РАН, Саратов; А.Б. Маненков, д.ф.-м.н., ИФП РАН, Москва; В.И. Некоркин, д.ф.-м.н., профессор, ИПФ РАН, Н. Новгород; М.И. Петелин, профессор, ИПФ РАН, Нижний Новгород; А.С. Победоносцев, д.ф.-м.н., ФГУП НПП «Исток», Фрязино; А.А. Рухадзе, д.ф.-м.н., профессор, ИОФ РАН, Москва; В.А. Солнцев, д.ф.-м.н., профессор, МИЭМ, Москва; Г.Г. Соминский, д.ф.-м.н., профессор, СПбГПУ, Санкт-Петербург; М.Н. Стриханов, д.ф.-м.н., профессор, Минобрнауки, Москва; А.П. Сухоруков, д.ф.-м.н., профессор, МГУ, Москва; Ю.А. Филимонов, к.ф.-м.н., директор СФ ИРЭ РАН, Саратов; В.Д. Шалфеев, д.ф.-м.н., профессор, ННГУ, Н. Новгород.

### *Аналитический обзор*

XIII зимняя школа-семинар по СВЧ-электронике и радиофизике продолжает традицию саратовских зимних школ, которые проводятся раз в три года, начиная с 1970-го, и уже вписали самостоятельную страницу в историю отечественной сверхвысокочастотной электроники. Исследования и разработки в этой области активно ведутся во многих научных организациях России, и их результаты были широко представлены на XIII зимней школе. Состав участников школы включал представителей вузовской (Саратовский, Нижегородский, Челябинский университеты, Саратовский и Уральский технические университеты, С.-Петербургский политехнический университет, С.-Петербургский электротехнический университет, Московский институт электроники и математики, Северо-Кавказский горно-металлургический институт, Владикавказ), академической (Институт радиотехники и электроники РАН и его Саратовский филиал, Институт общей физики РАН, Институт высоких температур РАН, Институт прикладной физики РАН (Н. Новгород), Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск) и отраслевой науки (ФГУП НПП «Исток», Фрязино, ФГУП НПП «Торий», Москва, ФГУП НПП «Алмаз» и «Контакт», Саратов). Этот список дает представление о том, насколько широко ведутся подобные исследования в России. Традиционно на школе и на этот раз присутствовали зарубежные гости: профессор Ю.П. Блюх (Технион, Хайфа, Израиль) и профессор О. Думбрайс (Хельсинкский технологический университет, Финляндия).

Всего на школе были представлены 22 пленарные лекции с обзорами современного состояния исследований в различных актуальных областях СВЧ-электроники и радиофизики, 28 устных и 48 стендовых докладов с результатами оригинальных исследований. В них нашли отражение, по сути, все основные направления исследований по тематике конференции, которые выполняются в России и других странах.

Одним из наиболее интенсивно развивающихся в последние годы направлений является создание средств компьютерного моделирования приборов СВЧ. Подобные программы существенно экономят усилия экспериментаторов и разработчиков приборов, так как позволяют избежать трудоемкого и дорогостоящего изготовления серии макетов-прототипов. На школе этому направлению был посвящен ряд лекций. В лекции А.Д. Григорьева (СПбГЭТУ, С.-Петербург) и соавторов была описана программа расчета электродинамики высокочастотных структур векторным методом конечных элементов, в которой использована оригинальная вычислительная процедура, позволяющая существенно повысить эффективность метода. В лекции А.В. Бровко (Саратовский ГТУ), А.Б. Маненкова (ИФП РАН, Москва), А.Г. Рожнева и М.В. Елисеева (СГУ) дан обзор вычислительных методов расчета открытых электродинамических структур, приведены примеры расчетов различных структур, в частности, диэлектрических волноводов, оптических волокон произвольной формы и др. В ней изложен ряд оригинальных методик, например, комбинация методов конечных элементов и интегрального уравнения, что позволило существенно повысить точность решения ряда задач. В лекции В.Н. Титова и соавторов (СГУ) сделан обзор возможностей современных «полностью электромагнитных» (то есть осуществляющих непосредственное численное интегрирование уравнений Максвелла) программ решения задач электродинамики и электроники, таких как Ansoft HFSS, CST Microwave Studio, MAGIC, MAFLA. В.П. Тараканов (ИВТ РАН) рассказал о разрабатываемом им с конца 1980-х гг. полностью электромагнитном коде KAPAT –

отечественном аналоге подобных программ. Кроме того, параллельно с работой одной из секций была устроена демонстрация работы этого кода, во время которой желающие смогли на практике ознакомиться с его возможностями. В этом отношении школа следовала опыту Международных конференций по вакуумной электронике (IVEC), в ходе работы устраиваются встречи пользователей кода MAGIC. В лекции А.Г. Рожнева и соавторов было рассказано о новой 2.5-мерной программе моделирования многосигнального усиления в широкополосных спиральных ЛБВ, разработанной совместно сотрудниками СГУ и ФГУП НПП «Исток». Программный комплекс по своим основным характеристикам аналогичен коду CHRISTINE-3D, разработанному в США, и успешно применяется в НПП «Исток» при разработке ЛБВ-усилителей. Методам и программам численного моделирования был посвящен и целый ряд устных и стендовых докладов (СГУ, ФГУП НПП «Алмаз», ФГУП НПП «Торий» и др.).

Традиционно важным направлением СВЧ-электроники, активно развиваемым во многих странах, являются мощные и сверхмощные приборы релятивистской и плазменной СВЧ-электроники. Эта тематика была широко представлена в программе школы. Так, в лекции П.С. Стрелкова рассказывалось о работах по созданию плазменного СВЧ-усилителя и генератора, успешно ведущихся в ИОФ РАН. Последние теоретические и экспериментальные результаты исследований пасотронов (аналогов ЛБВ и ЛОВ с плазменным заполнением), ведущихся в США и Израиле, были представлены в лекции Ю.П. Блиоха. Н.С. Гинзбург рассказал о работах по созданию лазеров и мазеров на свободных электронах с двумерными брэгговскими резонаторами, ведущихся в ИПФ РАН совместно со Стратчклайдским университетом (Великобритания). Использование брэгговских резонаторов позволяет осуществить селекцию мод при больших поперечных размерах электронного пучка и получить спектр генерации, близкий к монохроматическому, при высокой выходной мощности. Доклад В.Н. Корниенко (ИРЭ РАН) был посвящен численному моделированию сверхразмерного черенковского генератора с сильноточным электронным пучком, рассмотрена возможность улучшения характеристик генератора за счет использования многосекционной конструкции. Экспериментальная реализация источника излучения коротких мощных импульсов (800 МВт) в сантиметровом диапазоне на основе релятивистской ЛОВ была описана в докладе А.А. Ельчанинова и соавторов (ИСЭ СО РАН, Томск). Еще целый ряд устных и стендовых докладов был посвящен различным мощным СВЧ-приборам: релятивистским ЛОВ и ЛБВ, виркаторам и др.

Важное место в программе школы занимают лекции и доклады, посвященные гиротронам и другим приборам на циклотронном резонансе. Так, в докладе В.Е. Запелова (ИПФ РАН) был сделан обзор основных факторов, ограничивающих предельно достижимые выходные характеристики гиротронов, и указаны некоторые возможные пути преодоления возникающих проблем. В лекции Г.Г. Соминского (СПбГПУ) описаны способы улучшения качества винтового электронного пучка гиротрона (повышение однородности эмиссии, подавление низкочастотных колебаний пространственного заряда, уменьшение скоростного разброса), приводящие к повышению его выходной мощности и КПД. Эти исследования выполнены совместно с зарубежными коллегами из Forschungszentrum Karlsruhe (Германия). Лекция О. Думбрайса (Хельсинкский технологический университет, Финляндия) была посвящена вопросам нелинейной динамики гиротрона. Рассматривались процессы генерации

хаотических колебаний и сложная динамика частиц электронного пучка в ВЧ-полях. Близким по тематике был доклад Е.В. Блохиной и А.Г. Рожнева (СГУ), в котором, в частности, впервые были исследованы режимы гиперхаоса в гиротроне, когда имеется несколько положительных показателей Ляпунова. Еще несколько докладов были посвящены различным вопросам совершенствования гиротронов: обсуждались проблемы формирования пучка, рекуперации электронов и др.

Значительный объем докладов был посвящен «классическим» приборам нерелятивистской СВЧ-электроники, причем большинство из них было сделано представителями предприятий электронной промышленности. В частности, в докладе А.Б. Данилова и А.Д. Рафаловича был дан обзор способов улучшения характеристик широкополосных ламп бегущей волны, в течение ряда лет разработанных во ФГУП НПП «Алмаз». Еще ряд устных и стендовых докладов по этой теме был сделан сотрудниками того же предприятия. В лекции В.А. Царева (СГТУ) было рассказано о новых разработках многолучевых клистронов, выполненных совместно с ФГУП НПП «Контакт». Ряд перспективных методов повышения КПД, коэффициента усиления и линейности клистронов, используемых в телевизионных передатчиках, был описан А.В. Галдецким (ФГУП НПП «Исток», Фрязино). В представленных докладах затрагивались также вопросы теоретического и экспериментального исследования клистронов, приборов со скрещенными полями и других приборов. Так, в лекции А.Е. Храмова и Ю.А. Калинина (СГУ) был описан новый прибор: низковольтный виркатор с тормозящим полем и отрезком спиральной замедляющей системы для вывода СВЧ-сигнала. Показано, что он может быть использован в качестве генератора широкополосных хаотических колебаний. Различным вопросам теоретического и экспериментального исследования этого прибора был посвящен и ряд стендовых докладов.

В области вакуумной микроэлектроники основной интерес вызвала лекция Г.Г. Соминского и соавторов о новом типе автоэлектронных эмиттеров с фуллереновым покрытием. Подобные эмиттеры обладают повышенной долговечностью и стабильностью и, по-видимому, могут быть использованы в будущем для создания микроэлектронных приборов с автоэмиссионными катодами. Проблемам эмиссионной электроники было также посвящено еще несколько стендовых докладов.

На школе широко обсуждались различные вопросы микроволновой электродинамики. Помимо уже упоминавшихся выше лекций, в которых описывались современные программы вычислительной электродинамики, следует упомянуть лекцию В.А. Солнцева, Д.Ю. Никонова и С.С. Захаровой (МИЭМ), где излагалась теория псевдопериодических замедляющих и излучающих структур, которые ввиду их уникальных частотных свойств давно привлекают внимание исследователей. Близкими по тематике были доклады Д.А. Комарова и А.В. Колгатниковой (ФГУП НПП «Торий») и А.Н. Савина и И.А. Накрап (СГУ), где рассматривались особенности распространения волн в неоднородных цепочках связанных резонаторов. В лекции И.А. Накрап был дан обзор методов экспериментального исследования характеристик электродинамических структур. Серия докладов М.В. Давидовича (СГУ) была посвящена развитию теории нестационарного возбуждения. В программу школы также вошло несколько докладов, посвященных задачам магнитоэлектроники СВЧ. В них рассматривались различные вопросы прохождения сигналов через линии передачи на магнитоэлектронных волнах и устройства обработки сигналов на их основе.

Традиционно для саратовских зимних школ в программе были представлены доклады, посвященные общим вопросам нелинейной динамики, теории колебаний и волн с акцентом на приложения к задачам электроники СВЧ. В лекции Ю.В. Новожиловой (ИПФ РАН) проанализированы особенности захвата частоты генератора при работе на резонансную нагрузку. Лекции А.А. Короновского и А.Е. Храмова (СГУ) были посвящены вейвлет-анализу сигналов и новым достижениям в теории синхронизации. В лекции Ю.П. Блюха и соавторов рассказывалось о необычных явлениях при прохождении электромагнитных волн через различные среды, которые можно трактовать как резонаторы с полупрозрачными стенками, обсуждалась возможность применения подобных систем в опто-, микро- и наноэлектронике. Проблемам нелинейной динамики было также посвящено большое количество устных и стендовых докладов.

Образовательная составляющая всегда была одной из главных на саратовских зимних школах. Многие лекции, объединенные в тематические курсы, традиционно носят учебный характер, содержат обзоры современного состояния исследований в тех или иных областях. И в этот раз среди участников школы было много аспирантов, молодых ученых и инженеров. Наряду с СГУ, основным организатором школы, большими группами молодежи были также представлены ФГУП НПП «Алмаз» и «Торий», молодых участников делегировали ИСЭ СО РАН, ИПФ РАН, СФ ИРЭ РАН, среди них целый ряд молодых кандидатов наук. Таким образом, можно подтвердить часто высказываемый в последнее время тезис о наметившемся притоке молодежи в науку, в том числе, отраслевую. По-прежнему продолжают активную работу представители старшего поколения, и среди них – ряд выдающихся ученых и инженеров, традиционно составляющих основу коллектива лекторов на саратовских школах (в том числе, принимавших участие во всех школах, начиная с 1970 года). Однако, безусловно, справедливы и опасения насчет «разрыва поколений», вызванного дефицитом ученых среднего возраста (30–50 лет).

Тематика лекций и докладов в целом соответствует наиболее актуальным проблемам вакуумной СВЧ-электроники с точки зрения мировой науки, в чем можно убедиться, сопоставив программу школы с программами ведущих международных конференций, например, IVES. По основным направлениям исследования, выполняемые российскими учеными, находятся на мировом уровне. Отметим, что многие лекции и доклады содержали материалы исследований, полученные совместно с зарубежными учеными из Великобритании, Германии, США, Кореи.

Анализ опубликованных материалов школы-семинара показывает, что подавляющее большинство исследований, которые проводились в вузах и институтах РАН, получали финансовую поддержку РФФИ. Кроме инициативных научных проектов, на которые приходится основная доля (всего более 15 проектов), встречается и несколько проектов ориентированных фундаментальных исследований, а также совместный российско-германский проект (РФФИ-ННИО). Среди работ, выполненных на промышленных предприятиях, ссылок на поддержку РФФИ (так же, как и других фондов) нет. Поддержка других фондов (например, CRDF, INTAS, фонд «Династия») носит эпизодический характер, причем речь чаще идет об индивидуальных грантах поддержки молодых ученых, а не о коллективных проектах. Таким образом, РФФИ, безусловно, принадлежит ведущая роль в поддержке исследований в области сверхвысокочастотной электроники в вузовском и академическом секторе российской науки.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

### Вторник, 31 января 2006

Открытие школы-семинара

*Трубецков Д.И. (СГУ, Саратов).* Школы по СВЧ-электронике и радиофизике – 36 лет спустя.

*Кузнецов С.П. (СФ ИРЭ РАН).* Нелинейная динамика ЛОВ: автомодуляция, хаос, мультистабильность, контроль.

### Среда, 1 февраля 2006

Лекции

*Григорьев А.Д. (СПбГЭТУ «ЛЭТИ», С.-Петербург), Салимов Р.В., Тихонов Р.И. (LG Russia R&D Center, С.-Петербург).* Проблемы повышения эффективности расчета СВЧ-устройств методом конечных элементов.

*Бровко А.В. (СГТУ, Саратов), Маненков А.Б. (ИФП РАН, Москва), Рожнев А.Г., Елисеев М.В. (СГУ).* Современные методы вычислительной электродинамики для расчета открытых электродинамических структур.

*Тумарева Т.А., Соминский Г.Г., Светлов И.А. (СПбГПУ, С.-Петербург).* Полевые эмиттеры с фуллереновыми покрытиями и их активировка.

*Солнцев В.А., Никонов Д.Ю., Захарова С.С. (МИЭМ, Москва).* Псевдопериодические структуры – особенности распространения, замедления и излучения волн.

*Иценко А.С., Новожилова Ю.В., Петелин М.И. (ИПФ РАН, Нижний Новгород).* Фазовый захват генератора отражением от резонансной нагрузки.

Устные доклады. Секция 1

*Данилов А.Б., Рафалович А.Д. (ФГУП НПП «Алмаз», Саратов).* Современные широкополосные ЛБВ: вопросы и ответы.

*Галдецкий А.В. (ФГУП «НПП Исток», Фрязино).* Перспективные методы повышения усиления и линейности телевизионных клистронов.

*Галдецкий А.В. (ФГУП «НПП Исток», Фрязино).* Некоторые возможности получения сверхширокополосного сигнала в клистроне.

*Журавлева В.Д., Семенов С.О. (ФГУП НПП «Алмаз», Саратов).* Программа расчета и результаты исследования трехмерных эффектов в электронно-оптических системах с управляющими сетками.

*Егоров Е.Н. (СГУ).* Исследование сложной нестационарной динамики электронного пучка с виртуальным катодом в тормозящем поле: двумерное численное моделирование.

*Филимонов Ю.А. (Саратовский филиал ИРЭ РАН).* Солитоны магнитоэлектрических волн в структуре феррит – диэлектрик – металл.

*Гришин С.В., Шараевский Ю.П. (СГУ).* Взаимодействие СВЧ-сигналов разных уровней мощности в системе «микрорезонатор – ферромагнитная пленка».

*Корниенко В.Н. (ИРЭ РАН, Москва), Привезенцев А.П. (ЧелГУ, Челябинск).* Генерация коротких импульсов в виркаторе.

*Корниенко В.Н. (ИРЭ РАН, Москва).* Зависимость развития процесса генерации в многоволновых черенковских устройствах от величины прицельного параметра пучка.

*Валуев В.В., Корниенко В.Н., Кулагин В.В., Черепенин В.А. (ИРЭ РАН, Москва).* Численное моделирование формирования релятивистского электронного зеркала электромагнитной волной большой мощности.

*Андреев В.Г., Вдовин В.А. (ИРЭ РАН, Москва).* Акустический датчик для регистрации мощных СВЧ-импульсов пико- и наносекундной длительности.

## **Четверг, 2 февраля 2006**

### Лекции

*Тараканов В.П. (ИВТ РАН, Москва).* Код КАРАТ в моделировании СВЧ-устройств.

*Рожнев А.Г., Рыскин Н.М., Титов В.Н. (СГУ).* Современные «полностью электромагнитные» программы решения задач электроники и электродинамики.

*Соминский Г.Г., Лукаш О.И. (СПбГПУ, С.-Петербург), Тумм М., Пиосчик Б. (For-schungszentrum Karlsruhe, Germany).* Улучшение качества винтового электронного пучка – путь к повышению эффективности гиротронов.

*Думбрайс О. (Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland).* Стохастические процессы в гиротроне.

*Блиох Ю.П., (Технион, Хайфа, Израиль), Блиох К.Ю. (Институт радиоастрономии НАН Украины, Bar-Ilan University, Israel), Freilikher V.D. (Bar-Ilan University, Israel).* Необычные резонаторы.

### Стендовые доклады. Секция 1

## **Пятница, 3 февраля 2006**

### Лекции

*Стрелков П.С. (ИОФ РАН, Москва).* Современное состояние плазменной релятивистской СВЧ-электроники.

*Шараевский Ю.П., Гришин С.В., Малюгина М.А. (СГУ).* Нелинейные линии передачи на основе связанных систем с ферромагнитными пленками.

*Блиох Ю.П., Фельштейнер Дж. (Технион, Хайфа, Израиль), Нусинович Г.С., Гранатштейн В.Л. (Мэрилендский университет, США).* Пасотрон: последние достижения теории и эксперимента.

*Калинин Ю.А., Храмов А.Е. (СГУ).* Низковольтный виркатор: теория и эксперимент.

*Короновский А.А., Храмов А.Е. (СГУ).* Введение в вейвлетный анализ (основы и приложения).

### Стендовые доклады. Секция 2

## Суббота, 4 февраля 2006

### Лекции

*Гинзбург Н.С., Песков Н.Ю., Сергеев А.С. (ИПФ РАН, Нижний Новгород).* Использование двумерной распределенной обратной связи для генерации мощного когерентного излучения в пространственно развитых активных средах.

*Рожнев А.Г., Рыскин Н.М., Соколов Д.В., Трубецков Д.И. (СГУ), Победоносцев А.С., Румянцев С.А., Хомич В.Б. (ФГУП НПП «Исток», Фрязино).* Новая 2.5-мерная программа моделирования усиления многочастотных сигналов в широкополосной спиральной ЛБВ.

*Накрап И.А., Савин А.Н. (СГУ).* Экспериментальные методы исследования электродинамических характеристик периодических структур.

*Царев В.А. (СГТУ).* Разработка и экспериментальное исследование многолучевых клистронов с дополнительным резонатором.

*Короновский А.А., Храмов А.Е. (СГУ).* Новые подходы в теории синхронизации.

### Устные доклады. Секция 3

*Запезалов В.Е. (ИПФ РАН, Нижний Новгород).* Гиротрон: пределы роста.

*Мануилов В.Н. (ННГУ, Нижний Новгород).* Двумерное моделирование колебаний пространственного заряда и потенциала в электронно-оптической системе гиротрона.

*Морозкин М.В. (ИПФ РАН, Нижний Новгород).* Повышение эффективности технологических гиротронных комплексов за счет рекуперации остаточной энергии электронов.

*Блохина Е.В., Рожнев А.Г. (СГУ).* Хаос и гиперхаос в гиротроне: новые результаты.

*Афанасьев К.В., Быков Н.М., Губанов В.П., Ельчанинов А.А., Климов А.И., Коровин С.Д., Ростов В.В. (ИСЭ СО РАН, Томск).* Источники мощных наносекундных импульсов на основе релятивистской ЛОВ в режиме пространственного накопления энергии.

### Устные доклады. Секция 4

*Давидович М.В. (СГУ).* О нестационарном возбуждении структур электродинамики.

*Комаров Д.А., Колгатникова А.В. (ФГУП «НПП Торий», Москва).* «Нераспространяющиеся» колебания в неоднородной цепочке связанных осцилляторов.

*Байбурин В.Б., Юдин А.В. (СГТУ, Саратов).* Хаотические траектории зарядов в магнитных ловушках открытого типа.

*Макаренко А.В. (Северо-Кавказский горно-металлургический институт, Владикавказ).* Геометрический подход к описанию и анализу динамической структуры сигнала.

*Накрап И.А., Савин А.Н. (СГУ).* Особенности процесса распространения электромагнитных волн в почти периодических структурах.

## Воскресенье, 5 февраля 2006

Заключительная дискуссия

Заккрытие школы-семинара





