

КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

Ю.К. Евдокимов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева
Российская Федерация, 420111, Казань, ул. К.Маркса, 10

Аннотация. В статье изложена история кафедры РИИТ, которая со времени основания обеспечивает преподавание дисциплин, закладывающих профессиональный фундамент подготовки радиоинженеров, - основы теории цепей, радиотехнические цепи и сигналы, электронные приборы и основы микроэлектроники, электроника и радиоэлектроника, метрология и радиоизмерения и др. Рассматриваются научные достижения, высокий научный и образовательный потенциал кафедры РИИТ, позволяющие ее коллективу уверенно двигаться вперед в динамичный завтрашний день, связывая свое дальнейшее развитие в образовательной и научной деятельности с областью создания киберфизических и интеллектуальных систем на основе микроволновой и квантовой обработки сигналов.

Ключевые слова: радиотехника, радиоэлектроника, информационно-измерительная техника.

Кафедра Радиоэлектроники и информационно-измерительной техники (РИИТ) была первой специальной кафедрой, созданной на радиотехническом факультете одновременно с ним в 1952 г. (до 01.09.2005г. – кафедра Теоретической радиотехники и электроники – ТРЭ). В течение первых двух лет ею заведовали доцент И.М. Романов, старший преподаватель Р.Г. Карпов, доцент Г.П. Жадин. На протяжении 34 лет (1954–1988 гг.) кафедру возглавлял Р.Ш. Нигматуллин – доктор физико-математических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, ректор КАИ (1967–1977 гг.), Председатель Верховного Совета ТАССР (1971–1980 гг.), основоположник известной в стране и за ее пределами казанской научной школы в области молекулярной электроники. Именем Р.Ш. Нигматуллина в 2002 г. названа одна из улиц Казани в районе КАИ-града. В дальнейшем заведующими кафедрой стали его ученики. С 1988 г. по 1998 год кафедрой руководил доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РТ М.Р. Вяселев, известный учёный в области молекулярной электроники и электроаналитической спектроскопии.

Заведующие кафедрой в разные годы:



Р.Ш. Нигматуллин (1954-1988 гг.)



М.Р. Вяселев (1988-1998 гг.)



Ю.К. Евдокимов (1998-2018 гг.)



Д.В. Шахтурин (с 2018 г.)

С 1998 по 2018 гг. кафедрой заведовал доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РТ Ю.К. Евдокимов, известный ученый в области молекулярной электроники и информационно-измерительных систем. С 2018 г. - доцент Д.В. Шахтурин.

Кафедра с самого ее создания преподает дисциплины, закладывающие профессиональный фундамент подготовки радиоинженеров. Это - основы теории цепей, радиотехнические цепи и сигналы, электронные приборы и основы микроэлектроники, электроника и радиоэлектроника, метрологию и радиоизмерения и др. В других институтах университета кафедра ведет занятия по электронике, измерительной технике, электронике и др.

В 1994 г. кафедра получила статус выпускающей по специальности “Радиотехника” со специализацией “Радиоэлектронная информационно-измерительная техника”. Было организовано преподавание по дисциплинам специализации: по основам теории информации, измерениям физических величин и современным датчикам, по автоматизированным системам измерения, контроля и диагностики, методам цифровой обработки сигналов, микропроцессорным измерительным системам и встроенным устройствам и др. За время существования кафедры ее преподавателями разработаны более 200 лекционных курсов, созданы 6 учебных лабораторий и компьютерный класс, аудитории, оборудованные мультимедийной и другой демонстрационной техникой. Все виды учебных работ выполняются на основе широкого применения методов и средств вычислительной техники.

В 2003 г. на базе кафедры РИИТ создан университетский «Центр дистанционных автоматизированных учебных лабораторий», а в 2008 г. – Инновационный Казанский региональный центр технологий компании National Instruments (NI), (США). В Центре организовано обучение современным технологиям измерения, контроля и управления для студентов, аспирантов и преподавателей КНИТУ-КАИ. В рамках повышения квалификации преподавательского состава КНИТУ-КАИ и вузов республики Татарстана, а также вузов Чебоксар, Ижевска, Уфы и других регионов обучение в Центре прошли

более 300 человек по 11 учебным программам. В настоящее время на ведущих кафедрах КНИТУ-КАИ технология и оборудование NI широко используется в НИР и учебном процессе. Центр ставит своей целью, на основе новейших телекоммуникационных и информационных технологий, внедрение в учебный процесс университета дистанционных автоматизированных учебных лабораторий, доступных через Интернет для студентов из филиалов университета и из любой географической точки. По этой технологии студент индивидуально может выполнять лабораторные работы непосредственно из дома или из вычислительного зала. Студент дистанционно в реальном масштабе времени управляет лабораторным макетом, расположенным в учебной автоматизированной лаборатории университета в Казани. Сервер лаборатории обеспечивает круглосуточный режим работы. Одновременно студент имеет возможность в видеорежиме общаться с преподавателем.

Эти новые дистанционные технологии делают доступным обучение за пределами ВУЗа, способствуют дальнейшему развитию цифровой образовательной среды в подготовке инженеров в КНИТУ-КАИ. В 2003 году запущена первая автоматизированная лаборатория по курсу «Электроника», включающая 4 лабораторные работы. Технологии удаленного эксперимента показали свою эффективность в индивидуализации обучения, в расширении доступности студентов к учебной лабораторной базе, в формировании образовательной университетской экосистемы на базе новых цифровых технологий, а в условиях пандемии 2020-2021гг. - высокую актуальность. Эти технологии, впервые разработанные в КНИТУ-КАИ, широко известны в российских вузах. Многолетний опыт применения этих технологий представлены в многочисленных статьях, а также обобщены в книгах “LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора” (2007г.) и “LabVIEW в научных исследованиях” (2012г.) (Изд-во: ДМК Пресс, г. Москва). Эти книги рекомендованы УМО высших учебных заведений РФ по образованию в области телекоммуникаций и радиоэлектроники в качестве учебных пособий.

С 1998г. ведется сотрудничество кафедры РИИТ с французским университетом г. Пуатье, а в 2006г. по инициативе кафедры было заключено Соглашение о сотрудничестве между КНИТУ-КАИ и университетом Пуатье в образовательной и научной деятельности. В рамках этого Соглашения осуществляются совместная аспирантура по взаимно согласованным научным темам, проведение учебных практик с взаимным обменом студентов, участие КНИТУ-КАИ в совместных международных европейских грантах. В 2016 г. организована совместная магистратура с техническим университетом г. Кайзерслаутерн (Германия) по перспективному профилю «Встроенные системы» (Embedded Systems).

В начале 60-х годов Р.Ш. Нигматуллиным были заложены основы нынешнего научного направления кафедры "Информационно-измерительная техника на базе распределенных структур молекулярной и фрактальной радиоэлектроники". С 1975 года при кафедре по данной тематике начала успешно работать совместная с Академией наук лаборатория, созданная единым приказом Президиума АН СССР и Минвуза РСФСР при активной поддержке директора ИЭЛАН академика А.Н. Фрумкина и вице-президента АН СССР В.А. Котельникова.

Сотрудниками кафедры опубликовано свыше 1200 научных работ, среди которых 12 монографий, свыше 200 авторских свидетельств и патентов. Кафедра с 1995 года ведет международное научное сотрудничество с французскими университетами в области методов и приборов для измерения турбулентности, и процессов переноса в потоках жидкости, диагностики и контроля водородных топливных элементов.



Вице-президент Академии наук СССР академик В.А. Котельников (второй справа) и лауреат Нобелевской премии академик А.М. Прохоров (первый слева) во время посещения кафедры РИИТ (ТРЭ) в 1985 г. В центре – заведующий кафедрой Р.Ш. Нигматуллин, первый справа – проректор КАИ по НР Г.Л. Дегтярев

Учеными кафедры развита теория молекулярно-электронных элементов различных типов, в частности, осуществляющих операции дробного интегрирования и дифференцирования. Были разработаны научные основы построения и применения ряда электродиффузионных преобразователей электрических и неэлектрических сигналов. На основе использования современных средств радиоэлектронной и вычислительной техники созданы новые методы и средства вольтметрического экспресс-анализа состава веществ, развита общая теория таких методов. Разработан метод многокомпонентного обнаружения и идентификации одиночных гидродинамических сигналов с использованием электродиффузионных датчиков. Предложена концепция распределенных измерительных сред, на основе которой разработаны теория и методы распределенного измерения физических полей, а также созданы непрерывно-распределенные и квазираспределенные датчики с соответствующими измерительными системами. Разработаны методы и алгоритмы решения обратных операторных задач для параболических и гиперболических уравнений математической физики для одномерных и многомерных измерительных сред. Разработаны научные и технологические основы создания линейных и нелинейных преобразователей сигналов на основе плёночных гетероструктур с использованием суперионных проводников. Разработаны теория и методы анализа и синтеза топологии распределенных однородных и неоднородных плёночных фрактальных элементов радиоэлектроники с заданными электрическими и частотными характеристиками. Получила дальнейшее развитие теория операторов дробного дифференцирования и интегрирования с комплексным показателем для обработки сигналов. Предложены и разработаны электрошумовые методы контроля и

диагностики режимов работы водородных топливных элементов с протонообменной мембраной.

Наряду с вышеуказанными в последние годы на кафедре были развернуты новые научные направления: искусственные нейронные сети и техническое (машинное) зрение в измерительных системах, теоретические и экспериментальные исследования статистической динамики дистанционного управления через глобальные сети и телекоммуникационные системы. Проведены исследования и разработки в области электрохимических и кварцевых сенсорных систем, цифровой обработки для высокоточного спектрального и вейвлет-анализа сигналов датчиков. Разработан ряд микропроцессорных приборов для геофизических исследований и сейсмической томографии на основе квазираспределенных кварцевых и сейсмических датчиков для вертикальных и горизонтальных нефтяных скважин. Ведутся совместные перспективные работы с французскими учеными в области водородных топливных элементов. Как известно, эти элементы являются основой будущей водородной энергетики. Ведущей силой в новых работах являются магистранты, аспиранты и молодые сотрудники кафедры – продолжатели научных и педагогических традиций кафедры.

По результатам этих исследований защищены десятки кандидатских и 9 докторских диссертаций (Р.Ш. Нигматуллин, В.А. Белавин, М.Р. Вяселев, А.В. Железцов, И.К. Насыров, Ю.К. Евдокимов, Ф.А. Карамов, Д.М. Пашин, А.Х. Гильмутдинов), готовятся 2 докторские диссертации (Е.С. Денисов, Д.В. Шахтурин). Многие годы кафедра выполняла хоздоговорные НИР по важнейшей спецтематике на основе прямых постановлений Правительственных органов СССР. В 1976 году сообщение заведующего кафедрой об этих работах было заслушано и положительно оценено на заседании Президиума Академии наук СССР.

Здесь следует подробнее остановиться на созданной Р.Ш. Нигматуллиным Казанской школе дробных операторов, поскольку она отражает основные научные достижения ученых кафедры РИИТ.

В 1975 году в Париже в издательстве Фламарион была опубликована книга Бенуа Мандельброта (Mandelbrot B.B. *Les Objects Fractals: Forme, Hasard et Dimension.*- Paris: Flammarion, 1975), которая вызвала реакцию широкой научной общественности в разных странах. Необычность книги состояла в том, что в ней в интересной и увлекательной форме с многочисленными графическими иллюстрациями были рассмотрены самоподобные геометрические объекты дробной размерности, названные фракталами. В евклидовой геометрии размерность D объектов имеют только целочисленные значения: 0, 1, 2, 3 - соответственно точка, линия, поверхность и объем. В фрактальной геометрии размерность D_F геометрических объектов является дробной величиной и заключена в интервале от 0 до 3. Оказалось, что большинство объектов в природе, технике и в реальной жизни имеет фрактальную размерность, а евклидова размерность является лишь сильной идеализацией. В последние годы парадигма фракталов прочно вошла в научную жизнь и в вузовские учебники. Методы фрактальной геометрии, и тесно связанные с ними математические методы дробных операторов (дробного интегрирования/дифференцирования), широко применяются в самых различных областях науки и техники.

В 50-е годы прошлого столетия, когда в качестве элементной базы электроники доминировали вакуумные приборы – лампы, а полупроводниковые приборы только-только появились, Р.Ш. Нигматуллиным была высказана впервые концептуальная идея о создании разнообразных электронных приборов и датчиков на использовании свойств межфазной границы электрод/электролит – основы молекулярной электроники. Использование электрохимической ячейки в качестве элемента (электрической) цепи для преобразования и обработки электрических сигналов является ключевой идеей, которая

привела Р.Ш. Нигматуллина к проблемам анализа, синтеза и аппаратной реализации дробных операторов. Импеданс межфазной границы “электрод/электролит” (без учета емкости двойного электрического слоя) описывается соотношением:

$$Z(p, I) = r_0 + r_k(I) + Z_d(p, I), \quad (1)$$

где r_0 – объемное сопротивление электролита, определяемое проводимостью электролита и геометрией электрода; r_k – нелинейное сопротивление электрохимической реакции; Z_d – диффузионный импеданс. Р.Ш. Нигматуллиным впервые вычислены значения элементов составляющих импеданса, а также предложены электрические аналоги диффузионного импеданса Z_d для обратимых окислительно-восстановительных систем со сферической полубесконечной диффузией. Для полубесконечной диффузии Z_d вырождается в известный импеданс Варбурга:

$$Z_d(p) = kr_k / \sqrt{pD}, \quad (2)$$

где D – коэффициент диффузии. Сравнивая (2) с входным импедансом полубесконечного RC-кабеля

$$Z_{RC}(p) = \sqrt{R/pC}, \quad (3)$$

Р.Ш. Нигматуллин установил электрический аналог диффузионного сопротивления (2). Однако важным шагом, который был сделан на этом этапе Р.Ш. Нигматуллиным, является не установление этой аналогии, а понимание того, что диффузионный импеданс электрохимической ячейки и входной импеданс RC-кабеля являются аппаратной основой для реализации **дробного оператора половинного порядка**.

Р.Ш. Нигматуллин совместно со своими учениками **В.А. Белавиным** и **Мирошниковым А.И.** впервые показали, что непосредственно сама электрохимическая ячейка может быть использована в качестве элемента электрической цепи для аппаратной реализации дробной производной. Ими показаны преимущества использования электрохимической ячейки для такой операции по сравнению с электрическим эквивалентом на базе RC-звеньев, например, ее малые габариты, особенно при работе на низких и инфранизких частотах. В последующем **В.А. Белавин**, развивая эти идеи, разработал методы расчета и синтеза устройств инфранизкочастотной селекции сигналов на основе электрохимической ячейки. Эти преимущества еще более возрастают при реализации дробных операторов и устройств функциональной электроники на основе твердых электролитов, в которых удельная емкость достигает огромных величин 10-30 Ф/см³.

Важным стимулом для развития исследований дробных операторов явилась необходимость моделирования электрических процессов в электрохимических преобразователях информации. Исследования развивались в следующих основных направлениях:

- 1) синтез электрических RC-цепей, реализующих дробные операторы;
- 2) развитие методов расчета процессов в электрохимических системах с использованием дробных операторов половинного порядка;
- 3) моделирование электрохимических преобразователей;
- 4) решение задач восстановления сигналов полярографических датчиков (решение обратной задачи для систем с диффузионным переносом заряда).

Первоначально операцию дробного дифференцирования Р.Ш. Нигматуллин предложил для восстановления полярографического сигнала, что позволило существенно повысить разрешающую способность измерений по потенциалу и концентрации. Другое изящное применение дробного дифференцирования следовало из анализа интегрального уравнения связи между поверхностной концентрацией и плотностью потока вещества на электрод, полученного Р.Ш. Нигматуллиным. Он показал, что, дифференцируя дробным оператором $d^{1/2}/dt^{1/2}$ изменение во времени поверхностной концентрации $C(0,t)$, можно непосредственно найти градиент концентрации на электроде или плотность тока через электрод, не прибегая к решению полной краевой задачи для диффузионного уравнения. Это замечательное свойство далее было им предложено использовать для электрического моделирования ячейки.

Задачу синтеза электрических цепей на базе цепочечного соединения элементарных RC- элементов Р.Ш. Нигматуллин формулировал как нахождение частотной характеристики дробного оператора с заданной точностью в рабочей полосе частот при минимальном количестве RC-звеньев. Эта задача привела к синтезу неоднородных RC-цепей сначала в работах учеников *Вяслева М.Р.*, *Базлова Е.Ф.*, *Насырова И.К.* и др. на основе элементов с сосредоточенными параметрами (ЭСР), а затем в работах *Карамова Ф.А.* и *Гильмутдинова А.Х.* на основе элементов на твердых электролитах и элементов с распределенными параметрами (ЭРП). Задачи синтеза параметрических распределенных неоднородных RC-структур как решение обратных операторных задач для параболических уравнений математической физики рассмотрены *Ю.К. Евдокимовым*. Крупное продвижение и дальнейшее развитие идей дробных операторов (в том числе, с комплексным показателем) и установление их связи с фрактальной геометрией было получено в работах проф. *Р.Р. Нигматуллина* – продолжателя дел своего отца.

Нахождение потоков тепла и массы на основе дробной производной половинного порядка от изменения поверхностной температуры и концентрации спустя почти 20 лет показал Ю.И. Бабенко путем расщепления параболического оператора:

$$\frac{\partial}{\partial t} - D \frac{\partial^2}{\partial y^2} = \left(\frac{\partial^{1/2}}{\partial t^{1/2}} - \sqrt{D} \frac{\partial}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial^{1/2}}{\partial t^{1/2}} + \sqrt{D} \frac{\partial}{\partial y} \right) \quad (4)$$

Важность задач синтеза и соответствующей аппаратной реализации дробных операторов, впервые сформулированных Р.Ш. Нигматуллиным, актуальна и сегодня, поскольку современным вычислительным машинам еще далеко до их программной реализации в реальном масштабе времени. Кроме того, с развитием нанотехнологий, точность изготовления топологии аналоговых структур становится соизмеримой с размерами атома. Следовательно, вычислительная точность устройств на аналоговых элементах будет соперничать с точностью цифровых и программных реализаций дробных операторов при несомненном превосходстве первых по быстродействию.

Для системного представления о тематике и результатах научных работ, далее приведены (достаточно кратко) сведения о некоторых учениках Р.Ш. Нигматуллина.

М.Р. Вяселев (с использованием дробных операторов) разработал: общую теорию электрохимической ячейки (полярографического датчика) при произвольных заданных законах изменения площади и потенциала индикаторного электрода; электрические эквиваленты таких датчиков, воспроизводящие их нелинейные и динамические свойства в реальных масштабах времени, тока и потенциала, позволяющие при подключении к полярографам моделировать и оперативно имитировать процедуру анализа состава различных веществ в широком диапазоне концентраций - при разработке, настройке или проверке аппаратуры; ряд новых разновидностей методов полярографии, обладающих

преимуществами в отношении чувствительности и быстродействия; способ оптимального синтеза RC-цепей, выполняющих операции дробного интегрирования в заданной полосе частот с требуемой точностью при минимальном количестве звеньев; развил теорию электрохимических датчиков потока с сетчатыми электродами.

Учеником Р.Ш. Нигматуллина – **И.К. Насыровым** разработаны теория и методы многокомпонентного (векторного) обнаружения и идентификации одиночных сверхнизкочастотных сигналов, математическая и электрическая модели электрохимического фотоэлемента (ЭФ), синтезирована неоднородная параметрическая RC-структура – электрический эквивалент ЭФ. Предложены электрические модели границы твердого электролита с электродом. Им совместно с В.И. Немтаревым, К.В. Сиразиевым, В.В. Петровским созданы уникальные системы обнаружения и идентификации морских объектов. В наномасштабных структурах геометрия и их топологическая организация приобретают первостепенное значение. И.К. Насыровым совместно с коллегами исследованы возможности рентгеновского дифракционного анализа и математические модели дифракции в углеродных нанотрубках и наноматериалах с различной геометрической структурой.

Учеником Р.Ш. Нигматуллина - **Ю.К. Евдокимовым** предложена концепция и принципы построения “распределенной измерительной среды (РИС)”. Под распределенной измерительной средой понимается искусственная материальная среда, каждая точка которой способна выполнять сенсорные, измерительные и информационные функции. В данном подходе ключевыми становятся такие новые понятия, как “континуум-измерение” и “континуум-датчик” в отличие от традиционных понятий “измерение в точке” и “точечный датчик”. Сформулирована новая парадигма научной, методологической и практической основы построения современных методов и средств измерений в информационно-измерительной технике. Предложены количественное определение размерности геометрии РИС на основе фрактального исчисления, новая классификация непрерывно- и дискретно- распределенных датчиков, включающая топологии с целочисленной евклидовой и дробной размерностью, методы анализа и синтеза топологии РИС с заданными измерительными свойствами; получены условия информационного согласования геометрии РИС с измеряемым физическим полем. Им разработаны теория измерительных сред, методы и алгоритмы измерения с помощью РИС, математической основой которых являются методы решения некорректных обратных операторных (коэффициентных) задач для уравнений математической физики. Для реализации РИС предложены параметрические одномерные и многомерные распределенные измерительные среды на основе резистивно-емкостных, пьезорезонансных и нелинейных электрохимических, полупроводниковых структур. Предложены методы оценки системных параметров (время доставки сообщений, живучесть, надежность) больших телекоммуникационных сетей на основе фрактальной размерности их топологии, а также электрошумовые методы диагностики топливных элементов с протонообменной мембраной как фрактальной структуры (Ю.К. Евдокимов, А.Ю. Кирсанов, Е.С. Денисов, Д.В. Шахтурин, А.Ш. Салахова).

Учеником Р.Ш. Нигматуллина – **Ф.А. Карамовым** предложены и разработаны элементы функциональной электроники на твердых электролитах, исследованы частотные свойства структур «электрод/твердый электролит», получены соответствующие электрические модели.

Учеником Р.Ш. Нигматуллина – **А.Х. Гильмутдиновым** разработана классификация конструктивных признаков, позволяющая формально описывать не только известные конструкции резистивно-емкостных элементов с распределенными параметрами (RC-ЭРП), но и предлагать новые конструктивно-технологические решения, в т.ч. и RC-ЭРП с фрактальной размерностью, в частности, RC-ЭРП с фрактальными

структурами резистивного и проводящего слоев, параметрические РС–ЭРП на основе известных физических эффектов в материалах резистивных и диэлектрических слоев. Предложена классификация моделей неоднородных РС–ЭРП, позволяющая любое из множества конструктивных решений РС–ЭРП отнести к определенному классу и для его анализа и синтеза использовать соответствующие этому классу математические модели. Предложен и разработан метод конечных распределенных элементов (МКРЭ), основанный на моделировании одномерных неоднородных (ОН) и двумерных конечных элементов с помощью ОН РС–ЭРП, имеющих точное аналитическое решение. Этот метод положен в основу программ анализа и синтеза конструкций ОН и двумерных РС–ЭРП с заданными характеристиками. Разработаны частотные критерии синтеза высокостабильных и регулируемых активных РС–цепей, устройств комплексного дробного интегрирования и дифференцирования (дробных операторов), позволяющие свести задачу синтеза активного четырехполюсника к задаче синтеза пассивного двух/четырёхполюсника с заданной формой ФЧХ. Решена задача параметрического и структурного синтеза двумерных РС–ЭРП с заданными частотными характеристиками на основе эволюционного поиска в пространстве конструктивных решений с помощью генетического алгоритма.

Область научных интересов сына и ученика Р.Ш. Нигматуллина – профессора кафедры РИИТ **Равиля Нигматуллина** в настоящее время можно охарактеризовать тремя направлениями:

1. Фракталы, дробное исчисление и их приложения к физике диэлектриков;
2. Статистика дробных моментов и ее приложения для детектирования слабых сигналов; создание универсальных методов по количественному “прочтению” случайных последовательностей;
3. Статистическое флуктуационное приближение и его применение для изучения термодинамики систем с сильным взаимодействием.

В 1974 году Равиль Рашидович успешно защитил на кафедре теоретической физики Казанского университета кандидатскую диссертацию по теме “Вопросы кинетики парамагнетиков при низких температурах”. С сентября 1982 г. по июль 1983 г. был приглашен в качестве стажера в лабораторию физики диэлектриков (бывший Чэлси-колледж Лондонского университета), которую возглавлял в то время проф. А. К. Джоншер, известный специалист по физике диэлектриков. Затем в 1990 г. он получил возможность продолжить научные исследования по физике диэлектриков в Кингз колледж (Лондонский университет) в лаборатории проф. Р. Хилла. В 1992 г., под сильным влиянием своего отца, проф. Р.Ш. Нигматуллина, успешно решил задачу по истолкованию геометрического и физического смысла операции дробного интегрирования с действительными и комплексными показателями. Защитил докторскую диссертацию по теме: “Физика” дробного исчисления и ее реализация на фрактальных структурах” на кафедре теоретической физики Казанского университета. Активно сотрудничает с учеными из Франции, Израиля, Германии, Японии и Китая.

Казанская научная школа Р.Ш. Нигматуллина подготовила 12 докторов наук и более 40 кандидатов наук. Учеными школы опубликовано более 1100 работ, свыше 200 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Международным признанием заслуг школы Нигматуллина стало проведение в Казани 9-12 октября 2018 года научной конференции «Нигматуллинские чтения-2018».

В разработках ученые и специалисты кафедры используют научные и технические идеи, как правило, имеющие патентную чистоту, внедряют на предприятиях новейшие микроэлектронные и цифровые технологии. В рамках хоздоговорных НИР выполнялись заказы таких организаций и предприятий как ЦНИИ Гидроприбор (С.-Петербург), Казанский вертолетный завод, НИИАТ, КНИИРЭ, Завод электроники и механики

(Чебоксары), АО Татнефть, ОАО Татнефтегеофизика, АО Татэнерго, НПО Энергомаш им. В.П.Глушко, ВНИИР (Казань), НИИАТ (Казань), СКТБ (Углич), Чистопольский часовой завод и т.д.

Так, например, по заказам ОАО Татнефтегеофизика в рамках хоздоговорных НИР были разработаны уникальные, не имеющие зарубежных и отечественных аналогов, приборы для геофизических исследований нефтяных скважин. Это - прибор для акустических и температурных измерений высокого разрешения, телеметрическая система для сейсмической томографии, позволяющая проводить параллельные измерения с 96 сейсмодатчиков в скважинах глубиной до 5 км, прибор идентификации фаз жидкостей в горизонтальных скважинах на квазираспределенных кварцевых датчиках и т.д. Также в рамках хоздоговорных НИР осуществлены разработки систем измерения и управления активного магнитного подвеса высокоэнергетических роторных машин и шпиндельных узлов высокоточных станков. Проведены исследования системных характеристик и помехоустойчивости GPS и отечественных ГЛОНАСС навигационных приемников. В этих разработках широко использована современная элементная база, сигнальные процессоры и микроконтроллеры, а также применены цифровые методы обработки сигналов, методы скоростной передачи данных по длинным (кабельным) линиям и т.д.

Дальнейшее свое развитие в научной и образовательной деятельности кафедры РИИТ связывает с областью создания киберфизических и интеллектуальных систем на основе микроволновой и квантовой обработки сигналов. Основой успеха является высокий научный и образовательный потенциал кафедры РИИТ, что позволяет ее коллективу уверенно двигаться вперед в динамичный завтрашний день.

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS AND INFORMATION-MEASURING EQUIPMENT: YESTERDAY, TODAY, TOMORROW

Yu.K. Evdokimov

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI
10, st. K.Marksa, Kazan, 420111, Russian Federation

Annotation. The article describes the history of the RIIT department, which since its foundation provides teaching of disciplines that lay the professional foundation for the training of radio engineers - the basics of circuit theory, radio circuits and signals, electronic devices and the basics of microelectronics, electronics and radio electronics, metrology and radio measurements, etc. Scientific achievements are considered. , high scientific and educational potential of the RIIT department, allowing its team to confidently move forward into a dynamic tomorrow, linking their further development in educational and scientific activities with the creation of cyber-physical and intelligent systems based on microwave and quantum signal processing.

Key words: radio engineering, radio electronics, information-measuring equipment.

Статья поступила в редакцию 15.06.2022г.