

Н. Е. К а з а ч е к (Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского). **Статистическая радиофизика от истоков до современности.**

Статистическая радиофизика в настоящее время представляет собой широкую и быстро развивающую область, включающую в себя как чисто физические проблемы, так и разнообразные прикладные вопросы. Ранними работами по статистической радиофизике (СР) а именно, по статистической оптике, являются работы по рассеянию света Релея и Мандельштама, Бриллюэна. Речь шла о случайных волнах, возникающих за счет хаотического изменения параметров среды. Необходимо отметить, что несмотря на вековую историю, физика рассеяния волн в статистически неоднородной среде и сегодня не потеряла свою актуальность.

В 20-е годы XX века рассматривались интерференция и дифракция света в поле случайных волн. В 30-е и особенно в 40–50 годы разрабатываются методы радиолокации, радионавигации; возникает вопрос о шумах радиоприемных устройств, статистических явлений при излучении и распространении радиоволн.

Как оптимальным образом сформулировать процедуру обнаружения сигнала и уменьшить случайные ошибки оценки его параметров? Ответ на эти вопросы дает статистическая теория, ряд фундаментальных положений, которые были сформулированы В. А. Котельниковым [1, 2].

В середине 40-х годов в основу теории связи ввели статистические методы, позволившие найти новые направления совершенствования техники связи. Известно, что создание теории потенциальной помехоустойчивости принадлежит академику В. А. Котельникову. Теория оптимальной линейной фильтрации принадлежит академику А. Н. Колмогорову и Н. Винеру. Идея информации принадлежит К. Э. Шеннону

Ранее, в 30-е годы, возникло направление исследования собственных электромагнитных флуктуаций в радиоустройствах и поиска путей их уменьшения. Найквист предложил формулу, описывающую спектральную плотность $G(\omega)$ собственных шумов сопротивления R , связанных с тепловым движением электронов: $G(\omega) = 2/\pi kRT$.

В работе [3] А. А. Виттом и С. Э. Хайкиным впервые была решена задача о поведении динамической системы под воздействием случайных толчков. Ими было установлено: в автоколебательных системах собственные электромагнитные флуктуации определяют минимальную (предельную) ширину спектральной линии. Названы имена ученых, которые в основу теории связи ввели статистические методы и которые позволили совершенствованию техники связи.

К первооткрывателям относятся также выдающийся отечественный ученый В. И. Бунимович и американские ученые С. О. Раис и Д. Мидлтон, независимо друг от друга разработавшие примерно в одно и тоже время вероятностные методы анализа различных радиоустройств [4].

Нижегородская радиолaborатория — первый советский научно-исследовательский центр в области радиотехники. Стратегически важными для страны задачами, над решениями которых сосредоточили свои усилия ученые лаборатории, были налаживание отечественного электровакуумного производства и развитие радиотелефонии.

Почему был выбран Нижний Новгород? Причины — относительно небольшая отдаленность от столицы, достаточно безопасное расстояние от белогвардейских отрядов, наличие высокоразвитой металлообрабатывающей промышленности.

«В 30-е годы, т. е. еще до Великой Отечественной войны, в город Горький случился быть выброшенным «научный десант» молодых москвичей». Так писал в своей книге [5] М. Миллер (профессор, известный радиофизик, первый студент радиофизического факультета Нижегородского университета). Этими молодыми учеными были: М. Т. Грехова, А. А. Андронов, Г. С. Горелик, В. И. Гапонов и др.

Нижний Новгород стал одним из центров развития статистической радиофизики.

В октябре 1958 г. в Горьком проходила Первая Всесоюзная конференция по статистической радиофизике Министерства высшего образования и АН СССР. В ее работе принимали участие не только известные ученые: С. М. Рытов, М. Л. Левин, И. Л. Берштейн, но и ряд специалистов в этой области. В решении, принятом конференцией, отмечается: Дальнейший прогресс радиотехники зависит от разрешения проблем (СР), связанных с работой радиоустройств при наличии шумов...» [6].

1958 год. С. М. Рытов по приглашению академика А. Л. Минца возглавил радиофизическую лабораторию в РТИ АН СССР. С. М. Рытову принадлежит разработка и создание наземных радиоинформационных комплексов, малошумящих параметрических усилителей, развитие акустооптических методов обработки радиолокационных сигналов, исследование ионосферы с помощью ракет и искусственных спутников Земли в интересах дальней радиолокации.

Области, в которые С. М. Рытов внес фундаментальный вклад, можно условно разделить на три группы:

- теория колебаний и акустика;
- распределение волн, электродинамика и оптика;
- статистическая радиофизика.

С. М. Рытов известен также своим учебником «Введение в статистическую радиофизику».

Аскольд Николаевич Малахов является одним из основателей фундаментально-прикладного направления СР и автором четырех монографий.

Остановимся на одной из них — монографии «Флуктуации в автоколебательных системах». В книге рассматриваются флуктуации амплитуды и частоты, анализ ширины и формы спектральной линии автоколебаний различных автогенераторов, обладающих естественными и техническими шумами. Первая часть книги содержит математический аппарат спектрально-корреляционного анализа случайных процессов и их преобразования линейными системами. Рассмотрены физические аспекты электрических шумов. Во второй части монографии автор рассматривает общую теорию формы и ширины спектральной линии колебания. Исследуются процессы синхронизации генераторов с шумами. В третьей части автор проводит анализ различных методов экспериментального исследования флуктуаций амплитуды и частоты радиогенераторов [7]. А. Н. Малахов опубликовал свыше 200 работ в журналах «Известия вузов. Радиофизика», «Радиотехника и электроника». Областью его научных интересов — это теория негауссовых случайных процессов, диффузия через потенциальные барьеры.

В 1964 г. А. М. Прохоров и Н. Г. Басов стали известны как создатели лазера. В ряде разделов СР произошли, как тогда писали, революционные изменения. В оптике необходимо было применять негауссовские характеристики. Появился новый класс статистических задач, связанных с изучением оптических генераторов со случайной обратной связью, генераторов, принцип которых ближе к принципу действия ядерного реактора, чем генератора радиодиапазона [8].

А. С. Чиркин — профессор кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ. Научные интересы А. С. Чиркина: статистическая оптика, нелинейная оптика, квантовая оптика, N -статистические явления в нелинейных волнах.

Необходимо отметить, что разработка теории случайных волн в нелинейных средах — это, в основном, разработки последних 20 лет.

При изучении или рассмотрении СР можно выделить два подхода. Под СР в узком смысле (статистической радиотехники) понимают вопросы, связанные с флуктуациями и шумами в радиоустройствах и статистическими проблемами передачи и приема информации.

В более широком смысле под СР понимают круг задач, связанных с изучением статистических явлений в колебательных и волновых процессах, причем не обязательно в электромагнитных колебаниях и волнах.

А что сегодня представляет собой СР? Современная СР имеет прикладное значение; она проникла в акустику, газо- и плазмодинамику, твердое тело механику, твердого тела и, конечно, во все видимые и невидимые диапазоны электромагнетизма.

Математической основой СР является теория случайных функций. Скалярная или векторная функция одной или нескольких независимых переменных называется случайной, если значение ее при произвольной последовательности выбора значений независимых переменных оказываются набором случайных величин. Случайная функция — это общее понятие теории случайных функций, наряду с данным понятием используются понятия: случайный процесс (случайные функции времени) и случайное поле. Известно, что СР занимается изучением стохастических явлений в колебательных и волновых процессах. В математическом плане все сводится к решению линейных или нелинейных дифференциальных уравнений со случайными начальными или (краевыми) условиями, случайными параметрами, случайными внешними силами. И так, для описания явлений, установления законов, утверждение различных экспериментов СР используются стохастические дифференциальные уравнения. Решение стохастических дифференциальных уравнений — это нахождение средних и корреляционных функций для неизвестного случайного процесса или поля. Математический аппарат, позволяющий описывать и оперировать со случайными величинами и случайными процессами дает теория вероятностей [9].

Повысился вычислительный уровень при решении различных задач, в том числе решения задач СР с применением параллельного вычисления. В современных задачах часто возникает потребность вычисления дробных производных различных функций [10], это касается задач СР. С 80-х годов XX века началось исследование одномерных дифференциальных уравнений с модифицированными дробными производными Римана–Лиувилля. Известны двухсеточные параллельные алгоритмы решения дробно-дифференциальных уравнений.

При разработке современных телекоммуникационных комплексов необходимы углубленные знания математических методов анализа сигналов. Основное положение занимает спектральный анализ, опирающийся на теорию преобразования Фурье и родственные методы исследования сигналов самой различной физической природы.

В настоящее время проблема статистического анализа нелинейных динамических систем, находящихся в существенно неравновесных состояниях, охватывает различные разделы статистической радиофизики и соответственно привлекает внимание в связи с ее важностью не только в широком круге физических проблем, но и в целом ряде задач химии и биологии. Примерами подобных неравновесных состояний нелинейных динамических систем могут служить: движение солитонов в длинных джозефсоновских контактах, нестабильные и метастабильные состояния, возникающие при фазовых и бифуркационных переходах, броуновские моторы, нуклеация, критические явления и др. Исследуются устойчивость, чувствительность и стабилизация стохастических возмущенных нелинейных динамических систем.

Остановимся на современных теоретических вопросах СР. В этом направлении по количеству публикаций и признанием его работ учеными всего мира является профессор Нижегородского университета А. А. Дубков, которым изучен ряд нелинейных флуктуационных явлений в системах, где шум неожиданно начинает играть конструк-

тивную роль. Это такие явления, как стохастический резонанс, усиление шумом отклика нелинейной пороговой системы на входной гармонический сигнал. Задержка шумом распада метастабильных состояний, резонансная активация, минимизация времени преодоления броуновской частицей потенциального барьера при изменении частоты его модуляции, рэчет, создание однонаправленного потока частиц вдоль асимметричной периодической структуры за счет ее модуляции внешним полем, лежащий в основе действия так называемых молекулярных моторов [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Котельников В. А.* О пропускной способности эфира эфира и проволоки в электросвязи / Всесоюзный энергетический комитет. — Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической конструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933.
2. *Котельников В. А.* Проблемы помехоустойчивости радиосвязи: радиотехнический сборник. — Госэнергоиздат, 1947.
3. *Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э.* Теория колебаний. Ч. I. М.—Л.: ОНТИ, 1937.
4. *Быховский М. А.* В. И. Бунимович — пионер в области статистической радиофизики. — Электросвязь, 2004, № 12, с. 50.
5. *Миллер М. А.* Избранные очерки о зарождении и взрослении радиофизики в Горьковско-нижегородских местах. Н. Новгород: Издательство ИПФ РАН, 1997, 224 с. С ил.
6. *Сучкин Г. Л.* Первая Всесоюзная конференция по статистической радиофизике. — Изв. ВУЗов. Сер. радиоэлектроника, 1959, т. 2, № 1, с. 1–7.
7. *Малахов А. Н.* Флуктуации в колебательных системах. М.: Физматлит, 1968.
8. *Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С.* Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Физматлит, 1981.
9. *Тихоов В. И.* Статистическая радиотехника. М.: Советское радио, 1966.
10. *Лапинова С. А., Саичев А. А.* Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение современных информационно-телекоммуникационных систем и технологий для обработки сигналов различной природы». Нижний Новгород, 2006, 89 с.
11. *Дубков А. А.* Статистический анализ индуцированных шумами различной природы эффектов в нелинейных динамических системах. Дисс. на соискание уч. ст. доктора физ.-матем. наук: 01.04.03., 2017.