



РАЗМЫШЛЕНИЯ О НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКЕ
К вопросу об учебных планах подготовки специалистов
по нелинейной динамике

В.С. Анищенко

Вместо введения

Начнем с того, что учебных планов подготовки специалистов по нелинейной динамике формально не существует. И это естественно, так как в перечне университетских специальностей «нелинейная динамика» отсутствует. В то же время ежегодно в последние десять лет проводятся международные семинары, конференции и симпозиумы, в названии которых обязательно присутствует термин «нелинейная динамика» и различные ее приложения в естествознании. В издательствах научной литературы регулярно публикуются сборники научных трудов, монографии и даже учебники по нелинейной динамике. При некоторых издательствах созданы специализированные редколлегии по отбору и публикации серии книг по нелинейной динамике.

Возникают вопросы: российские университеты безнадежно отстали в этом направлении? Повторяется история с кибернетикой и теорией информации? Или это не так? К великой радости, это действительно не так. В университетах России работают известные специалисты в области нелинейной динамики. Под их руководством осуществляется подготовка выпускников, аспирантов и докторантов по ряду направлений современной нелинейной динамики. При этом уровень подготовки специалистов отвечает самым высоким требованиям мировой науки. Однако в силу определенного здорового консерватизма высшей школы нелинейная динамика пока не выделилась в самостоятельную специальность, что должно, видимо, произойти в ближайшее время. Целью настоящей статьи является обсуждение в порядке дискуссии некоторых проблем, связанных с пониманием предмета нелинейной динамики и формулировка общих положений о возможном содержании учебного плана подготовки специалистов по нелинейной динамике на основе плана специальности «радиофизика и электроника».

Немного истории

В конце семидесятых годов благодаря активной деятельности профессора Штутгартского университета Г. Хакена и профессора МГУ Ю.Л. Климонтовича в университетах России заговорили о синергетике. При этом каждый понимал новую

науку по-своему. Одни говорили о новой парадигме в естествознании, об изменении сути научного подхода, обусловленного кооперацией нескольких фундаментальных наук и их методов; другие не видели в синергетике ничего нового в сравнении с современной теорией колебаний и волн; третьи вообще считали, что синергетика это лозунг и ничего больше.

Примерно в эти же годы ярые дискуссии и споры вызвали идеи Нобелевского лауреата И.Р. Пригожина о процессах формирования и эволюции так называемых диссипативных структур, о хаосе, порядке и т.д. Многие ученые отстаивали мнение, что понятие «автоволны» и «автоколебания» более правильно отражают суть явлений и рассматриваемые проблемы составляют предмет исследований нелинейной теории колебаний и волн.

Наконец, относительно недавно профессор Ю.Л. Климонтович предложил ввести в перечень направлений магистерской подготовки физиков специализацию «физика открытых систем».

Вы скажете, так в чем же проблема и какое отношение все это имеет к нелинейной динамике? Я не беру на себя смелость дать исчерпывающий ответ на этот сложный вопрос, но хотел бы отразить свою точку зрения. Как мне представляется, нелинейная динамика с одной стороны включает в себя многое из того, что мы понимаем под синергетикой, теорией диссипативных структур и физикой открытых систем. Но при этом нелинейная динамика имеет более четко обозначенный круг проблем, которые определяют предмет ее исследований и в определенном смысле может претендовать на роль объединяющего фактора по отношению к синергетике, теории диссипативных структур и физике открытых систем.

Нелинейная динамика – это наука?

Несмотря на определенные и естественные различия в содержании и трактовке указанных выше научных направлений, их объединяет глубокая общность. Картина с точки зрения философии науки во многом напоминает времена становления теории колебаний. Теория колебаний вначале формировалась как наука, нацеленная на описание механизмов возникновения и свойств незатухающих периодических колебаний в радиотехнических генераторах. Однако, очень быстро пришло понимание фундаментальной общности и значимости теории колебаний для естествознания в целом. Аналогичная картина имела место и при разработке и дальнейшем развитии теории информации. Возникнув на основе изучения и оптимизации процессов передачи информации по каналу связи в радиотехнике, теория информации сформировалась в самостоятельную дисциплину с широким спектром приложений от радиофизики до лингвистики.

С нелинейной динамикой на наших глазах происходит нечто подобное. Безусловно, в современной теории нелинейных колебаний и волн разработаны не только специальные методы анализа нелинейных процессов в динамических системах, но и исследован ряд принципиальных физических явлений общего характера, имеющих фундаментальное значение для естествознания. Вклад теории нелинейных колебаний и волн в развитие нелинейной динамики в целом безусловно велик. Однако выяснилось, что при анализе реальных эволюционных процессов в естествознании широкий спектр проблем не может быть исследован с использованием только теории колебаний и волн. В качестве одного из примеров можно привести явления индуцированных шумом переходов в нелинейных системах. Выяснилось, что в ряде случаев роль шума не может рассматриваться лишь в качестве малого возмущающего фактора. Шум может вызывать качественно новые физические эффекты и явления, отсутствующие в системах без воздействия флуктуаций. Другим примером может служить явление детерминированного хаоса. Для понимания закономерностей хаотических процессов в нелинейных диссипативных динамических системах необходимо

использовать весь арсенал теоретических методов и представлений теории динамических систем, статистической и эргодической теорий, теории информации, качественной теории и др. Другими словами, для более глубокого анализа закономерностей нелинейной динамики сложных систем естествознания требуется синергетический подход. Это одно важное обстоятельство. Другое, не менее важное обстоятельство, заключается в том, что ряд принципиальных эффектов, обнаруженных при исследовании нелинейных систем в различных (порой не связанных между собой, на первый взгляд) конкретных областях знаний, носит фундаментально общий характер. И, наконец, наиболее важное. По существу, большинство новых эффектов, открытых в последние годы физиками, имеет отношение к исследованию явлений и процессов в нелинейных диссипативных системах и средах. Автоколебания и автоволны (включая хаотические), а также стационарные пространственные структуры могут наблюдаться исключительно в нелинейных диссипативных системах и распределенных активных средах. Такие системы в силу диссипативности являются открытыми системами, а самоподдержание тех или иных режимов или структур в открытых системах возможно лишь за счет их принципиальной нелинейности. Таким образом, ключом к пониманию сути сложных явлений и процессов является диссипативность и нелинейность динамической системы. Поэтому, если подходить к проблеме с самых общих позиций, то синергетика, теория диссипативных структур, физика открытых систем и нелинейная динамика – все это по сути дела важные составляющие одной общей науки, призванной описать явления в мире открытых нелинейных систем, активно взаимодействующих с внешней средой.

Указанное выше, как мне представляется, дает возможность составить определенные представления об основном содержании и предмете изучения нелинейной динамики.

Давать определения, тем более новые – дело непростое и даже неблагодарное в силу неизбежной критики. Тем не менее беру на себя смелость дать определение нелинейной динамики.

Нелинейная динамика – это наука, изучающая эволюционные процессы, общие закономерности и явления в нелинейных динамических системах окружающего мира и в их образах – математических моделях активных открытых динамических систем, способных к самоорганизации.

Предметом исследований нелинейной динамики являются принципиально нелинейные динамические системы, главным образом диссипативные. Консервативные нелинейные системы также составляют предмет изучения нелинейной динамики, важный для понимания проблемы самоорганизации в диссипативных системах. Под самоорганизацией я понимаю возможность образования и самоподдержания в динамической системе устойчивых временных, пространственных и пространственно-временных изолированных структур.

Предвижу возражение: в этом нет ничего нового, это закономерный путь развития практически любой теоретической науки. Да, революции здесь, по-видимому, нет, но налицо существенная эволюция. Действительно, мы можем усмотреть аналогию с развитием теории нелинейных колебаний, которая коллекционирует наиболее простые базовые математические модели, демонстрирующие те или иные фундаментально общие свойства. Например, модель генератора Ван-дер-Поля как простейший пример системы с устойчивым предельным циклом. В нелинейной динамике также осуществляется поиск и выделение фундаментальных моделей, описывающих принципиально важные и общие свойства нелинейных систем естествознания. Отличие в том, что число таких моделей существенно расширяется. В их число теперь включаются не только динамические системы классической теории колебаний, но и модели из статистической теории (процесс Орнштейна – Уленбека, бистабильный осциллятор с шумом), химии, механики, популяционной динамики, экологии и др. Это тот самый случай, когда увеличение количества существенно меняет качество.

О содержании учебных планов

В настоящей статье я хотел бы изложить одно из возможных направлений развития и совершенствования подготовки специалистов в области нелинейной динамики. За основу можно взять стандартный учебный план университетской подготовки выпускников по специальности «радиофизика и электроника». Программы циклов дисциплин по высшей математике, общей физике, теоретической и математической физике и информатике (включая «компьютерные» дисциплины) составляют фундаментальную научную базу подготовки специалиста по нелинейной динамике. С целью формирования более широкого кругозора студентов и обоснования важности «кооперации» фундаментальных наук в рамках нелинейной динамики необходимо включить в план общий курс по синергетике (34–51 час). Исследования в области нелинейной динамики убедительно показали необходимость более глубоких знаний теории случайных процессов и статистической физики. В этом направлении можно пойти двумя путями. Можно ввести дополнительные общие курсы «Теория случайных процессов» и «Индукцируемые шумом фазовые переходы». Либо, путем соответствующей переработки программ по теории вероятностей и статистической физике, ввести указанные выше разделы в эти курсы за счет некоторых неизбежных при этом сокращений действующих программ.

Теперь обсудим содержание общих специальных радиофизических дисциплин. Наиболее важными здесь являются курсы теоретических основ радиотехники, теории нелинейных колебаний, теории волновых процессов, статистической радиофизики и теории информации. Программы этих курсов наиболее полно отражают суть фундаментальных явлений в нелинейных динамических системах. Кроме того, лектору представляется ничем не ограниченная возможность широко использовать последние научные результаты в соответствующих направлениях исследований. Однако, преподаватели указанных дисциплин испытывают потребность оперировать элементами современной качественной теории дифференциальных уравнений. Еще недавно для этой цели было достаточно основных результатов по качественной теории динамических систем на плоскости. Они входили как часть курса лекций по нелинейной теории колебаний. Сейчас этого явно недостаточно. Необходимо ввести общий специальный курс лекций по качественной теории нелинейных дифференциальных уравнений, программа которого должна включать результаты не только для двумерных систем, но и для систем, фазовое пространство которых имеет размерность $N > 2$. Важность этого курса обусловлена тем, что при отсутствии общей теории решений нелинейных дифференциальных уравнений, качественная теория является по сути единственной, которая располагает рядом строгих результатов общего характера, очень важных с точки зрения нелинейной динамики и ее практических приложений.

Из общих специальных курсов представляется желательным переработка и наполнение современным содержанием курса лекций по математическому моделированию. На физическом факультете СГУ этот курс хотя и является общим, однако читается независимо на каждой кафедре на базе индивидуальных научных направлений того или иного коллектива. Настало время, по-моему, разработать действительно общий курс, поручив его методическое обеспечение коллективу одной или нескольких кафедр, имеющих наибольший научный и методический опыт в этом направлении.

Что касается формирования перечня специальных курсов кафедр по соответствующим специализациям, то здесь предоставляется безусловно большая свобода выбора. Спецкурсы должны иметь в качестве основы результаты научных исследований соответствующих научных школ, групп, отдельных научных работников и создавать фундаментальную базу для подготовки дипломных работ выпускников, магистерских, кандидатских и докторских диссертаций. В качестве реального примера приведу перечень некоторых спецкурсов, сформировавшихся

за последние годы на кафедре радиофизики СГУ с учетом перспектив их совершенствования на ближайшие годы.

- Дополнительные главы нелинейной теории колебаний и волн.
- Устойчивость и бифуркации динамических систем.
- Детерминированный хаос.
- Персональный компьютер в научных исследованиях.
- Нелинейное броуновское движение.
- Цифровая обработка сигналов.
- Дискретные динамические системы.
- Численные методы в нелинейной динамике.
- Численный анализ временных рядов.
- Специальные и прикладные проблемы нелинейной динамики.

Приведенные наименования спецкурсов ориентированы на подготовку специалистов по нелинейной динамике, работающих в области исследований эволюционных процессов в системах с конечным числом степеней свободы. Если коллектив научных сотрудников кафедры работает в области исследований нелинейных явлений в распределенных активных системах и средах, то соответствующий перечень спецкурсов должен включать дополнительные главы курса «Методы математической физики», численные методы в нелинейной теории волновых процессов, диссипативные структуры и т.д. Если, к примеру, основное направление исследований кафедры сосредоточено в области нелинейной оптики, то и спецкурсы должны соответствующим образом быть адаптированы к этой области нелинейной физики.

Замечания в заключение

В настоящей статье я изложил свои представления о новом научном направлении подготовки специалистов в области нелинейной динамики и собственно о том, что я понимаю под нелинейной динамикой. Сделано это на основе опыта учебной и научной работы кафедры радиофизики СГУ, которым располагаю. Отдаю себе отчет, что любой другой руководитель иной кафедры в чем-то со мной будет не согласен, и это нормально. Однако хочется надеяться, что некоторые соображения и общие идеи будут полезны определенному и достаточно широкому кругу работников высшей школы.

Специалистов по нелинейной динамике можно и нужно готовить на основе конкретных научных достижений коллективов практически любой из кафедр физических факультетов университетов. Опыт научного общения с профессионалами в области нелинейной динамики в России и за ее пределами позволяет мне обоснованно отдать предпочтение в выборе специальности «радиофизика и электроника» в качестве наиболее подходящей базы для формирования учебных планов по нелинейной динамике в будущем.

Безусловно, необходимо отдавать себе отчет в том, что пока не настало время готовить специалистов по нелинейной динамике в широком, как это было принято раньше, масштабе. Эта фундаментальная область знаний находится на этапе формирования и становления. Прикладные ее аспекты пока не выделились настолько, чтобы в практической жизни остро ощущалась реальная потребность общества в таких специалистах. В настоящее время реально и целесообразно ориентироваться на подготовку магистров, аспирантов и докторантов. Важно создать условия для подготовки элитной группы специалистов высшей квалификации, которым и предстоит в будущем двадцать первом веке адаптировать эту область знаний к потребностям реальной жизни. А такая потребность в будущем безусловно возникнет, в этом нет сомнений.



Анищенко Вадим Семенович защитил диссертацию на степень кандидата физико–математических наук (1970) и докторскую диссертацию «Механизмы возникновения и свойства динамического хаоса в радиофизических системах с конечным числом степеней свободы» (1986). С 1979 и по настоящее время работает в области исследований динамического хаоса. В качестве приглашенного профессора читал курс лекций по динамическому хаосу в Гумбольдском университете (Берлин, 1987). С 1988 года заведующий кафедрой радиофизики Саратовского университета. Автор более 200 научных работ, среди которых 6 монографий и 3 учебника по статистической радиофизике. Три монографии написаны на английском языке, из них 2 книги опубликованы в Лейпциге (1987, 1989); издательством «Наука» выпущена книга «Сложные колебания в простых системах» (1990), хорошо известная среди специалистов; в издательстве «World Scientific» вышла новая монография «Dynamical Chaos – Models and Experiments» (1995).

В.С. Анищенко разрабатывал и читал общие курсы лекций по статистической радиофизике, теоретическим основам радиотехники, теории колебаний и теории информации и ряд спецкурсов, из которых наиболее важные: устойчивость и бифуркации динамических систем, детерминированный хаос, специальные проблемы нелинейной динамики. Под его руководством успешно защитили диссертации 10 аспирантов, в настоящее время готовят свои работы три докторанта кафедры радиофизики, у которых он является научным консультантом. Соросовский профессор (1994). Заслуженный деятель науки РФ (1995). Входит в состав редколлегии журналов «Прикладная нелинейная динамика» и «Discrete Dynamics in Nature and Society».