

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»
Государственное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный университет»
Государственное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН
Центр «Стратегии динамического развития» им. С. П. Курдюмова
Институт экономических стратегий
Управление по культуре, спорту и делам молодежи администрации г. Твери
Межрегиональная общественная организация «Женщины в науке и образовании»
Тверское региональное отделение
межрегиональной общественной организации
«Женщины в науке и образовании»

Десятые Юбилейные Курдюмовские чтения:
**«Синергетика в общественных
и естественных науках»**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЙ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С ЭЛЕМЕНТАМИ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ДЛЯ МОЛОДЕЖИ
22 – 26 апреля 2015 г.**

В трёх частях

Часть I

Тверь 2015

УДК 5 (082)
ББК Бв 8629я431
С38

Редакционная коллегия:
д.х.н. Лапина Г.П. (ответственный редактор),
д.ф.-м.н. Малинецкий Г.Г.,
д.ф.-м.н. Ризниченко Г.Ю.,
директор «СДР-Центра» Курдюмов В.С.
асс. Лихуша П.С. (ответственный секретарь)

С38 Десятые Юбилейные Курдюмовские чтения «Синергетика в общественных и естественных науках»: материалы международной междисциплинарной научной конференции с элементами научной школы для молодежи / Ответственные за выпуск: Г.П. Лапина, П.С. Лихуша – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2015. – Ч. I – 196 с.

ISBN978-5-7609-1012-7

В сборнике содержатся материалы докладов, представленных на конференцию по следующим направлениям:

- Синергетика в математике и математическом моделировании;
- Синергетика в физике;
- Математическое моделирование в науках о живом;
- Моделирование социально-экономических и демографических процессов;
- Синергетика в гуманитарном и естественно-научном образовании.

Сборник представляет интерес для научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов вузов и школьников.

Материалы докладов издаются в авторской редакции.

УДК 5 (082)
ББК Бв 8629я431

Сборник материалов включён в систему РИНЦ

ISBN978-5-7609-1012-7

©Тверской государственной
университет, 2015
©Авторы статей

Оргкомитет:

- А.В. Белоцерковский - **Председатель**, д.ф.-м.н, профессор, ректор ТвГУ
Г.Ю. Ризниченко - **Сопредседатель**, д.ф.-м.н., профессор МГУ, председатель
правления МОО «Женщины в науке и образовании»
Г.Г. Малинецкий - **Сопредседатель**, д.ф.-м.н., профессор, Институт
прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
Л.Н. Скаковская – **Сопредседатель**, д.филол.н., профессор, Первый проректор-
проректор по учебно-воспитательной работе ТвГУ
И.А.Каплунов - **Сопредседатель**, д.т.н., профессор, проректор по научной и
инновационной деятельности ТвГУ
В.С. Курдюмов – **Сопредседатель**, зам. ген. директора Института
экономических стратегий РАН
О.В. Жукова – нач. управления по культуре, спорту и делам молодежи
администрации г. Твери
А.Н. Балужева – зам. нач. управления по культуре, спорту и делам молодежи
администрации г. Твери
С.М. Дементьева – **Сопредседатель**, декан биологического факультета ТвГУ

Программный комитет:

- И.Р. Бугаян, О.В. Губарь, И.С. Гудович, И.С. Емельянова, Е.А.Солодова, Г.В.
Киотина, Е.Н. Князева, В.А. Кузнецова, В.С.Курдюмов, И.В. Мельникова, Н.И.
Мерлина, О.А. Плечова, Д.С. Чернавский, Н.М. Чернавская, Е.С. Никитина,
Т.В.Потапова, А.С. Слепнев, Ф.А. Сурков, Н.Д. Гернет (Украина),
Л.И.Дюженкова (Украина), И.И. Ковтун (Украина), И.Н. Катковская (Беларусь),
Д.С. Чернавский, S. Rauche (Франция), L. Thurne (Швеция)

- Локальный комитет:** М.С. Белякова, С.С.Борисов, Е.В. Борисова
(**сопредседатель**), Васильева М.Н., Е.Г. Виноградова, В.А. Волков, П.И.
Галат, Н.И.Горбачева, У.С.Гуйда, А.В. Изотова, Г.П. Лапина (**председатель**),
П.С.Лихуша (**секретарь**), Маргаритова М.Ю., С.С.Мижужева, Е.В. Мочалова,
Ю.В.Налоева, М.С.Олонцев, Н.В.Парфентьева, Л.С.Полаева, С.И.Ушаков, Д.А.
Чумакова.

Дорогие друзья и коллеги!

Традиционно уже на протяжении девяти лет в апреле в Тверском государственном университете. Мы приветствуем Ваше участие в юбилейных десятых Курдюмовских чтениях «Синергетика в общественных и естественных науках», посвященных воплощению идей синергетики в разных областях науки и образования.

Курдюмовские чтения организуются Тверским государственным университетом и Тверским государственным техническим университетом совместно с Московским государственным университетом, Институтом прикладной математики им. Келдыша РАН, Центром "Стратегии динамического развития" им. С.П. Курдюмова, Институтом экономических стратегий, Администрацией г. Твери, Тверским отделением Межрегиональной общественной организацией «Женщины в науке и образовании».

Курдюмовские чтения собирают вместе учеников, друзей, последователей Сергея Павловича Курдюмова – крупнейшего российского ученого, педагога, организатора науки, общественного деятеля. Уже десять лет Сергея Павловича нет с нами, а мечты его во многом сбылись. Идеи самоорганизации, нелинейного развития, режимов с обострением широко распространились и завоевали умы не только ученых - математиков и естественников, но и экономистов, философов, историков, социологов, людей, занимающихся администрированием и принимающих решения. В большой мере этому способствовало издание серии книг «Синергетика от прошлого к будущему», задуманное Сергеем Павловичем и осуществленное под научным руководством профессора Георгия Геннадьевича Малинецкого издательством URSS. К настоящему времени издано около 100 книг этой серии. Замечательной статьей Г.Г.Малинецкого, в которой обсуждаются идеи С.П.Курдюмова и их воплощение в жизнь, открывается этот сборник материалов Десятых Курдюмовских чтений.

Сергей Павлович Курдюмов считал, что общие законы мироздания, изучаемые физиками и математиками, необходимо рассматривать в широком контексте цивилизации. Он призывал своих учеников, коллег, слушателей и читателей сочетать научную строгость с широтой восприятия мира во всей его полноте, с умением воспринимать другие, непохожие идеи в контексте общечеловеческой культуры.

Напряженно работая в науке и будучи директором Института прикладной математики им. Келдыша, Сергей Павлович приезжал в разные города на десятки научно-образовательных конференций, выступал с лекциями и докладами, вел многочасовые беседы с участниками. Он считал чрезвычайно важной деятельность Межрегиональной общественной организации «Женщины в науке и образовании» по организации междисциплинарных конференций и консолидации российского научно-образовательного сообщества.

Программа Курдюмовских чтений разнообразна, что отражает широту распространения идей синергетики. Участников ожидают доклады, посвященные естественно-научной философской и социологической, образовательной проблематике, экскурсии, концерт.

Мы благодарим наших хозяев – ректора и администрацию Тверского государственного университета и Тверского государственного технического университета, всех членов Оргкомитета во главе с руководителем Тверского отделения Межрегиональной общественной организации «Женщины в науке и образовании» – профессором Галиной Петровной Лапиной за самоотверженный труд по подготовке и проведению, и публикации материалов Десятых Курдюмовских чтений.

Желаем всем нашим участникам интересных докладов, плодотворных научных дискуссий, теплого дружеского общения на гостеприимной Тверской земле.

Со-председатель Оргкомитета Курдюмовских чтений,
Председатель правления Межрегиональной
общественной организации «Женщины в науке и образовании»,
профессор Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова
Галина Юрьевна Ризниченко

ОБРАЗ УЧИТЕЛЯ. ДЕСЯТЬ ЛЕТ СПУСТЯ

Г.Г. Малинецкий

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Жизнь ведь тоже только миг,
Только растворенье
Нас самих во всех других
Как бы им в даренье.

Б. Пастернак

Время проходит, меняются задачи, появляются новые проблемы, и в соответствии с этим становится иным взгляд на прошлое. Кроме того, формируется новый образ будущего, стратегии и цели развития. Поэтому при самом добросовестном отношении к знанию, истине и науке историю вновь и вновь переписывают, чтобы осмыслить вчерашний день с позиции завтрашнего.

Выдающийся специалист по прикладной математике, междисциплинарным исследованиям, философии и методологии науки, член-корреспондент РАН, мой учитель, Сергей Павлович Курдюмов говаривал по этому поводу: «Будущее времени настоящее и проясняет прошлое» (см. рис. 1). Кроме того, приходят следующие поколения, которым хочется передать результаты, надежды, мечты предыдущих и, если получится, уберечь от уже сделанных ошибок.

Именно с этих позиций сейчас хотелось бы взглянуть на научное творчество С.П. Курдюмова, на идеи, которые выдвигал он сам, и которые сейчас развивает его научная школа.

О личности Сергея Павловича, о его взглядах на жизнь, науку, будущее замечательно рассказывает книга воспоминаний о нем, которую успела подготовить писательница вич со школьных лет вел подробные



Рис. 1. Сергей Павлович Курдюмов (1928–2004).

дневники, в которых впечатления и раздумья перемежались с формулами. Зоя Журавлёва настояла, чтобы эти дневники, писавшиеся наскоро, были расшифрованы, и часть их была представлена в этих воспоминаниях.

О многом проще сказать «от первого лица». Сергей Павлович, размышляя, перечитывал записи, сделанные им в разные годы. «Удивительно, но одни и те же мысли приходили и возвращались вновь и вновь, начиная со школьных лет», – несколько раз говорил он мне. Казалось бы, внешние события его большой жизни уже описаны. На 70-летнем рубеже он задумался, какие из его работ и идей, хотелось бы «передать в будущее». Поэтому мы подготовили сборник «главных работ» научной школы с комментариями к ним [2], который потом издавался и переиздавался.

Сергей Павлович умел «любить науку в себе, а не себя в науке» и обычно радовался успехам и достижениям учеников и коллег больше, чем своим. Он считал, что мы делаем общее дело, работаем на будущее, и что самое главное и интересное – впереди. Когда мы получили тираж этого сборника, то он сразу подарил больше трех десятков экземпляров своим коллегам, друзьям и ученикам. При этом он, подписывая, не только адресовал теплые слова, но и там же написал каждому задачу, которую очень важно было бы решить в будущем. Каждому свою. Сергей Павлович был очень щедрым человеком – он с удовольствием дарил своё внимание, мысли, время, идеи и задачи тоже.

В своё время ученики, коллеги и друг С.П. Курдюмова – В.Б. Уваров, специалист по уравнениям состояния, крайне важным при моделировании ядерных взрывов и в задачах астрофизики, после его смерти издали монографию, посвященную развивавшимся им идеям. «Продолжить дело учёного, пойти дальше, превзойти его – это и есть лучший памятник ему. Дело его надо продолжать, а не мраморные глыбы ставить!», – с воодушевлением говорил Сергей Павлович.

Поэтому, наверно, стоит рассказать о нескольких главных идеях Сергея Павловича, об «инвариантах» его научного творчества, к которым он возвращался вновь и вновь на своём жизненном пути.

Хотя этот текст рассчитан «на всех», в нем иногда будут встречаться формулы. Мы как-то обсуждали с Сергеем Павловичем план и стиль одной из наших научно-популярных брошюр и уместность в ней формул. Я приводил ему слова выдающегося физика и блестящего популяризатора Стивена Вайнберга: «Каждая формула в научно-популярной книге уменьшает число читателей книги вдвое» и отстаивал «текст без формул». «Для математиков, физиков, естественников формулы выразят проще, точнее и конкретнее то, что мы хотим. Гуманитариям мы расскажем то же

самое, но формулы напомнят им, что есть и другой язык. И это сила, а не слабость», – возражал мне Сергей Павлович.

По его инициативе и самом активном участии Зои Журавлёвой и ассоциации «Женщины в науке и образовании» была организована целая серия замечательных конференций «Языки науки, языки искусства.» Поэтому формулы иногда будут попадаться.

Сергей Павлович был одним из основоположников *теории самоорганизации* или *синергетики* (от греческого – совместного действия) – междисциплинарного подхода, который активно развивается в отечественной и мировой науке с 1970-х годов. Его исследования и работы его научной школы получили мировое признание.

Однако, как говорили восточные мудрецы, которых любил вспоминать Сергей Павлович: «Сначала мы выбираем Путь, а потом Путь выбирает нас». Применительно к науке это означает, что мировоззрение, идеи и мечты в большой степени определяются задачами, которыми занимается исследователь.

Прикладная математика, как основа мировоззрения

Природа смеется над трудностями
интегрирования

П.С. Лаплас

Вся научная жизнь Сергея Павловича прошла в Институте прикладной математики (ИПМ) АН СССР, а позже в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Этот институт был создан в 1953 году выдающимся советским математиком, механиком, организатором науки, академиком Мстиславом Всеволодовичем Келдышем для решения стратегических задач, стоявших перед страной, которые требовали математического моделирования и компьютерных расчётов. Институт сыграл огромную роль в реализации советского ядерного и космического проектов. Благодаря этим проектам нынешняя Россия и существует сейчас как суверенное государство.

Срочная важная работа на переднем крае науки требовала квалифицированных, самоотверженных, талантливых людей. С другой стороны, именно работа над такими задачами помогала выращивать выдающихся учёных, позволяла создавать новые области науки, порождала новые идеи и необычный взгляд на мир.

Чтобы понять новое, естественно сравнить его со старым. Основным инструментом в Институте, где работал Сергей Павлович и которым позже руководил, была прикладная математика. Наверно, с неё и стоит начать.

В XX веке произошла важная *бифуркация* в развитии науки. Напомним, что бифуркация (от французского – раздвоение, ветвление) в строгом смысле – это изменение числа и/или устойчивости решений

определённого вида при варьировании параметров. В более широком смысле, и в гуманитарных науках, и в массовом сознании, с этим понятием связывается ситуация, в которой предыдущая траектория системы теряет устойчивость и появляются новые возможности для развития, другие траектории.

Математика едина, но в XIX веке сначала неявно, а затем явно произошло разделение на «теоретическую» и «прикладную» математику. Дело в том, что в XVIII веке учёные не обращали особого внимания на строгость доказательств, на теоремы существования и единственности. Член Санкт-Петербургской академии наук Леонард Эйлер полагал, что работа учёного – делать выкладки, а их строгое обоснование – дело второстепенное. Однако, Коши, Вейерштрасс, другие учёные столкнулись с парадоксами, возникающими при переходе к пределу в ряде задач математического анализа, а позже и с логическими задачами, не имеющими убедительных, очевидных решений. Требования к строгости возросли. Стало ясно, что прежде, чем вычислить ответ, надо доказать, что решение задачи существует и единственно. Это потребовало больших усилий и работы многих талантливых людей.

С другой стороны, потребности техники, физики, механики, астрономии ставили множество сложных проблем. При этом приходилось применять различные приближенные методы, уточнять постановку задач, самым активным образом взаимодействовать со специалистами, которым нужно решение.

Например – авиационная и космическая техника, судостроение и множество задач, связанных с обороной, требуют описания движения вязкой жидкости или газа. Классической моделью, описывающей такое движение, является выведенное столетия назад уравнение Навье–Стокса. Однако у нас до сих пор нет доказательств существования и единственности решений этого замечательного уравнения в трехмерной постановке. Однако именно в такой постановке можно описывать сложные, хаотические – турбулентные – движения жидкости и множество других важных и интересных явлений. И это уравнение нельзя «отложить на потом». Надо строить более простые модели, учиться считать их на компьютере, сопоставлять вместе со специалистами-гидродинамиками с экспериментом, уточнять модели и т.д. Именно этим и занимается прикладная математика.

Иногда шутят: «Теоретическая математика делает то, что можно, так, как нужно, а прикладная – то, что нужно, так, как можно».

Отсюда появляется и два взгляда на математические науки, отличающиеся расстановкой акцентов. Первый взгляд очень точно определил математик и популяризатор науки В.А. Успенский [3]: «Автору

очень хочется сказать, что математика – единственная наука, где достигается абсолютная истина, но он всё же на это не решается, так как подозревает, что абсолютность истины не достигается нигде. Но в любом случае математические истины ближе к абсолютным, чем истины других наук. Поэтому математика – наилучший полигон для тренировки на истину. Истина – основной предмет математики».

Такая трактовка широко распространена на механико-математическом факультете МГУ. Студенты других факультетов часто в шутку называют мехматян «носителями высшего знания».

Да и, собственно, о какой истине мы говорим? Только в классической философии есть две принципиально различные концепции истины. Одна из них основывается на принципе корреспонденции как соответствия знания объективному положению дел предметного мира (Аристотель, Ф. Бэкон, Дидро, Фейербах, Ленин). Другая – на принципе когеренции как соответствия знания характеристикам содержания идеальной сферы: Абсолюта (Платон, Гегель и др), врождённым когнитивным структурам (Августин, Декарт), априорным формам (Кант), интересубъективным конвенциям, соглашениям (А. Пуанкаре) и т.д. В постмодерне рассматриваются «игры истины в отношении индивидуума к самому себе» (Фуко). Тот же философ рассматривал «историю истины» как создание «такой истории, которая была бы не историей того, что может быть истинного в знаниях, а анализом «игр истины», игр истинного и ложного, игр, через которые бытие исторически конструирует себя как опыт, то есть как то, что может и должно быть помыслено» [4]. Как видим, и с «истиной» не всё просто. Другим любимым утверждением «теоретических математиков» является положение, что «математика – это язык» и «сфера творчества».

И действительно, после открытия Н.И. Лобачевским первой неевклидовой геометрии, а впоследствии и множества других, после создания в XX веке нескольких вариантов математического анализа (например, в нестандартном анализе вводится отдельное пространство «бесконечно малых чисел», отличных от всех других) стало ясно, что разных «математик» может быть много. И здесь уместна трактовка математики как «науки о возможных мирах», данная Вильгельмом Лейбницем.

Однако эта произвольность открывает возможность для творчества. Поэтому, к примеру, во многих американских университетах математические факультеты находятся в отделениях изящных искусств. Но есть и совершенно другой взгляд на математику, делающий акцент на прикладном аспекте этой дисциплины.

В этом контексте первична именно «прикладная», а не «теоретическая» математика. Именно так смотрел на науку, которой занимался, Сергей Павлович.

Этот взгляд очень точно выразил выдающийся российский исследователь, академик Владимир Игоревич Арнольд – представитель теоретической математики: «Вся математика делится на три части: криптография (оплачиваемая ЦРУ, КГБ и им подобными), гидродинамика (поддерживаемая производителями атомных подводных лодок) и небесная механика (финансируемая военными и другими организациями типа НАСА, имеющими отношение к ракетам).

Криптография привела к созданию теории чисел, алгебраической геометрии над конечными полями, алгебре¹, комбинаторики и компьютеров.

Гидродинамика породила комплексный анализ, уравнения в частных производных, теорию групп и алгебр Ли, теорию когомологий и методы вычислений.

Небесная механика дала начало теории динамических систем, линейной алгебры, топологии, вариационному исчислению и симплектической геометрии.

Существование таинственных связей между всеми этими различными областями – самая поразительная и прекрасная сторона математики (не имеющая никакого разумного объяснения)» [5].

С.П. Курдюмов и В.И. Арнольд были знакомы, относились с симпатией друг к другу и даже говорили о совместных исследованиях, но не успели. В своё время в Московском физико-техническом институте (МФТИ), в котором Сергей Павлович много лет преподавал, а затем заведовал кафедрой прикладной математики, была позиция заведующего кафедрой математики. На неё претендовал В.И. Арнольд – исследователь с мировым именем. К сожалению, ученый совет отклонил эту кандидатуру, о чём Сергей Павлович не раз с сожалением вспоминал. В.И. Арнольд не раз говорил, что математика – часть физики.

Этих исследователей многое связывало и по существу, в научном пространстве. Оба считали, что главным действующим лицом математики, естествознания, да и науки в целом будет *нелинейность*. Сергей Павлович часто говорил на своих лекциях: «Мы вступили с вами в новый мир – мир нелинейных процессов».

Для линейных уравнений справедлив *принцип суперпозиции* (наложения), встречающийся нам постоянно, начиная со школьной программы, где он упоминается в связи с законом Кулона. Благодаря принципу суперпозиции через наш радиоприёмник одновременно

¹ Создатель современной алгебры Виет был криптографом короля Генриха IV во Франции.

приходят сигналы тысяч радиостанций, не мешая друг другу, и мы можем их «поймать», покрутив ручку настройки.

Если L – линейный оператор, то в соответствии с принципом суперпозиции

$$L(\alpha u + \beta v) = \alpha Lu + \beta Lv. \quad (1)$$

Или «на гуманитарном языке» – в линейном мире действие совокупности причины 1 и 2 является обычной арифметической суммой результатов причины 1 (как будто второй не существует) и 2 (как будто не существует первой). Именно принцип суперпозиции позволяет «разделять и властвовать», «собирая» общее решение линейной задачи из частных. Иногда математическую физику, которую проходят в университетах, называют «наукой о трех уравнениях», – теплопроводности, Лапласа и колебаний струны –

$$u_t = u_{xx}, \quad \Delta\varphi = 0, \quad v_{tt} - v_{xx} = 0. \quad (2)$$

С нелинейными уравнениями, которыми занимался Сергей Павлович, всё гораздо сложнее и интересней. Он часто говорил примерно так: «Мир един, поэтому его главные свойства можно выяснить на самых простых моделях», – и приводил такой пример. Уравнение Мальтуса описывает рост популяции N со временем t

$$\frac{dN}{dt} = \alpha N, \quad N(0) = N_0, \quad \alpha > 0, \quad \Rightarrow N(t) = N_0 e^{\alpha t}. \quad (3)$$

Его решение – экспонента – она неограниченно растет за бесконечное время (α – постоянная, называемая мальтузианским коэффициентом). Мальтус полагал, что в соответствии с этим законом (в равное число раз за равные промежутки времени) растет численность человечества. И в этом он ошибался.

Однако уже простейшее нелинейное уравнение

$$\frac{du}{dt} = \beta u^2, \quad u(0) = u_0, \quad \beta > 0 \Rightarrow u(t) = \frac{1}{1/u_0 - \beta t}$$

ведёт себя гораздо интереснее. Здесь $u(t)$ стремится к бесконечности за конечное время, называемое временем обострения t_f . И это время существования зависит от начальных данных. Исследования, проведенные профессором Сергеем Петровичем Капицей, показали, что именно по этому, гиперболическому закону численность человечества росла около миллиона лет. Именно это кардинально отличает нас от всех видов, живущих на Земле. Если бы складывавшаяся в течение сотен тысяч лет тенденция сохранялась бы, то «временем обострения», когда нас стало бы бесконечно много, стал 2025 год (на Западе иногда это время называют точкой сингулярности). Удивительно простое уравнение оказывается содержательным и отражающим ключевые вещи, касающиеся каждого из нас. Сергей Павлович был дружен с профессором Физтеха, выдающимся

просветителем и бессменным ведущим передачи «Очевидное-невероятное». По словам С.П. Капицы именно в ИПМ, на семинаре у Сергея Павловича его глобальная демографическая теория нашла понимание и поддержку. Оба они очень ценили свою совместную монографию [6].

В творчестве В.И. Арнольда огромную роль сыграло исследование тоже очень простой модели

$$\phi_{n+1} = f(\phi_n) \bmod 2\pi, \quad 0 \leq \phi < 2\pi, \quad (4)$$

задающей отражение окружности (ϕ – угол) в себя. Несмотря на удивительную внешнюю простоту, эта модель оказалась глубокой и содержательной.

По мнению Сергея Павловича, прикладная математика играет очень важную творческую роль в процессе познания. С одной стороны, исследование свойств нелинейных моделей даёт более глубокое понимание явлений в разных областях науки. Оно помогает «увидеть единое во многом».

С другой стороны, это исследование «подсказывает», где следует искать новые, пока неизвестные явления и сущности. Сергею Павловичу нравилась мысль выдающегося французского математика Анри Пуанкаре о будущем математики, в котором можно будет предсказывать и находить новое на основе анализа общей математической структуры теории, используемой в данной области. В большой степени компьютерное моделирование сделало эту мечту реальностью.

В основе нашего знания и способности разумно и дальновидно действовать лежит умение отделять основное от второстепенного. Но именно это и является главным при построении математических моделей! В ходе создания модели выделяются ключевые факторы и процессы, которые надо описать, и второстепенные, которыми можно пренебречь. Это гораздо больше, чем просто «язык», о котором любят говорить «теоретические математики». Ещё Галилео Галилей считал, что книга Природы написана языком математики. Сегодня мы можем добавить, что само содержание книги – математические модели, отражающие наиболее важные познанные причинно-следственные связи, характеризующие Природу, общество, человека.

Сергей Павлович предвидел, что математика XXI века будет очень сильно отличаться от той, что мы знаем сейчас. В самом деле, главными «заказчиками», «поставщиками задач» в XX веке были механика, физика, отчасти химия. Однако наступившее столетие, вероятно будет определять развитие наук о человеке и обществе. На авансцену выходят медицина, психология, социология, история, теория управления рисками, нейронаука, исследование различных сетевых структур. Они должны

очень многое изменить и в прикладной математике, и в нашем понимании реальности.

В отличие от многих коллег, считающих, что математическое творчество – дело избранных, своеобразная «игра в бисер», доступная немногим, или своеобразный «спорт» Сергей Павлович представлял эту область исследований совершенно иначе. По его мысли – это сфера взаимодействия специалистов разного профиля, увлекательная попытка понять, что в разных областях науки является наиболее важным и общезначимым. По его мысли, идеи и понятия, рождающиеся в прикладной математике, становятся элементами культуры, а затем входят в массовое сознание.

И действительно, такие понятия как «точка бифуркации», «динамический хаос», «эффект бабочки», «режимы с обострением», пришедшие из прикладной математики, уже появились на страницах газет, в оценках экспертов, в речах политиков.

Сергей Павлович предвидел, что прикладная математика из дисциплины, «обслуживающей» другие области науки и сферы жизнедеятельности, станет, «генератором идей», основой междисциплинарных подходов. И на наших глазах этот прогноз сбывается.

Время и необратимость. На пороге новой революции в физике

Время всё ещё остаётся большой загадкой. Оно для нас не более, чем общее понятие; мы не знаем даже, существует ли оно.

К. Саймак

Сергей Павлович заканчивал физический факультет Московского государственного университета и делал дипломную работу, посвященную теории атомного ядра, под руководством академика М.А. Маркова. Сформировавшийся у него в это время физический стиль мышления, глубокое понимание значения законов природы он пронёс через всю жизнь.

Сергей Павлович считал своими учителями и относился с глубоким уважением и благодарностью к основоположнику вычислительного эксперимента академику Александру Андреевичу Самарскому и выдающемуся специалисту в области прикладной математики – асимптотического анализа, теории вычислительных алгоритмов, теории некорректных задач – академику Андрею Николаевичу Тихонову (которого он сменил на посту директора ИПМ). Важной вехой в истории Института, да и всей советской науки, стали расчёты ядерных устройств. Первая советская атомная бомба благодаря огромной физической интуиции, очень удачным математическим моделям и алгоритмам

вычислений была рассчитана на логарифмических линейках. Однако совершенствование оружия требовало объёма расчётов, далеко выходящих за пределы возможностей одного специалиста и даже бригады расчетчиков – нужны были вычислительные машины, компьютерные модели и новое поколение алгоритмов.

Когда А.Н. Тихонов на одном из совещаний рассказал о принципиальной возможности провести прямые численные расчёты ядерных взрывов, выдающийся физик Л.Д. Ландау назвал такую работу «научным подвигом». И этот подвиг был совершён в отделе, которым руководил академик А.А. Самарский. Одним из активных участников всех этих работ был Сергей Павлович. Он мало рассказывал о том времени, хотя ясно осознавал, что главные задачи Института были решены именно тогда.

По мнению А.А. Самарского, причиной успешной конкуренции, несмотря на отставание в вычислительной технике, с командой американских исследователей, занимавшейся аналогичными задачами, состояла в том, что ядро американской команды составили математики, а советской – физики. Они глубже понимали сущность описываемых процессов и приближения, которые могут быть сделаны при моделировании.

Кроме того, мир уравнений в частных производных, с помощью которых описываются законы природы, очень сильно отличается от «дискретного», «цифрового», в котором работают вычислительные машины. Это разные сущности. Второй мир гораздо беднее, и надо тщательно взвесить, как и какие свойства исходных уравнений следует передать на дискретном уровне. И физики обычно понимают это лучше. Не случайно одним из наиболее развитых разделов компьютерного эксперимента является вычислительная физика.

В физической науке Сергея Павловича волновала проблема стрелы времени, необратимости физических, химических, биологических, социальных процессов.

В судьбе учёного очень важно время, в которое он живет, основное течение научной мысли, или, как сейчас говорят на западный манер, «мейнстрим».

Вспомним уравнение Ньютона

$$m\ddot{\vec{r}} = \vec{F}(\vec{r}) = -\frac{\partial U}{\partial \vec{r}} \Rightarrow \frac{m\dot{\vec{r}}^2}{2} + U(\vec{r}) = E \quad (5)$$

Его следствием является сохранение энергии E , представляющей сумму кинетической и потенциальной энергий. Кроме того, оно независимо (инвариантно) относительно смены знака времени $t \rightarrow -t$. Это означает, что если уравнения Ньютона описывают пулю, вылетающую из

ружья, или падающий и разбивающийся стакан, то с таким же успехом этому уравнению удовлетворяет и пуля, влетающая в ружьё, и стакан «впрыгивающий» на стол. Однако мы почему-то не видим ни того, ни другого. Откуда же берется эта необратимость.

В школе объясняют, что всё дело в диссипативных (рассеивающих энергию) процессах, переводящих её в более низкоорганизованную форму. Среди них трение, вязкость, теплопроводность, диффузия, электрическое сопротивление.

Вместе с тем в самых фундаментальных уравнениях, как например, в уравнении Ньютона (5) или Шредингера

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U \psi \quad (6)$$

диссипации нет. Она возникает на другом уровне, при описании взаимодействия многих частиц.

Уравнения, в которых сохраняется энергия, так называемые *гамильтоновы системы*, были в центре внимания в прикладной математике с 1970-х годов. Это уравнение Кортевега-де-Вриза

$$u_t + uu_x + u_{xxx} = 0$$

или кубическое уравнение Шредингера

$$i\phi_t = \Delta \phi + |\phi|^2 \phi,$$

которые имеют *бесконечно много* законов сохранения. В силу этого их решения во многих отношениях ведут себя как частицы.

Модные сейчас квантовые вычисления также происходят с помощью гамильтоновых, обратимых систем.

Сергей Павлович в этом отношении шёл против течения. Именно в необратимости он видел непонятое и непознанное свойство времени. Он считал, что эта необратимость должна содержаться на самом глубоком уровне материи, который описывают фундаментальные теории.

Во время нашей первой встречи я – тогда третьекурсни́к физфака – и Сергей Павлович – ведущий научный сотрудник – часа четыре ходили по скверу на Миусской площади. Мы говорили обо всём на свете, вновь и вновь возвращаясь к проблеме времени. Он посоветовал мне множество философских трудов, связанных со временем, которые «хотя и не доходят до уровня моделей, но хотя бы содержат размышления об этих сущностях».

Мысль о важности времени в его необратимой ипостаси возникла у него ещё в школе. В течение всей жизни он возвращался к идеям древнегреческого философа Гераклита Эфесского (544–475 г. до н.э.) и любил повторять его фразу: «Мир не создан никем из богов и никем из людей, а всегда был, есть и будет вечно живым огнём, мерами воспламеняющимся и мерами угасающим». Очень долгие годы

изображение огня было на сайте С.П. Курдюмова <http://spkurdyumov.ru>, который ведет В.С. Курдюмов и который стал одним из крупнейших порталов России.

Здесь две главные доминанты научной судьбы Сергея Павловича. Первая – огонь, необратимые процессы, которые, по его мысли, и являются основой ткани мироздания. Вторая – самоорганизация. Сергей Павлович был атеистом. Но это мировоззрение требует объяснения, как же возникла вся эта удивительная и прекрасная сложность мира, начиная от элементарных частиц и большого взрыва и кончая человеком, сознанием, обществом.

Мировое признание Сергею Павловичу и его научной школе принесло исследование модели тепловых структур

$$T_t = \operatorname{div}(T^\sigma \operatorname{grad} T) + T^\beta, \quad \beta > 1, \sigma > 0, \quad -\infty < x < \infty, \quad T(\vec{r}, 0) = T_0(\vec{r}). \quad (7)$$

Это уравнение описывает процесс распространения тепла в горячей среде, в которой и коэффициент теплопроводности, и интенсивность источника являются нелинейными функциями температуры. Первоначально это уравнение возникло как часть модели, описывающей быстрые, нелинейные процессы в плазме. Однако Сергей Павлович пришёл к выводу, что оно заслуживает отдельного, специального изучения, и не ошибся. Решение этого уравнения обладает многими необычными для классической математической физики свойствами.

Во-первых, во многих случаях решения этого уравнения существуют конечное время – растут *в режиме с обострением*

$$\max_{\vec{r}} T(\vec{r}, t) \rightarrow \infty \quad \text{при} \quad t \rightarrow t_f.$$

Во-вторых, в широком классе начальных данных они стремятся при $t \rightarrow t_f$ и автомодельным (самоподобным) решениям вида

$$T(\vec{r}, t) \rightarrow g(t)f(\vec{r}/\varphi(t)),$$

где $g(t) = (t_f - t)^{-1/(\beta-1)}$ определяет закон роста амплитуды, $\varphi(t)$ – полуширины, а функция $f(\vec{\xi})$ задает форму профиля температуры.

В-третьих, при $\beta > \sigma + 1$ эти решения оказываются пространственно локализованы. Их можно рассматривать как структуры, возникающие в нелинейной горячей среде. Поскольку диссипативные процессы (которые описывает член $\operatorname{div}(T^\sigma \operatorname{grad} T)$) играют в их формировании принципиальную роль, Сергей Павлович назвал их *нестационарными диссипативными структурами*.

В-четвёртых, был обнаружен большой класс таких структур, представляющих собой сходящиеся к центру волны горения, в котором может быть множество максимумов, минимумов, слоёв. В достаточно простом уравнении открылся целый мир.

В-пятых, в простейшем «линеаризованном» случае уравнение для функции f совпало с уравнением Шредингера для атома водорода (точнее, для его «пространственной части»). Естественно возник вопрос, нельзя ли интерпретировать атом как структуру горячей среды.

В одном нелинейном уравнении открылось огромное пространство возможностей. О замечательных математических методах и результатах, полученных при его исследовании, тоже можно рассказывать подробно и интересно.

В Институте любили Сергея Павловича за его энергию, оптимизм, доброжелательность, умение организовать коллектив единомышленников, за справедливость и принципиальность. В течение многих лет он был секретарем парткома Института, а затем был избран его директором. Нашим первым директором был М.В. Келдыш, вторым – А.Н. Тихонов, третьим – Сергей Павлович.

Вместе с тем, работу по глубокому исследованию модели тепловых структур и режимов с обострением в Институте не всегда ценили и поддерживали. Академик А.Н. Тихонов советовал Сергею Павловичу взяться за более сложные и реалистичные модели, академик А.А. Самарский настаивал на том, что следует заниматься вычислительной математикой. Выдающийся физик, один из создателей советского ядерного оружия, академик Я.Б. Зельдович говорил, что Природа любит гамильтоновы системы. Сергей Павлович, относящийся с глубоким уважением к этим людям, шёл своим путём. Иногда отвечал: «Сегодня мы подтаскиваем математический аппарат для будущих физических теорий. И скоро всё это понадобится».

Иногда говорят, что исследователи являются сотрудниками единого «незримого колледжа», и единомышленниками могут оказаться учёные, работающие на другом конце планеты. Для Сергея Павловича большой поддержкой оказались работы выдающегося бельгийского ученого, лауреата Нобелевской премии по химии (1977) Ильи Романовича Пригожина. Их объединяло не только исследование диссипативных структур, но и создание нового научного мировоззрения.

По сути, есть три картины физической реальности. В первой, восходящей к Ньютону, мир предстает огромным часовым механизмом, созданным и запущенным Богом. И цель учёных состоит в том, чтобы постичь замысел этого творения. Этой идее следовал Эйнштейн, превратив время просто в одну из координат в своём описании пространства – времени. Этот идеал, к которому стремится большинство современных физиков, известный специалист по космологии Стивен Хокинг выразил в следующих словах: «Если мы действительно откроем полную теорию, то со временем её основные принципы станут доступны

пониманию каждого, а не только нескольким специалистам. И тогда все мы, философы, учёные и просто обычные люди, сможем принять участие в дискуссии о том, почему так произошло, что существуем мы и существует Вселенная. И если будет найден ответ на такой вопрос, это будет триумфом человеческого разума, ибо тогда нам станет понятен замысел Бога».

Другая выдающаяся физическая теория – квантовая механика – имеет двойственную природу. На уровне описания объектов микромира мы вновь имеем дело с гамильтоновыми системами и эрмитовыми операторами. Но это описание определяет не само состояние квантового объекта, а вероятность найти его в том или ином положении в результате измерения. Необратимость создает процедура измерения, в результате которого из множества возможностей выбирается одна. Модель же «измерителя» и его свойства при этом обычно выносятся за скобки. Вместе с тем само поле возможностей чётко очерчено. Нового не возникает. Времени вновь нет.

И, конечно, эта ситуация, имеющая мало общего с тем, что мы видим в мире, вызывает неудовлетворенность. Выдающийся математик и физик-теоретик Роджер Пенроуз выразил её в таких словах: «Я убежден, что наше современное представление о физической реальности – особенно в том, что касается природы *времени* – нуждается в коренном пересмотре, пожалуй, даже в более радикальном, чем тот, который был вызван к жизни современной теорией относительности и квантовой механикой»[8].

Путь к новому пониманию времени сам Роджер Пенроуз связывал с пока не созданной квантовой теорией гравитации. Илья Пригожин, в конечном итоге, приходил к несамосопряжённым квантовомеханическим операторам, описывающим системы, в которых будущее отличается от прошлого.

Сергей Павлович полагал, что ответ даст теория самоорганизации и нелинейная динамика. В самом деле, развитие и в теории эволюции, и в биологии, и в истории всё чаще трактуется как прохождение последовательности бифуркаций. При этом выбор, зачастую случайный, сделанный на одном уровне организации материи, может определить законы, действующие на другом. Мир не является ньютоновским часовым механизмом, он – здание, которое недостроено, система в процессе своего творения, и мы иногда можем выступать не в качестве пассивных наблюдателей, а в роли его творцов. Акт творения возникает в результате разрешения тех или иных противоречий. И это очень близко к гераклитовскому мировидению.

Предчувствие будущей революции физики, как это обычно бывает, возникает и у писателей, поэтов, философов: «Отрицание временной

последовательности, отрицание себя, отрицание астрономической Вселенной – всё это акты отчаяния и тайного сожаления. Время – это река, уносящая меня, но я сам река; это тигр, пожирающий меня, но я сам тигр; это огонь, поглощающий меня, но я сам огонь». Эти строки выдающиеся писателя Хорхе Луиса Борхеса были очень близки Сергею Павловичу. Он сам зажигал огонь, освещающий путь в будущее.

Синергетика в гуманитарном измерении

Тот, кто не хочет прибегать к новым средствам, должен ожидать новых бед.

Ф. Бекон

В 1950-х годах английский писатель и физик Чарльз Сноу с тревогой писал о растущей пропасти между двумя культурами – естественнонаучной и гуманитарной. Первая опирается на эксперимент и формализованные теории. Она устремлена в будущее, отвечает на вопрос «Как?» и игнорирует авторитеты, стремясь к объективности. Вторая в большой степени обращена в прошлое, опирается на традицию, принимает во внимание мнение известных лиц. Она должна отвечать на вопросы о целях, стратегиях, должном, допустимом и желательном, на вопрос «Что?».

Очевидно, средства, созданные благодаря стремительно растущим возможностям естественных наук, употребляемые в неверных целях, могут представлять огромную опасность. С другой стороны, провал гуманитарных дисциплин, не умеющих или не желающих заглядывать в будущее, не менее фатален. Нельзя в сегодняшнем или, тем более, в завтрашнем дне исходить из картины мира, относящейся ко вчерашним реалиям. Мир меняется очень быстро и существенно.

Сергей Павлович считал, что именно синергетика и междисциплинарные подходы дадут тот общий язык, на котором естественники, гуманитарии, математики, эксперты, руководители смогут обсуждать свои проблемы, полученные результаты, ставить задачи и рассматривать наиболее вероятные последствия принимаемых решений. Он думал, что именно синергетика станет мостом, переброшенным над пропастью двух культур.

Немецкий физик-теоретик Герман Хакен, предложивший термин «синергетика» вкладывал в него тот же смысл.

С одной стороны, этот подход рассматривает появление новых свойств и качеств у сложных систем, части или элементы которых такими свойствами не обладают.

С другой стороны, это подход, развитие которого требует совместных творческих усилий и взаимодействия естественников, математиков, гуманитариев, инженеров, управленцев.

Почти полвека развития синергетики показали, что достигнутые успехи пока представляются достаточно скромными. Активность и желание взаимодействовать со стороны естественников и математиков многократно превышают готовность и желание гуманитариев сотрудничать.

В схожей ситуации развития совместной деятельности математиков и биологов, где так же не всё шло поначалу гладко, сотрудник ИПМ, выдающийся математик и основоположник математической медицины, академик И.М. Гельфанд говорил: «Главная проблема в том, что математики не знают математику, а биологи – биологию».

Возможно, сдвиги в сознании научного сообщества происходят достаточно медленно, и пока просто прошло слишком мало времени. Как говорил Сергей Павлович: «Будьте готовы к тому, что работу, которую вы написали сегодня, прочтут, поймут и оценят лет через десять, а то и позже».

Но, наверно, главная причина в том, что и гуманитарии, и математики, и естественники остро ощущают преимущество своего стиля мышления и восприятия мира и поэтому не готовы всерьёз учиться иному, вставать на другую точку зрения, вести на равных содержательный диалог. Это общее правило. Но Сергей Павлович относился к счастливым исключениям.

На первых курсах, во время учёбы на физическом факультете МГУ у него был план перейти на философский факультет университета, чтобы разобраться с самыми общими вопросами познания и бытия. Большой удачей стало то, что в деканате этого факультета ему попался мудрый человек. Он посоветовал сначала стать физиком, а потом браться за всё остальное. И если интерес к философии не пропадёт, то этими проблемами можно будет заниматься позже.

Интерес не пропал. Просматривая список научных трудов Сергея Павловича, в котором более 500 названий, видишь, что существенная часть работ в нем оказалась посвящена гуманитарной проблематике. Более 10 учеников Сергея Павловича стали докторами физико-математических наук, а Елена Князева – философских. Тиражи его книг, посвящённых философским проблемам, намного превышают тиражи его работ по прикладной математике.

С.П. Курдюмов считал, что в ходе работы на острие научных проблем XX века в Институте возникли новое знание, понимание и мировоззрение, значение которых далеко выходит за пределы уже решённых задач, и очень важно было бы сделать всё это достижением всего общества.

В философии он видел способ сделать понятное элементом культуры. «Надо вовлечь друзей, коллег, гуманитариев в тот замечательный театр

идей», – который мы увидели. И сам Сергей Павлович занимался этим с огромной энергией и энтузиазмом. Он читал лекции школьникам и академикам, профессорам и студентам. За последнее десятилетие своего творческого пути он прочёл более сотни лекций на конференциях, которые организовала ассоциация «Женщины в науке и образовании», возглавляемая Галиной Юрьевной Ризниченко. Он был очень увлекающимся лектором и готов был превысить временной лимит, отведенный ему на выступление, многократно – были бы слушатели.

Кроме преподавания на Физтехе он вел несколько курсов в Дубне, в университете «Природа, общество, человек», созданном Евгенией Наумовной Черемисиной – человеком огромной энергии, способностей и доброжелательности. Там его с восхищением слушали сотни человек. «Мне нравятся большие аудитории. Всегда думаешь, что из многих несколько человек воспримут наши идеи и либо воплотят в жизнь, либо понесут дальше, в будущее».

Он привлёк к преподаванию в Российскую академию государственной службы при Президенте РФ (РАГСс) многих своих учеников: «Если мы объясним будущему президенту России, каким будет мир завтрашнего дня, и каким образом в государственных делах следует опираться на науку, то этого будет более, чем достаточно», – с энтузиазмом говорил он коллегам. В РАГСс «мотором», стремившимся внести в преподавание высшим государственным чиновникам идеи синергетики и междисциплинарности, был Вячеслав Леонидович Романов – доктор и социологических, и медицинских наук. Жаль, что РАГСс поглотила Академия народного хозяйства и переориентировала его вместо второго высшего образования, направленного на подготовку государственных руководителей высокого ранга, на первое высшее, связанное с обучением мелких клерков.

На мой взгляд, Сергей Павлович объехал всю страну. Во многих городах появились друзья и единомышленники, увлеченные идеями синергетики. Многие слушали его всего несколько раз, но пошли по намеченному им пути. «Дальние дети – самые близкие», – порой говорил он. Десятые Курдюмовские чтения в Твери – яркое тому подтверждение.

Гуманитарная и просветительская часть деятельности Сергея Павловича часто вызывала и непонимание, и своеобразную ревность его «физико-математических учеников». Помню, как долго и горячо мы с ним обсуждали его книгу «Основания синергетики», в которой было дано философское обоснование этого междисциплинарного подхода. В математических книжках вводимые сущности требуют более жёстких и точных формулировок, а область применимости полученных результатов и их обобщений должна быть четко очерчена. Сейчас мне ясно, что нельзя

требовать от полотен импрессионистов той ясности и прорисовки деталей, к которым стремился классицизм. Но тогда споры были очень горячими.

Масштаб замыслов Сергея Павловича стал ясен, когда в 1990-х годах по инициативе ректора Российского открытого университета (РОУ) Б.М. Бим-Бада в нем был организован факультет прикладной математики, научным руководителем которого стал Сергей Павлович. Б.М. Бим-Бад видел в науке школу рационального мышления и считал, что рефлексия учёных над своим творчеством и яркая научная работа очень много могут дать студентам. Были начаты новые проекты, связанные с математической психологией, со стратегической стабильностью, синергетикой, исследованием и использованием динамического хаоса, с имитационным моделированием мировой динамики и нетрадиционными подходами к описанию экономических процессов. К этой работе были привлечены многие выдающиеся ученые. Если бы этот проект просуществовал хотя бы с десятков лет, то, вероятно, прикладная математика в современной России была бы совсем другой...

Сергей Павлович был желанным гостем в Институте философии РАН (ИФ РАН). Во многом это связано с духовной близостью и научным сотрудничеством с выдающимся специалистом по философии науки, тогда директором ИФ РАН Вячеславом Семеновичем Степиным, со взаимодействием с сотрудниками этого института В.И. Аршиновым, В.Г. Будановым, Е.Н. Князевой, Я.И. Свирским. Все они провели много часов дома у Сергея Павловича в беседах о главных проблемах синергетики и современной философии.

Сейчас, перечитывая «философские книги» Сергея Павловича, ловишь себя на мысли, что очень много важного и интересного, того, что рождалось в спорах, беседах, выступлениях, оказалось упущено.

Многие гуманитарные проблемы Сергей Павлович обсуждал со своими друзьями С.П. Капицей и ректором МФТИ – Николаем Васильевичем Карловым, оставившим блестящие воспоминания о Физтехе «Основные этапы сосания лапы», как он сам их назвал, и глубокие размышления о сущности образования.

Сергей Павлович не очень любил писать, предпочитал обсуждать, докладывать, делиться результатами с учениками и коллегами. Как я понимаю, именно этот «сократический стиль», превращающий коллег и знакомых в друзей и единомышленников, сыграл очень важную роль в становлении синергетики в нашем отечестве. Сергей Павлович часто повторял: «Наука – это диалог. Это то, что связывает, а не разделяет». Однако оставшиеся «гуманитарные книги», – скорее его монолог. Думается, что ему очень не хватало «гуманитарного собеседника» его масштаба, так же страстно увлеченного проблемами

междисциплинарности и строительством моста над пропастью двух культур.

Вместе с тем, многое из того, о чем он мечтал, воплотилось в реальность. Леонардо-да-Винчи называл оптику – «краем для математиков». С не меньшим основанием гуманитарные науки можно назвать «краем для синергетиков». Дело в том, что репертуар механизмов самоорганизации на разных уровнях и масштабах – психики, пространства знаний человека и общества, малых групп, государств, этносов, различных сообществ, компаний - здесь огромен. Он гораздо больше, чем, к примеру, в физике или химии.

Сергей Павлович в течение нескольких десятилетий занимался физикой плазмы и, в частности, проблемами управляемого термоядерного синтеза (УТС), который должен был бы дать океан дешевой, чистой энергии. Но плазма удивительно изобретательна. Как только учёные укрощали одну неустойчивость, мешающую удерживать плазму в реакторе, её сменяла следующая, не менее коварная. И это происходит уже почти полвека. При этом каждая неустойчивость – результат самоорганизации, которая здесь выступает в такой зловредной роли.

Однако нечто подобное происходит и с обществом, где нужны большие усилия для того, чтобы самоорганизация действовала не во зло, а во благо.

При поддержке Сергея Павловича была начата [6], а сейчас продолжена работа по моделированию российской системы образования. Показано, что управляющие воздействия в последние 20 лет привели сначала к его деградации, а потом к развалу, к превращению в «колониальное образование». Построены модели, проанализированы данные, работы получили высокую оценку научного сообщества. Но получилось всё именно так, как предсказывал М.В. Келдыш. Текст писан, но не читан, текст читан, но не понят, текст понят, но не так, а Васька слушает да ест.

В бытность Сергея Павловича была выдвинута исследовательская программа, связанная с построением *математической истории* [6]. В основе этого подхода лежит

- полномасштабное междисциплинарное моделирование исторических процессов с использованием результатов экономики, социологии, социальной психологии, истории техники и военного дела;
- анализ точек бифуркации на территориях исторического развития и открывавшихся альтернатив (при таком подходе у истории появляется *сослагательное наклонение*);

– решение задачи *исторического прогноза* и его использование в задачах стратегического прогноза (при этом у исторической науки появляется и *повелительное наклонение*).

Эта программа была подхвачена и в России, и в США. Её развитие позволило получить ряд важных и интересных результатов [9-12]. Но мало иметь науку в государстве. Ей надо ещё и пользоваться.

Сергей Павлович считал, что наука должна помогать обществу и государству, служить ему опорой. Синергетика может очень многое во многих областях. Но одно из наиболее важных её дел сегодня – это *проектирование будущего*. Это анализ тех небольших изменений в сегодняшнем дне, которые могут в 10-20 летней перспективе изменить будущее крупных компаний, регионов, стран, мира в целом. Составной частью этой работы является системный анализ, математическое моделирование, выработка стратегий и синтез управляющих воздействий, которые могли бы обеспечить достижения поставленных целей. И здесь также есть важные научные результаты и практические рекомендации [13-16]. Приятно иногда увидеть фрагменты этих работ или отдельные мысли в выступлениях первых лиц государства. Однако хотелось бы гораздо большего.

Одной из любимых мыслей Сергея Павловича была идея о нелинейной среде, свойства которой определяют поле возможностей – типы структур, которые на этой среде могут быть построены. Естественно, это относится к социальным средам. Чтобы в них появились эффективно работающие структуры, в том числе использующие науку или управляющие ей, надо менять свойства среды.

Например, Сергей Павлович, мечтал об «обучающей игровой программе», дающей представление о междисциплинарном мировидении и знакомящее с идеями теории самоорганизации.

Эти идеи, нашли воплощение в нескольких проектах. С 2002 года в издательстве URSS выпускается серия книг: «Синергетика от прошлого к будущему». Здесь и учебники, и популярные книги, и монографии, посвященные нелинейной науке. К настоящему времени в серии выпущено более 70 книг, некоторые из них переведены на испанский язык. Тиражи нескольких из них с учётом множества переизданий вышли на рекордные для России и этого сегмента книжного рынка показатели. Обзор первых шестидесяти представлен в книге «Пространство синергетики» [17].

С 2004 года в этом же издательстве выпускается серия «Будущая Россия». К настоящему времени в ней было издано около 30 книг. В некоторых из них предложены конструктивные способы решения российских проблем и прочерчены контуры будущего.

Междисциплинарность оказалась и здесь очень важна. В XXI веке одной организации недостаточно, придётся опираться на самоорганизацию и знание её законов.

Представление науки как диалога, как борьбы идей, подходов, проектов должна жить в массовом сознании. Даже в лучших научно-популярных российских передачах этого не было. В прекрасной передаче С.П. Капицы «Очевидное-невероятное» блестящий ведущий расспрашивал выдающегося учёного, который, как казалось, знает ответы на все вопросы в своей области. В передаче Гордона, которая шла после полуночи, учёные вели интересные диалоги, зачастую забывая о зрителе, который тоже хотел бы что-нибудь вынести из увиденного.

Однако четыре года назад мечта Сергея Павловича оказалась удивительным образом воплощена. На канале ТВЦ в ночь с понедельника на вторник каждую неделю шла программа Анны Урманцевой «Мозговой штурм» (mozgovoyshтурm.ru).

В этой программе ведущие ученые, как правило, имеющие противоположенные мнения, обсуждали важные для общества научные проблемы.

Поскольку «нет пророка в своём отечестве» во многих передачах в эфир выходил американский корреспондент, рассказывающий, как решаются подобные проблемы в США. И оказывается, что иногда обсуждение задачи у них решается лучше, а иногда и гораздо хуже, чем у нас. Кроме того, в коротких репортажах показывалось, как идет работа в этой области в различных российских лабораториях.

Вы заметили, что у нас перестали показывать лица крупным планом? Крупно показанное лицо молчащего человека говорит о нем почти всё. А если сказать нечего... то лучше и не показывать. На лица участников «Мозгового штурма» смотреть очень интересно.

На нашем телевидении кроме курсов доллара и евро и цены барреля нефти практически исчезли количественные показатели. Эмоциональное восприятие вытеснило рацию. В течение многих лет культивируется клиповое сознание.

«Мозговой штурм» решил обращаться со своими зрителями как со взрослыми людьми, представляя в каждой передаче результаты математического моделирования обсуждаемых процессов либо статистическую справку. И то, и другое позволяет зрителям самим составить мнение о вопросах, обсуждаемых учёными в эфире. Эти материалы готовились в научно-образовательном центре ИПМ. При этом в передаче фигурировала только вершина айсберга переработанной и проанализированной информации. По некоторым, наиболее интересным и важным, передачам была выпущена книга, в которой обсуждение было

представлено «без купюр» и подготовленная в ИПМе информация была дана в полном объёме [18]. Думаю, Сергею Павловичу такой подход к изменению информационного и социального пространства в нашем отечестве понравился бы.

Делай то, что должно, будь, что будет, а будущее покажет, достаточно ли было сделанного.

Самоорганизация. От знания к пониманию

Мы ничего не хотим знать, но всё
хотим понимать.

А. Эйнштейн

«Научный внук» Сергея Павловича – Андрей Подлазов, секретарь семинара «Будущее прикладной математики», который проводится в ИПМ уже не один десяток лет, любит при обсуждении докладов говорить: «Если понимание достигнуто, то его результаты можно изложить в любом заданном объёме – от абзаца до книжного шкафа».

Теория самоорганизации сегодня находится на том уровне, когда о ней можно рассказать кратко и содержательно.

Американский философ и историк науки Томас Кун в 1950-х годах ввёл очень яркий и удачный термин «парадигма». Этим словом он назвал выдающееся научное достижение, которое

- определяет уровень и задает стандарт научной работы в некоторой области исследований, подходе или науке;
- позволяет генерировать задачи разного масштаба и сложности, развивающие и обобщающие полученный результат.

Психологический возраст человека естественно измерить не календарными годами, а тем, что пережито, понято, сделано. Вероятно, точно так же «возраст» какой-либо науки или подхода можно оценить по числу парадигм, которые сменяли в них одна другую. Характерным признаком смены парадигмы является ситуация, в которой казавшееся сложным оказываться простым, и, напротив, в простом открывается глубина и не осознававшиеся ранее проблемы. В синергетике уже было три парадигмы и сейчас на наших глазах рождается четвертая. В чем же их суть?

Парадигма диссипативных структур во многом связана с объяснением того, почему в открытых, нелинейных, далёких от равновесия системах возникают различные типы упорядоченности. Например, сходящиеся к центру волны горения, которые описываются уравнением (7), или стационарные (не зависящие от времени) распределения концентраций в химической реакции [19], или спиральные волны в возбудимой среде, ответственные за возникновение сердечных аритмий. Впервые на важность, парадоксальность и саму возможность возникновения таких структур обратил внимание выдающийся

английский математик, криптограф, один из пророков компьютерной эры Алан Тьюринг.

Он предложил описывать сложнейший биологический процесс клеточной дифференцировки в растениях с помощью системы уравнений, учитывающей только процессы диффузии двух реагентов и химическую реакцию, протекающую между ними:

$$\begin{aligned} X_t &= D_1 X_{rr} + f(X, Y) \\ Y_t &= D_2 Y_{rr} + g(X, Y) \\ 0 \leq r \leq l, \quad X_r(0, t) = X_r(l, t) = Y_r(0, t) = Y_r(l, t) &= 0 \\ X(r, t) &= X_0(r), \quad Y(r, t) = Y_0(r) \end{aligned} \quad (8)$$

Описание процессов в нелинейной среде – сложнейшая задача. Она требует определения, по крайней мере, одного числа, характеризующего состояние среды, в каждый момент времени в каждой точке пространства. В результате самоорганизации возникает упорядоченность в обычном физическом пространстве. Ее описание требует всего лишь нескольких чисел (параметров порядка). За внешней сложностью скрывается внутренняя простота.

В научной школе С.П. Курдюмова это было показано для многих замечательных уравнений и задач, и, в частности, для обобщенного, зависящего от времени уравнения Гинзбурга–Ландау (или, как его часто называют в литературе уравнение Курамото–Цузуки)

$$W_t = W + (1 + ic_1)\Delta W - (1 + ic_2)|W|^2 W.$$

Здесь тоже удалось увидеть и новые виды упорядоченности, и выделить параметры порядка [20].

Сейчас в рамках этой парадигмы в центре внимания оказались процессы упорядочения, происходящие на наномасштабах. В частности, в качестве символа нанотехнологий часто используют удивительно красивую молекулу фуллерена C_{60} , имеющую форму футбольного мяча размером в 1 нанометр (нм), и необычные физические, химические и биологические свойства. Однако сама эта молекула не строится учёными атом за атомом, а возникает в результате самоорганизации при определённых условиях.

Другой пример. Из школьного курса химии мы узнаём, что благородный металл – золото – является химически инертным и не обладает каталитической активностью. Однако в конце 1980-х годов японский исследователь – Масатаке Харуто показал, что каталитическая активность золота при размере его наночастицы в 3 нм превосходит даже активность платины, однако при уменьшении размера до 2,5 нм падает в пять раз [21]. Можно сказать, что в таких системах каждый атом оказывается на счету.

Будущность нанотехнологий сейчас зависит от того, удастся ли выяснить законы самоорганизации на наноуровне, научиться для многих веществ проходить путь «снизу-вверх» – от наномасштабов до макрообъектов – и использовать полученное знание.

Парадигма динамического хаоса. Выдающийся учёный наполеоновской эпохи П.С. Лаплас считал, что ум, достаточно мощный для того, чтобы принять в расчет координаты и скорости всех частиц во Вселенной, может заглянуть как угодно далеко в прошлое и как угодно далеко в будущее. Или, говоря современным языком, при наличии достаточных вычислительных мощностей может быть сделан глобальный прогноз. Такого мнения учёных придерживались до 1963 года.

В 1963 году американский метеоролог Эдвард Лоренц исследовал простейшую математическую модель формирования погоды, состоящую из трех обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{f}(\vec{x}), \quad 0 \leq t \leq \infty, \quad \vec{x}(0) = \vec{x}_0, \quad \vec{x} = (x_1, \dots, x_p) \quad (9)$$

Компьютерный расчет показал, что исследованные уравнения порождают непериодические траектории, хаотические колебания [22]. Более того, само состояние этой системы мы можем предсказать только до определенного времени, называемого *горизонтом прогноза*, а дальше приходится опираться на вероятность и статистику [27].

Открытие этого явления, называемого *динамическим хаосом*, показало, что в очень простых системах вида (9) (даже, когда $p=3$) может иметь место очень сложное и интересное поведение!

Это открытие самым существенным образом повлияло на мировоззрение. Одной из основных задач науки является прогноз. И когда в этой области устанавливаются фундаментальные ограничения, то мир начинает восприниматься по-другому.

Для систем с динамическим хаосом имеет место *эффект бабочки* – взмах её крыльев в правильном месте в правильное время может вызвать через 2-3 недели разрушительный ураган за 1000 километров от того цветка, на котором сидела бабочка. Малые причины в таких системах могут иметь большие следствия. И такие системы являются правилом, а не исключением для нашего мира.

И здесь также принципиальную роль играет самоорганизация и диссипативные процессы. Со времени Ньютона числа x_1, \dots, x_p в уравнении (9) рассматривают как координаты точки в *фазовом пространстве* исследуемой системы. Каждая точка в этом пространстве соответствует одному из возможных состояний изучаемого объекта. Если в системе (9) есть члены, описывающие диссипативные процессы (например, теплопроводность или вязкость, как в системе Лоренца), то с течением

времени траектория $\bar{x}(t)$ стремится к притягивающему множеству в фазовом пространстве, называемому аттрактором (от английского to attract – притягивать). Это также самоорганизация – из огромного пространства возможностей системы (9) «выбирают» лишь небольшую их часть.

Применение динамического хаоса обширно и разнообразно – медицинская диагностика, защита информации, новые типы радиосвязи, а также многое-многое другое.

Парадигма сложности. Первые две парадигмы имели дело с отдельными объектами, третья – с системами. От мудрецов Античности до нас дошёл классический парадокс. Миллион песчинок – куча. Будем постепенно забирать по песчинке из неё. В конце концов остаётся одна песчинка, которая, точно – не куча. Где же та грань, на которой множество песчинок становится кучей?

В рамках парадигмы сложности и, в частности, в теории самоорганизованной критичности учёные научились отвечать на подобные вопросы [23,24]. Системные свойства множества населённых пунктов в географии были открыты ещё в начале XX века Дж. Ципфом. Оказалось, что, если упорядочить города в порядке убывания числа жителей N_r , $r=1,2,\dots$ (N_1 – население самого большого города, N_2 – второго по величине и т.д.), то для больших стран мира в целом и других целостных систем

$$N_r \approx r^{-1}. \quad (10)$$

Подобный закон оказался характерен и для множества других систем (см. рис. 2). Законы вида (10) иногда называют зависимостями ранг–размер. Их удобнее представить в логарифмических координатах, откладывая по осям не сами величины, а их логарифмы.

Оказывается, что зависимости, подобные (1), с показателями, близкими к 1, характерны и для статистики стихийных бедствий, и техногенных катастроф (см. рис.2). И это тоже существенно меняет мировоззрение.

В самом деле, наша интуиция настроена на «гауссовы» законы, в соответствии с которыми большие отклонения от средних значений почти невероятны. Характеристики людей распределены по такому же закону, и мы с лёгкостью можем пренебречь вероятностью встречи с 2,5-метровым гигантом и 30-сантиметровым карликом. На «гуманитарном языке» этот факт выражает расхожая мудрость: «Чудес не бывает».

Но выражение (10) выражает прямо противоположное. Гигантские отклонения возможны и мы с ними иногда сталкиваемся. Например, ущерб и затраты на ликвидацию последствий Чернобыльской аварии пока

превышают *общие* расходы такого типа для всех аварий в мировой атомной энергетике [25].

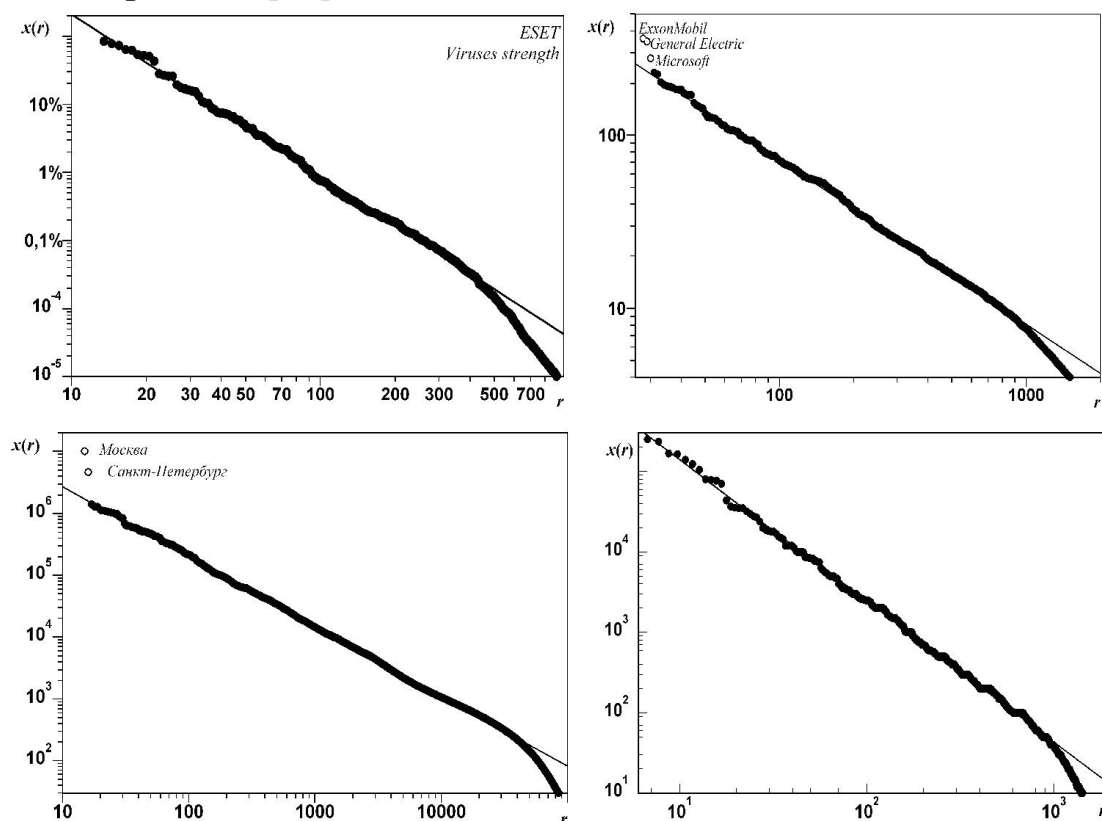


Рис. 2. Зависимость ранг–размер для:
 а) максимальной распространённости компьютерных вирусов;
 б) капитализации крупнейших компаний (\$ млрд);
 в) числа жителей населенных пунктов России;
 г) числа раненых в ходе стихийных бедствий.

Позитивный пример. Гонорары авторов как художественных, так и научных книг оказываются на удивление невелики. Вместе с тем доход создательницы «Гарри Поттера» Джоан Роулингс превысил \$1 млрд. Берясь за перо, автор оказывается в пространстве, где возможны события гигантского масштаба. «Эти сегодня стихи и оды, в аплодисментах ревомые ревя, войдут в историю как накладные расходы на сделанное нами – двумя или тремя», как писал поэт.

Это гораздо ближе к восточным сказкам «1001-й ночи», в которых джинны, дэвы, ифриты высотой в десятки или сотни метров встречаются нечасто, но уже, если они попались на пути, то последствия этого оказываются огромны.

Замечательно, что одной из главных моделей теории самоорганизованной критичности является куча песка, и что в этом случае самоорганизация также играет ключевую роль [23,24].

В самом деле, представим себе чашку весов, на которую случайным образом падают песчинки. Когда возникла горка песка, падающая песчинка может остаться в ней, привести к падению с чашки другой песчинки или сходу целой лавины.

Если горка достаточно крутая, то больших лавин будет сходить много и крутизна кучи будет уменьшаться. Если, напротив, куча пологая, то крутизна её будет расти. И эта своеобразная самоорганизация будет вести систему в неустойчивое положение равновесия, в котором возможны лавины любого масштаба.

Этот механизм является очень общим и типичным. Детали моделей здесь, как правило, несущественны.

Сейчас модели, создаваемые в рамках парадигмы сложности успешно применяются для описания землетрясений и биржевых крахов, техногенных катастроф и работы сознания, биологической эволюции и солнечных вспышек. Горизонты теории самоорганизации стремительно расширяются.

В нашем институте работало много выдающихся ученых. И иногда в связи с различными юбилеями открывают посвященные им мемориальные доски.

— А Сергею Павловичу Курдюмову тоже со временем на здании Института установят доску? — спросил меня как-то дипломник.

— Это зависит от нас с вами, от того, насколько успешно мы будем развивать его подходы и теорию самоорганизации. Будущее часто даёт оценку прошлого.

Пока все идёт неплохо. И это прекрасно!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мне нужно быть: Памяти Сергея Павловича Курдюмова / Ред. – сост. З.Е. Журавлева. – М.: КРАСАНД, 2010 – 480с.
2. Режимы с обострением. Эволюция идеи. Законы коэволюции сложных структур. – М.: Наука, 1998. – 255с.
3. Успенский В.А. Математическое и гуманитарное: преодоление барьера – 3-е изд. – М.:МЦНМО, 2014. – 48с.
4. Всемирная философия/ ред. А.Р. Грицанов. – М.: АСТ, Мн: Харвест, Современный литератор, 2001 – 1312с.
5. Математика: границы и перспективы – М.,: ФАЗИС, 2005. – 624с.
6. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. Изд. 3-е. – М.: Едиториал УРССС, 2003. – 288с. – (Синергетика: от прошлого к будущему)
7. Пригожин И., Стенгерс И. Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени. Изд. 6-е. – М.: КомКнига, 2005. – 232с. – (Синергетика: от прошлого к будущему).

8. Пенроуз Р. Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики. Изд. 4-е. – М.: УРСС; Издательство ЛКИ, 2011 – 400с. – (Синергетика: от прошлого к будущему).
9. Проблемы математической истории: Основания, информационные ресурсы, анализ данных. Отв. Ред. Г.Г. Малинецкий, А.В. Коротаев. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 256с.
10. Проблемы математической истории: Математическое моделирование исторических процессов. отв. Ред. Г.Г. Малинецкий, А.В. Коротаев. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – 208с.
11. Турчин П.В. Историческая динамика: по пути к теоретической истории. Изд. 2-е. – М.: Издательство ЛКИ, 2010. – 368с. – (Синергетика: от прошлого к будущему).
12. Бадалян Л.Г., Криворотов В.Ф. История. Кризисы. Перспективы: Новый взгляд на прошлое и будущее. Изд. 2-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012, – 288с. – (Синергетика: от прошлого к будущему, №50, Будущая Россия).
13. Будущее России в зеркале синергетики /Под ред. Г.Г. Малинецкого. – М.: КомКнига, 2006. – 272с. – (Синергетика: от прошлого к будущему).
14. Синергетика. Будущее мира и России / Под ред. Г.Г. Малинецкого – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 384с. – (Синергетика: от прошлого к будущему. Будущая Россия).
15. Будущее России. Вызовы и проекты: Экономика. Техника. Инновации. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 344с. – (Будущая Россия)
16. Малинецкий Г.Г. Чтоб сказку сделать былью... Высокие технологии – путь России в будущее. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 224с. – (Синергетика: от прошлого к будущему №58. Будущая Россия №17).
17. Малинецкий Г.Г. Пространство синергетики. Взгляд с высоты. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 248с. – (Синергетика: от прошлого к будущему №60).
18. Урманцева А. Мозговой штурм. Избранные дискуссии. – М.: ЗАО «СВР- Медиапроекты», 2013. – 336с.
19. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравных системах. От диссипативных структур к упорядоченности чере флуктуации. – М.: Мир, 1979. – 512с.
20. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Структуры и хаос в нелинейных средах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 483с.
21. Эрлих Г. Золото, пуля, спасительный яд. 250 лет нанотехнологий. – М.: КоЛибри. Азбука-Аттикус, 2012. – 400с. – (Galileo)

22. странные аттракторы. / Под. ред. Я.Г. Синая, Л.П. Шильникова – М.: Мир, 1981. – 256с.
23. Бак П. Как работает природа Теория самоорганизованной критичности. – М.6 УРСС. Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 276с.
24. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Подлазов А.В. Нелинейная динамика: Подходы. Результаты. Надежды. – М.: КомКнига, 2006. – 280с. – (Синергетика: от прошлого к будущему).
25. Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г. и др. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. – М.: Наука, 2000. – 431с. – (Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения).
26. Талеб Н.Н. Чёрный лебедь. Под знаком непредсказуемости. –М.: Издательство Колибри, 2010. – 528с.

СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ КУРДИУМОВ

Г.Ю. Ризниченко

д.физ.-мат.наук, проф., МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва

СИНЕРГЕТИКА

В БАЗОВЫХ МОДЕЛЯХ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

В.Е. Лепский

Институт философии РАН, Москва, Россия

E-mail: Lepsky@tm-net.ru

С начала XXI века руководство страны упорно призывает представителей государства, бизнеса и общества перевести страну на инновационный курс развития. Перепробовали все западные наработки: технопарки, кластеры, технологические платформы, институты развития, национальную инновационную систему и др. Результаты, к сожалению, не совпадают с ожидаемыми успехами, а достижения существуют только на бумаге. Главная причина неудач в отсутствии целостности в подходах к решению данной проблемы. Стимулирование и поддержка инноваций организуется в контексте рыночной экономики, в коммерческих целях, а не в интересах сохранения суверенитета страны, развития ее экономики и повышения благосостояния народа. Одним из важнейших подходов к созданию механизмов обеспечивающих целостность развития является синергетика, достижения которой игнорируются разработчиками стратегических документов и проектов инновационного развития России.

В статье представлен философско-методологический анализ базовых моделей инновационного развития, с учетом специфики этих моделей проведена оценка отдельных стратегических документов и проектов,

определяющих современное состояние инновационного развития России, рассмотрены место и роль синергетики в совершенствовании механизмов инновационного развития.

Научная рациональность и модели инновационного развития. В последние десятилетия в науке происходят принципиальные изменения, связанные, согласно В.С.Степину, со становлением постнеклассического этапа ее развития. Не принимая во внимание этих изменений, мы рискуем упустить из виду принципиальные изменения в моделях инновационного развития. Смена общенаучных картин мира сопровождалась коренным изменением нормативных структур исследования, а также философских оснований науки. Эти периоды правомерно рассматривать как революции, которые могут приводить к изменению типа научной рациональности. Три этапа развития науки можно охарактеризовать как связанные с доминантой одного из трех типов научной рациональности, сменявших друг друга в истории техногенной цивилизации. Это – *классическая, неклассическая и постнеклассическая рациональности*.

Каждый новый тип научной рациональности характеризуется особыми, свойственными лишь ему основаниями науки, которые позволяют выделить и исследовать соответствующие типы системных объектов. При этом возникновение нового типа рациональности и образа науки не следует понимать упрощенно в том смысле, что каждый этап приводит к полному исчезновению представлений и методологических установок предшествующего периода. Напротив, между ними существует преемственность и конвергенция. Каждый этап характеризуется особым состоянием научной деятельности. Если схематично представить эту деятельность как отношения «субъект-средства-объект», то описанные этапы эволюции науки, выступающие в качестве разных типов научной рациональности, характеризуются различной глубиной рефлексии по отношению к самой научной деятельности. Важно отметить, что постнеклассическая научная рациональность являясь «рамочной» для всех видов научной рациональности ориентирована на органичную связь науки с культурой и этикой.

В Таблице 1 с позиций трех типов научной рациональности выделены основные модели инновационного развития и характерные для них парадигмы, научные подходы и механизмы [1].

Таблица 1.

Базовые аспекты философско-методологического анализа моделей инновационного развития

Тип научной рациональности и	Базовая парадигма управления инновацион	Базовые объекты управления и виды	Базовые научные подходы	Доминирующая этика сборки субъектов	Модели инновационного развития
------------------------------	---	-----------------------------------	-------------------------	-------------------------------------	--------------------------------

	ным развитием	активности субъектов		инновационного развития	
Классическая	«Субъект – Объект»	Сложные системы Деятельностная активность	Деятельностный Монодисциплинарный	Этики целей	Функциональные Линейные
Неклассическая	«Субъект – Субъект»	Активные системы Коммуникативная активность	Субъектно-деятельностный Междисциплинарный	Коммуникативные этики	Нелинейные
Постнеклассическая	«Субъект – Метасубъект» «Саморазвивающиеся рефлексивно-активные среды»	Саморазвивающиеся среды Рефлексивная активность	Субъектно-ориентированный Трансдисциплинарный	Этики стратегических субъектов	Саморазвивающиеся инновационные среды

Заданные базовые аспекты рассмотрения, на наш взгляд, позволяют отразить наиболее существенные особенности моделей инновационного развития. Отметим, что роль синергетики наиболее важна в нелинейных моделях и саморазвивающихся инновационных средах. Эти модели описаны в работах [2, 3].

Интернальные и экстернальные модели инновационного развития. В философии науки выделяется два направления ее развития: интернальное и экстернальное. Которые соответствуют различным источникам инициации развития (внутринаучным и внешним). Аналогичный подход может быть применен и к анализу инновационного развития.

Экстернализм – направление в историографии и теории развития науки, по которому наука как система знаний и социальный институт является частью социальной среды, и, следовательно, испытывает с ее стороны существенное влияние как целое и как совокупность подсистем. Направления и темпы научного развития оказываются зависимыми от практических потребностей, возникающих в различных сферах общественной жизни: экономика, обороноспособность, социальная организация, культура и др.

Интернализм признает движущей силой развития науки факторы, связанные с внутренней природой научного знания: логика решения его проблем, соотношение традиций и новаций. Развитие науки можно рассматривать как самоорганизующийся процесс взаимодействия

различных форм и элементов научного знания, который не зависит от каких-либо внешних факторов.

Описанию специфики этих направлений развития науки посвящены многочисленные труды известных философов науки, для нас важно отметить, что эти наработки применимы и к анализу инновационного развития, в основе которого лежит также как и в науке творчество. Таким образом мы предлагаем выделять интернальные и экстернальные модели инновационного развития.

Для интернальных моделей инновационного развития инициатором и творцом новаций и их воплощения в практику выступает единый субъект (инноватор).

Можно выделить два вида экстернальных моделей инновационного развития:

- *заказные*, в которых Заказчик в своих интересах формулирует заказ на новацию или инновацию, а создатель (новатор или инноватор) принимает на себя обязательства и выполняет заказ, в случае заказа на новацию Заказчик сам доводит ее до инновации;

- *рыночные (бизнес-проекты)*, в которых творец новаций создает идеи или лабораторные образцы, а некто посредник предлагает услуги по доведению новации до конкурентоспособной рыночной продукции.

Следует отметить, что заказные модели могут быть и рыночными (например, технологии двойного назначения). Следует отметить высокую актуальность синергетического подхода и в интернальных, и в экстернальных моделях.

Анализ отдельных стратегий и проектов инновационного развития в России. На основе выделенных типов моделей инновационного развития проведем анализ отдельных проектов и стратегий инновационного развития в России:

- Стратегия инновационного развития 2020 [4];
- грантовая поддержка научных исследований;
- проект «Сколково»;
- Институт Генеральных конструкторов ВПК СССР.

Обобщенные данные приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Обобщенные данные анализ отдельных стратегий и проектов инновационного развития в России

Стратегии и проекты инновационного развития	Классическая научная рациональность		Неклассическая научная рациональность	Постнеклассическая научная рациональность	Инициаторы развития		
	Функциональная модель	Линейная модель	Нелинейная модель	Модель саморазвивающихся сред	Интернальные модели	Экстернальные модели	
						Заказные	Рыночные
Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года	+		++		+		+
Проект «Сколково»	+		++		+		+
Грантовая поддержка научных исследований			+		+		
Институт Генеральных конструкторов ВПК СССР	++	+	++	+	+	++	+

Заключение. Выделенные на основе философско-методологического анализа базовые модели инновационного развития позволили сформировать проекции для оценки отдельных стратегических документов и проектов, определяющих современное состояние инновационного развития России. Что позволило также выделить наиболее актуальные сферы применения синергетики.

Обобщенная оценка рассмотренных документов и проектов может быть сформулирована как доминирующая ориентация на «рыночное инновационное развитие», на коммерциализацию инноваций, с широким участием международных компаний, в конечные продукты которых в основном и пойдут инновации. А деградирующая российская экономика оказывается не готовой к их освоению. О чем свидетельствует развал авиастроения, автомобилестроения и многих других отраслей народного хозяйства [5]. Фактически Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года это укрупненный до масштабов страны вариант стратегии фонда «Сколково» [6]. Основная причина, на наш взгляд, связана с сильным влиянием неолиберальной

идеологии на формирование стратегий инновационного развития, несмотря на отсутствие поддержки этой идеологии большей частью российского общества.

Перспективными механизмами инновационного подъема страны могли бы стать модернизированные с учетом современных научных разработок и российских реалий Институты Генеральных конструкторов, обеспечившие в свое время лидерские мировые позиции страны в ряде направлений разработки высокотехнологичной продукции. При этом практически во всех моделях инновационного развития актуально широкое использование синергетического подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лепский В.Е. Становление субъектно-ориентированного подхода в контексте развития представлений о научной рациональности / Наука и социальная картина мира. К 80-летию академика В.С.Степина; под ред. В.И.Аршинова, И.Т.Касавина.- М.: Альфа-М, 2014. С.392-420.
2. Лепский В.Е. Субъектно-ориентированный подход к инновационному развитию –М.: Когито-Центр 2009. – 208с. <http://www.reflexion.ru/Library/Lepsky2009s.pdf>
3. Лепский В.Е. Рефлексивно-активные среды инновационного развития. – М.: «Когито-Центр», 2010. – 280 с. http://www.reflexion.ru/Library/Lepsky_2010a.pdf
4. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2011 г., NQ 2227-р, Москва.
5. Лепский и др. Методологические аспекты инновационного развития России // Экономические стратегии. 2010, N 7-8. С.46-59.
6. Лепский В.Е., Наумов С.А. Проект «Сколково»: социогуманитарные аспекты развития // Рефлексивные процессы и управление. Сборник материалов VIII Международного симпозиума 18-19 октября 2011 г., Москва / Под ред. В.Е.Лепского – М.: «Когито-Центр», 2011. С. 157-160.

ЭКОНОМИКА: ПРОСТОТА СЛОЖНОСТИ

И.Г. Пospelов

Член-корр РАН, зав. отделом математического моделирования экономических систем Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН.

Экономическая система настолько сложна, что становится непонятно, как люди могут в ней жить. Современные модели экономики могут дать на это неожиданный ответ, опираясь на магистральное свойство характерных для экономики задач оптимального управления. В докладе на

простом примере будет показано, как можно объяснить таким способом наблюдаемую систему экономических агентов, институтов и инструментов.

КАК ЗАПУСТИТЬ ИННОВАЦИОННЫЙ ЦИКЛ

В.Б. Кешелава

кандидат биологических наук, советник по коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности АО «ВНИИХТ», г. Москва

СИНЕРГЕТИКА: НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ

М.М. Шварцман

*Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: black_drive@smtp.ru*

Новизна концепции. Описан новый класс аттракторов (АТ): аттракторы-прообразы (АТ-прообраз). Этот класс АТ определяет потенциально возможные состояния системы. В то время как, известный класс АТ, будем его именовать АТ-образы, соответствует реализованным состояниям системы. Среди АТ выделен специфический класс, который промаркируем как ‘особый АТ’. Постулирован Принцип **НЕЗАВИСИМОСТИ** алгоритма формирования АТ-прообразов от вида системы, которую они представляют. Этот Принцип объясняет:

- общность законов, по которым развиваются системы разного вида;
- ограничения, накладываемые на спектр образующихся структур.

Описаны новые типы режимов: расщепления и асимметризации. Вместе с известными режимами S, HS, LS [1] они образуют полный набор. Полный набор режимов проявляется в жизненном цикле системы (ЖЦС).

Сформулированы принципы синергетики. Синтаксис принципов представлен в виде взаимодействия Тезы и Антитезы. Показан взаимопереход Тезы↔Антитезы. Описываются следующие принципы:

- симметричного – асимметричного развития структуры;
- одновариантного – многовариантного путей эволюции;
- стохастической – детерминированной обусловленности эволюции;
- положительной – отрицательной обратной связи;
- непрерывно – дискретного изменения состояния системы.

Из сформулированных принципов, как следствие, определены подпринципы: ‘гистерезиса’ и ‘анизотропной реакции системы’. Понятие ‘мутация’, используемое в биологических системах, обобщается на системы любого вида.

Введя класс АТ-прообразов, мы автоматически приходим к пониманию, существования эффекта воздействия предстоящего состояния системы на характер процессов в ней. Современный математический аппарат не способен учитывать этот эффект. Поэтому на его основе невозможно создать адекватную модель эволюции. Сформулированы условия, которым должна удовлетворять математическая и/или на другом языке описаний эволюционная модель.

Представленный понятийный аппарат используется для интерпретации механизма 'Интуиции' и трактовки категории 'Время'.

'Интуиция' интерпретируется как результат взаимодействия мыслительного аппарата человека с формирующимся особым АТ-прообразом.

Категория 'Время' трактуется как алгоритм ЖЦС. Поэтому по своей сути Время – нелинейно. В ЖЦС анализируются два вида нелинейности Времени, условно обозначенные: непрерывная и дискретная. На примере жизненного цикла человека проанализирована квадратичная модель непрерывной нелинейности.

В статье обобщаются и развиваются результаты, изложенные в [2 – 8].

Введение. Мы с восхищением смотрим на разнообразие форм существования окружающего мира. Но в разнообразии форм пылкий ум homo sapiens чувствует действие жёсткого фильтра, определяющего спектр допустимых структур. Да и сам разум homo является одной из допустимых форм существования в эволюционном процессе

Так в завораживающей картинке Мандельброта в разнообразии форм, допустимы только фрактальные структуры, порождаемые алгоритмом в виде простого рекуррентного соотношения:

$$Z_{n+1} = Z_n^2 + Const$$

Подобный алгоритм, определяющий допустимое многообразие форм, существует в эволюционном процессе ПРИРОДЫ. Существование такого алгоритма проявляется в наблюдаемом спектре структур и в существовании общих закономерностей в структурах разного вида.

Вполне естественно, что в XX веке оформились два естественнонаучных направления Системный анализ и Кибернетика. В Системном анализе был обобщён опыт исследований в разнообразных областях человеческой деятельности: научной, технической, социально-экономической и т.д. Главным явилось понимание общности принципов анализа к системам разных предметных областей.

Система – это конечная совокупность элементов (подсистем) находящихся в отношениях и связях между собой, обладающей целостностью и новым качеством /эмерджентностью/ по отношению к сумме свойств элементов (подсистем).

В 'Кибернетике' главным было понимание общности информационных процессов в живой и неживой природе. В Системном анализе и Кибернетике общность процессов в различных системах воспринимался как факт, подтвержденный многолетними наблюдениями. Со временем встал вопрос: «Чем обусловлена общность процессов в системах разного вида?». Инициировалось появление естественнонаучного направления 'Синергетика'. *Синергетика – это междисциплинарное научное направление, в рамках которого изучаются процессы самоорганизации и самодезорганизации в открытых нелинейных средах самой различной ПРИРОДЫ [1].*

ПРИРОДА- это весь мир, включая человека с его мыслительной деятельностью и человечество с его разнообразными (экономическими, социальными...) формами отношений.

Структура – совокупность элементов Системы с указанием связей между ними. Примечание: если элементами Системы являются аттракторы, то термины 'система' и 'структура' будут синонимами.

Эволюция – смена одних квазиустойчивых состояний системы другими. Основным вектором эволюции ПРИРОДЫ является усложнение структур: неживая природа → живая природа → homo sapiens – по неизвестному нам пока (?) глобальному закону развития.

Жизненный цикл системы (ЖЦС) – временной процесс, включающий в себя зарождение (самоорганизацию), самостабилизацию оптимального состояния, гибель (самодезорганизацию) системы (рис.1).

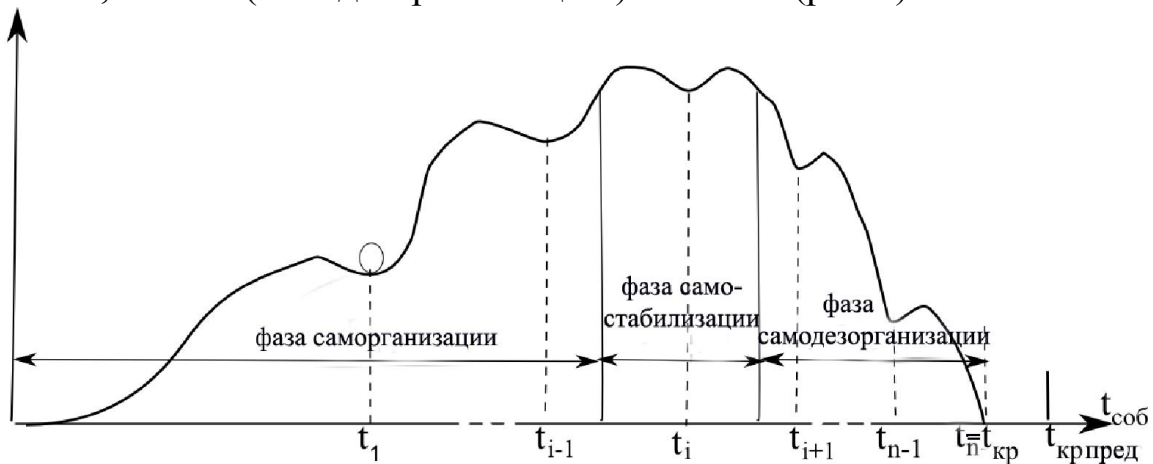
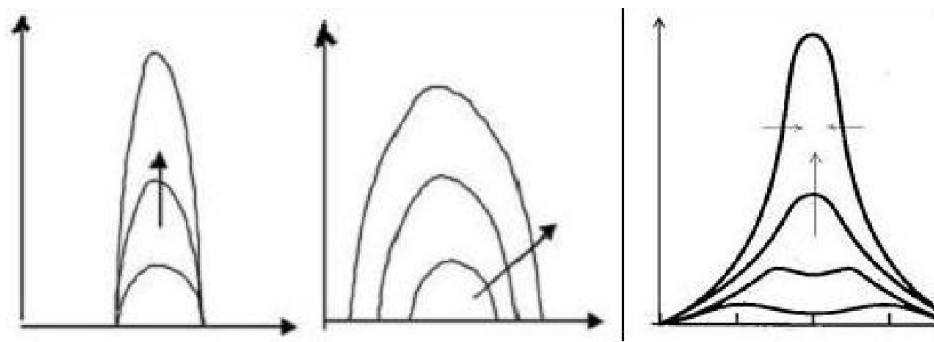


Рис. 1. Жизненный цикл системы – зависимость состояния системы от времени t .

$t_{кр\ пред}$ – предельное время жизнестойкости системы;

$t_{кр}$ – реальное время жизнестойкости системы, $t_{кр} \leq t_{кр\ пред}$

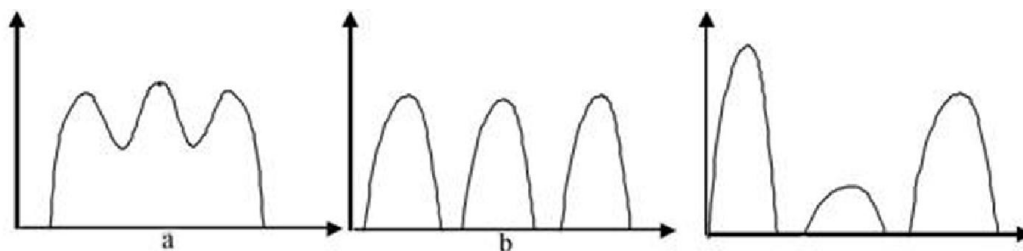
Следствием самоподобия (смысловой, семантической фрактальности) эволюционного процесса является существование единого базового набора режимов, проявляющихся в ЖЦС любого вида.



а) S (зарождения) - временной
 б) HS (расширения) - пространственный
 в) LS (обострения) - пространственно-временной

Рис.2 Режимы ЖЦС, описанные в [1]

Режимы. *Режим* – процесс в ЖЦС, с присущими ему специфическими признаками. В работе [1] описываются режимы: S, HS, LS (рис.2). Отражая специфику режимов, конкретизируем их название: S – зарождения, HS – расширения, LS – обострения или когерентности П-рода. Добавим два новых режима [8]: расщепления и асимметризации (рис.3). Известные (рис.2) и предложенные (рис.3) режимы образуют полный, базовый набор режимов, проявляющихся в разных комбинациях в ЖЦС.



а) Расщепления; временной
 б) Асимметризации; пространственно-временной

Рис.3 Режимы ЖЦС, описанные в [8]

Например, в результате действия режима с обострением (рис. 2в), появилась новая система (биологическая, социальная, экономическая). Сначала реализуется режим Зарождения (рис.2а). Процесс локализован в пространстве; происходят количественные накопления в системе; система «взрослеет». Запускается процесс Расширения (рис.2б). Процесс делокализуется; это пространственный процесс. Следующим этапом начинается процесс Расщепления (рис.3а), это сначала временной (рис.3аа), а затем пространственный процесс (рис.3аб). Подсистемы начинают существовать в несмежных пространствах. /Здесь и далее речь идёт о реальном или о фазовом пространстве./ В несмежных подсистемах начинают накапливаться присущие только ей качественные изменения (мутации). Начинает проявляться и усиливаться со временем асимметрия

подсистем (рис.3б); это временной процесс. При переходе значения асимметрии через критическое значение, в системе начинается локализующийся, нарастающий во времени режим с обострением, он же режим LS (рис.2в); это пространственно-временной процесс.

Рассмотрим подробнее режим с обострением. Он обусловлен когерентным взаимодействием объектов системы.

Когерентность – согласованное во времени и пространстве поведение элементов (подсистем) внутри системы [1].

Используя понятийный аппарат аттракторов, который будет описан ниже, предложим следующее определение когерентного взаимодействия:

Когерентность – одновременный переход фрактальных подструктур в состояния, соответствующие особым АТ-прообразам.

В [1] рассматривается процесс когерентности в режиме с Обострением (рис.2в), меняющий сущность системы. Определим это, как когерентность II-рода. В ЖЦС (рис.1) когерентности II-рода соответствует гибель системы, которая наступает при $t = t_{кр}$. В данной работе отмечается, что в системе могут происходить когерентные процессы с сохранением её сущности. Определим это, как когерентность I-рода. В ЖЦС (рис.1) это соответствует дискретным переходам системы из одного состояния в другое в моменты времени: $t_1, ..t_{i-1}, t_i, t_{i+1}, ...t_{n-1}$.

Когерентные процессы I-рода наблюдаются во всех подсистемах ПРИРОДЫ. В этот миг – по сравнению со временем $t_{кр}$ жизни системы - наблюдается изменение интенсивности процессов на несколько порядков. Например: сверхмощные магнитные бури на Солнце; вспышки пандемии; одномоментное увеличение численности популяции; усиление отдельных этносов; экономический бум; insight (озарение, интуиция) творческих личностей. Когерентные процессы I-рода – это имманентное (внутреннее) свойство любой системы. И для их объяснения нет необходимости привлекать внешнее воздействие, как это делает Л. Гумилёвым [9] в своей ‘пассионарной теории’.

Моменты когерентности, при которых система дискретно переходит с одного состояние в другое /когерентность I-рода/ или вообще меняет свою сущность /когерентность II-рода/ – это особые мгновения состояния системы. Они обусловлены возрастающей нелинейностью в системе и в свою очередь порождают нелинейные эффекты: нелинейность времени; резкое увеличения числа мутаций; зарождение новой структуры.

Когерентные процессы I-рода и II-рода влияют друг на друга. В моменты t_i [$0 < t_i < t_{кр}$; $i=1..(n-1)$] /когерентности I-рода/ может меняться, варьироваться значение $t_{кр}$, т.е. времени, при котором наступает когерентный процесс II-рода. Бумерангом, вариация значения $t_{кр}$, может

изменить количество и дислокацию /значение/ t_i на временной оси. Мы видим взаимовлияния настоящего и будущего состояний системы.

Естественно, в ПРИРОДЕ может встречаться любая многоуровневая комбинация из описанных базовых режимов: зарождения, расширения, расщепления, асимметризации, когерентности I-рода и II-рода. Так блоками вычислительного алгоритма любой степени сложности являются три базовых алгоритма: линейный, ветвящийся и циклический.

Аттрактор. В работах по синергетике широко используется понятие ‘аттрактор’(АТ). АТ – это образ в фазовом пространстве системы, находящийся в реальном пространстве в стационарном состоянии. Такой ‘АТ’ мы будем именовать ‘АТ-образ’ (рис.4, серые кружки в фазовом пространстве). Этим самым мы подчеркнём его специфику и отличим от введённых новых классов АТ [5–8]: АТ-прообраз и особый АТ.

АТ-прообраз – это динамичный образ в фазовом пространстве потенциально возможного состояния, в которое может перейти система в реальном пространстве. На рис.4 АТ обозначены кружками. Реализованные состояния - в реальном пространстве и АТ-образы в фазовом пространстве - изображены кружками с оттенками серой заливки. АТ-прообразы в фазовом пространстве и потенциально возможные состояния в реальном пространстве - представлены кружками, с белой заливкой; тип линии контура отображает различия: в силе воздействия АТ-прообраза и в величине вероятности перехода системы в данное состояние.

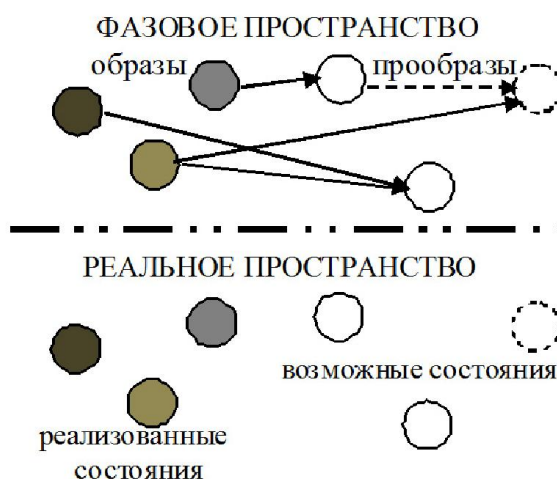


Рис.4 Схема отношений аттракторов-образов и аттракторов-прообразов соответственно с существующими и потенциально возможными состояниями системы

Из определений следует, что АТ – динамичные объекты. АТ-образы и АТ-прообразы формируют новые АТ-прообразы (рис.5). Причём АТ-образ

может участвовать в формировании разных АТ-прообразов; соответственно АТ-прообраз может формироваться разными АТ-образами. АТ-прообразы, особенно на начальных этапах развития системы, являются многоуровневыми. АТ-прообраз появляется с временной задержкой и в процессе существования степень его влияния на процессы в реальном пространстве меняется с течением времени; можно сказать - имеет переменную силу притяжения.

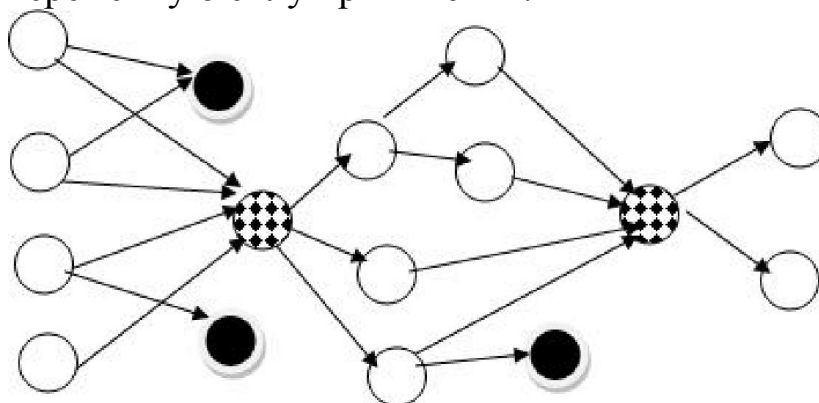


Рис.5. Фрагмент схемы эволюции, выраженный через структуру аттракторов. Особый АТ представлен кружком с ромбиками. Кружком чёрного цвета представлен АТ, замыкающий тупиковую ветвь эволюции.

Всё время идёт процесс непрерывного взаимного сопряжения между состояниями систем в реальном пространстве и АТ в фазовом пространстве. Если в реальном пространстве система перешла в одно из потенциально возможных состояний, то в фазовом пространстве соответствующий АТ-прообраз становится АТ-образом, что приводит к дискретному изменению конфигурации АТ образов и прообразов.

Среди АТ-прообразов и АТ-образов выделим подкласс, который назовём 'особый АТ'. Особый АТ – это АТ, который система “обязана” пройти в процессе эволюции (рис.5; кружки с ромбиками). В силу фрактальности, некоторые «рядовые» АТ в структуре, могут выступать в роли особых АТ для подструктур. И всё это повторяется «вглубь» для ещё более мелких, частных, тонких подструктур. Соответственно, особый АТ в структуре, может быть “рядовым” АТ в надструктуре. Поэтому в структуре сила притяжения АТ-прообразов, в зависимости от надпроцессов и подпроцессов, может существенно изменяться.

Алгоритм взаимодействия аттракторов. Постулируем Принцип взаимодействия АТ. *«Алгоритм формирования АТ-прообразов НЕ ЗАВИСИТ от вида Системы, которую они представляют и с которой взаимодействуют; но свойства формирующегося особого АТ-прообраза зависят от, существующей на момент его формирования, структуры АТ-образов и АТ-прообразов».*

В роли Системы может быть: неживая природа, этапы её перехода к живой природе; усложнение биологических видов, появление homo;

формирование мышления и сам процесс мышление; общественные формации; социально-экономические отношения и т.д. Именно в силу **независимости** алгоритма, возникшие системы (структуры):

- в содержательной части развиваются по **универсальным** законам;
- накладываются **ограничения** на спектр допустимых форм образовавшихся структур.

Конкретные свойства и период времени формирования особого АТ-прообраза **зависят** от имеющейся на данный момент предшествующих структур АТ-образов и АТ-прообразов.

Вид зависимости определяется вектором эволюции: от простого к сложному. В эволюционном процессе происходит качественное усложнение образующихся структур:

1. переход от неживой природы к живой природе;
2. переходы в живой природе к представителям фауны, способными к более высокой организации рассудочной деятельности;
3. появлении homo sapiens, познающего законы эволюции **ПРИРОДЫ**.

С развитием системы, период времени формирования каждого последующего особого АТ-прообраза уменьшается.

Предмет Синергетики. В терминах АТ-образ и АТ-прообраз дадим следующее определение: *«Синергетика – направление естествознания, целью которого является изучение алгоритма взаимодействия АТ-образов и АТ-прообразов».* Если за основу взять результат взаимодействия АТ, то можно сформулировать: *«Синергетика – направление естествознания, целью которого является изучение универсальных принципов эволюции ПРИРОДЫ».*

Принципы синергетики. *Принцип – правило, отражающее один из механизмов эволюции ПРИРОДЫ.* Хотя мы понимаем, что передать переливающуюся полифонию взаимосвязей ПРИРОДЫ полностью невозможно. Во-первых, в ПРИРОДЕ есть иррациональная, непознаваемая компонента, во-вторых, при анализе теряется сущность системы.

Прежде чем рассмотреть конкретные принципы синергетики, вспомним два закона диалектики: «Закон единства и борьбы противоположностей» и «Закон отрицания отрицания». С нашей точки зрения, эти законы являются следствием, предлагаемого нами, обобщённого механизма эволюции и выражения (1):

«Эволюция инициируется отрицающими и сменяющими друг друга составляющими Теза ↔ АнтиТеза».

Изменение во времени одной из составляющих приводит к появлению переменной компоненты противоположной составляющей. Чем больше скорость изменения во времени одной из составляющих, тем больше по

модулю величина переменной компоненты противоположной составляющей (1).

$$\text{АнтиТеза} \sim \left| \frac{d(\text{Теза})}{dt} \right|; \quad \text{Теза} \sim \left| \frac{d(\text{АнтиТеза})}{dt} \right| \quad (1)$$

Если в роли Тезы выступают: дивергенция, многовариантность, симметрия, непрерывность, то соответственно в роли АнтиТезы будут выступать: конвергенция, одновариантность, асимметрия, дискретность. Приведённые соотношения (1) отражают факт систематической смены во времени Тезы и АнтиТезы. Так процесс дивергенции порождает антипроцесс: конвергенцию, которая затем вновь сменяется процессом дивергенции. Многовариантность подэволюционных путей приводит через особый АТ-прообраз к одновариантной возможности дальнейшей эволюции и выводит «на просторы» следующей многовариантности подэволюционных путей.

Мы рассмотрим следующие принципы и подпринципы:

1. симметричного – асимметричного развития структуры;
2. одновариантного – многовариантных путей эволюции;
- і. подпринцип гистерезиса.
3. стохастической – детерминированной обусловленности эволюции:
 - і. подпринцип анизотропной реакции системы;
 - іі. подпринцип мутации.
4. положительной – отрицательной обратной связи;
5. непрерывно – дискретного изменения состояния системы.

Принцип симметрии – асимметрии. Асимметрия – различия в значениях характеристик элементов, принадлежащих одной структуре. Различия, при малом кванте дискретности, могут описываться непрерывной кривой, например, нормальным законом распределения; а могут иметь чётко выраженный дискретный характер, например хромосомы XX и XY. Расширим смысл симметрии, включив в него понятие равновероятных возможных вариантов развития системы. Соответственно, в смысл асимметрии включим понятие преобладания вероятности развития одного из возможных вариантов над другими.

Формулировка принципа: *Симметрия – условие возникновения структуры; нарастающая Асимметрия – условие развития структуры, завершающееся её гибелью.*

Появление у аминокислот и сахароз асимметрии (левой и правой поляризации) способствовало переходу от неживой природы к живой. Появление кроме симметричной хромосомы XX асимметричной хромосомы XY способствовало значительному расширению

приспособляемости биологического вида. Это увеличило время его жизненного цикла. Как следствие, увеличилась вероятность организации более сложной структуры у следующего биологического вида. Асимметрия полушарий головного мозга позволяет homo sapiens создавать новые знания и думать о роли Создателя. Можно предположить, что рациональные и иррациональные методы познания связаны между собой соотношением, аналогичным соотношениям неопределённости Гейзенберга. В отдельности иррациональное и рациональное имеют пределы познания, но вместе позволяют полнее понять ПРИРОДУ.

Принцип одновариантного – многовариантного путей эволюции.

В процессе эволюции система «обязана» проходить смежные особые AT_i ($i=1..n$) (на рис.5 – кружочки с ромбиками). Они образуют одновариантный путь эволюции. /Образно говоря, имеется «система игольных ушек», через которые «должна пролезть ‘Эволюция’». Правда, каждое последующее ушко имеет бóльший диаметр./ В силу случайностей процессов в ПРИРОДЕ для образования особого AT_i требуется, как показано на рис.5, многовариантное, комбинированное взаимодействие предыдущих AT -образов и AT -прообразов. С увеличением индекса i , количество вариантов, т.е. число AT , участвующих в формировании особого AT_i – уменьшается. Переход системы из состояния особого AT_{n-1} -образа в состояние, прописанного в особом AT_n -прообразе — одновариантный, происходит в режиме с обострением, приводит к образованию новой структуры или хаоса. Цикл замыкается, вновь начинается формирование многовариантных подэволюционных путей с целью образования особого AT_1 -прообраза новой структуры.

С появлением homo sapiens условие многовариантности для эволюции социально-экономических отношений, научно-культурных свершений не является обязательным. Например, Наполеон в социальной сфере; Д. Максвелл в науке – переводили систему (соответственно социально-экономическую и научную) с одного квазистойчивого состояния в другое по кратчайшей траектории в фазовом пространстве. Пример противоположной направленности. В. Ленин загнал социально-экономические отношения в России на такую тупиковую траекторию развития, что нашим потомкам долго ещё придётся потрудиться, «блуждая в многовариантности», чтобы выйти на эволюционный путь, соответствующий экономически развитым странам.

Подпринцип гистерезиса. Он следует из принципа одновариантного – многовариантного путей эволюции. Функциональность, жизнеспособность, эволюционность образовавшейся структуры определяется её предысторией. Для того чтобы образовавшаяся структура функционировала конструктивным образом и далее была в фарватере

эволюционного процесса, она должна последовательно пройти смежные устойчивые состояния. В фазовом пространстве такому процессу соответствует существование смежных особых АТ-образов. Например: $AT_j, AT_{j+1}, AT_{j+2} \dots AT_{m-1}, AT_m$. В случае пропуска в процессе развития устойчивого(ых) состояния(ий), образовавшееся подсистема, как минимум, будет нежизнеспособной; в худшем случае, ещё больше ухудшить состояние системы. Например, шоковая терапия Е. Гайдара, предполагавшая, что начнут действовать законы рыночной экономики. С таким же успехом можно было ожидать, что в эволюции биологических видов, пропустив промежуточные видовую цепочку /смежные особые АТ/, из земноводных сразу произойдёт homo.

Принцип стохастической – детерминированной обусловленности эволюционного процесса. На начальном этапе зарождающейся структуры формирование особого AT_1 происходит за счёт стохастических процессов в системе. Случайный перебор событий в системе происходит до тех пор, пока не образуется комбинация, способствующая возникновению особого AT_1 -прообраза. /'Эволюция' пролезла в первое игольное ушко/. Случайность выступает как необходимое условие /особенно, на начальном этапе/ эволюционного процесса. При «созревании» особого AT_1 -прообраза, в реальном пространстве система переходит в соответствующее состояние. Особый AT_1 -прообраз скачком становится особым AT_1 - образом. В фазовом пространстве начинается формирование особого AT_2 - прообраза. В процесс формирования, в силу наличия AT_1 - образа, добавляется детерминированная компонента. Поэтому формирование особого AT_2 -прообраза и переход системы в соответствующее состояние происходит за меньший период. Обобщая, можем сказать, в формирование каждого последующего особого AT_i - прообраза всё большую роль играет детерминированная компонента, и каждый особый AT_i -образ реализуется за меньший период, чем предыдущий особый AT_{i-1} -образ. Уменьшение интервала времени образования последующих особых АТ-образов хорошо видно, например, при сравнении периодов существования общественно-экономических формаций: первобытной, рабовладельческой, феодальной, капиталистической.

По большому счёту, усиление детерминированной компоненты, обусловлено сутью эволюционного процесса: любая система, в конечном счёте, «обязана» погибнуть. А это «гарантировано» только тогда, когда вероятность данного события будет стремиться к единице. Гибель структуры, т.е. переход с предпоследнего особого AT_{n-1} -образа в конечный особый AT_n -прообраз, по-существу, является детерминированным процессом. Образуется хаос или новая структура.

Вновь происходит перебор вариантов, инициированных стохастическими процессами, пока не образуется комбинация, способствующая формированию особого АТ₁-прообраза новой структуры.

Из принципа случайно – детерминированного обусловленности эволюционного процесса следуют два подпринципа:

- анизотропной реакции системы;
- мутации.

Подпринцип анизотропной реакции системы. Чем ближе система в своей содержательной части к состоянию, прописанному в одном из особых АТ₁-прообразов, тем сильнее притяжение этого АТ₁ и тем более избирательна реакция системы на события в ней. Даже на слабые события, способствующие её переходу в состояние, прописанное АТ₁-прообразом, система реагирует с повышенной чувствительностью. «Эффект бабочки» усиливается при $i \rightarrow n$. Это связано с усилением детерминированной компоненты в эволюционном процессе. Когда процессы в системе: случайные и/или управленческие от homo – совпадают с направлением, обусловленным детерминированным процессом, то система резонирует с ними. При $i = n-1$ достаточно незначительного события /”взмаха крыла бабочки-катастрофы”/ и наступает режим с обострением, когерентность П-рода: техногенная катастрофа /Чернобыль/ или происходит социальный взрыв /Падение Берлинской стены/. И наоборот, система становится всё менее чувствительной к событиям противоположной – по отношению к вектору, обусловленному детерминированным процессом – направленности. Более того, система инвертирует события противоположной направленности /хотели как лучше/ для попадания в состояние, прописанное АТ₁-прообразом /получилось, как всегда/. Можно сформулировать: “Предстоящее состояние системы определяет характер реакции системы на происходящие в ней процессы ” [4-8].

Подпринцип мутации. Заданность эволюционного процесса, отражённая в Принципах эволюции, присутствует всегда, В силу этого, ‘эволюция отберёт’ только ту комбинацию случайных событий, которая позволит системе перейти в первый или смежный особый АТ₁-прообраз.

С другой стороны, детерминированность процесса никогда не может быть абсолютной, 100%. Даже при переходе с особого АТ_{n-1}-образа в особый АТ_n-прообраз, остаётся вероятность случайных, спонтанных событий. В биологических системах последствия, результат действия стохастических событий получил название ‘Мутация’. Обобщим понятие ‘Мутация’ на другие виды систем: экономическая, социальная.

Мутация — стохастические изменения свойств существующих объектов и/или стохастические появление новых объектов в системе.

В терминах АТ определение будет звучать:

Мутация — стохастические изменения свойств АТ-образов и/или стохастическое появление новых АТ-образов, минуя стадию создания АТ-прообразов.

Механизм Мутации в эволюционном процессе необходим для:

- приспособления существующих объектов к изменившимся условиям;

- создания новых объектов зарождающейся структуры.

Для приспособления объектов системы к изменяющимся условиям существует два механизма. Первый – это распределение признаков объектов по нормальному закону. Второй – это механизм мутации. В режиме непрерывного изменения состояния системы, мутация носит малоактивный характер. В моменты дискретных переходов – когерентности I-рода – количество мутаций возрастает. Среда: биологическая, социальная, экономическая – является фильтром, чувствительно реагируя на те мутационные объекты, которые позволяют системе приспособиться к изменяющимся внешним воздействиям.

При наступлении режима с обострением – когерентности II-рода – количество мутаций возрастает в порядки раз. Зарождающаяся структура из множества мутационных объектов – в силу анизотропной реакции системы – сверхчувствительно реагирует на те, которые позволяют структуре начать новый цикл самоорганизации (рис.1).

Мутация по форме – «расточительный» механизм эволюции, образно говоря: «стрельба на авось»; но в содержательной части мутация – «жизненно» необходимый механизм эволюционного процесса.

Принцип положительной – отрицательной обратной связи (ОС). В живой природе, в социально-экономических отношениях ОС – имеет смысловое воплощение. Механизм ОС принципиально важен в работе любой саморегулирующейся системе. Поэтому смысл и роль ОС анализируются как в ‘Кибернетике’, так и в ‘Системном анализе’. Мы сделаем акцент на роль ОС в ЖЦС с позиций Синергетики.

С позиции Системного анализа взаимодействие системы с подсистемой можно представить в виде структуры с ОС (рис.6). Процессы в системе оказывают существенное влияние на процессы в подсистемах. Процессы в подсистеме в меньшей степени влияют на функционирование системы. Степень влияния процессов в подсистеме увеличивается при нестабильном состоянии системы. Оперативность взаимоотношения системы с подсистемой определяется временем отклика τ . С наших позиций, τ состоит из двух компонент $\tau = \tau_1 + \tau_2$. Компонента τ_1 определяется временем реакции Подсистемы; компонента τ_2 определяется временем реакции Системы (рис.6), т.е. временем включения объекта/субъекта в ЖЦС. Например: для особи: τ_1 – время пребывания в

утробе, τ_2 – время полового созревания; для капиталовложений: τ_1 – время реорганизации фирмы, τ_2 – время, за которое проведённая реорганизация скажется в увеличении прибыли; для молодого специалиста: τ_1 – время обучения в ВУЗе, τ_2 – время становления его, как специалиста.

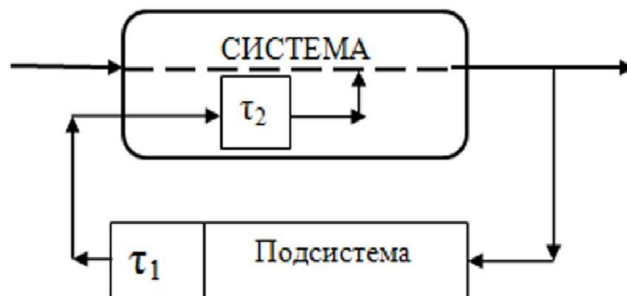


Рис.6. Схема с ОС, детализированная по τ

τ_1 – время реакции Подсистемы; τ_2 – время реакции Системы

В ЖЦС (рис.1) ОС выступает в роли механизма самоорганизации, самостабилизации и самодезорганизации системы. Самоорганизация и самодезорганизация системы осуществляется за счёт положительной ОС; соответственно конструктивной ОС и деструктивной ОС.

При положительной конструктивной ОС система «взрослеет» вместе с подсистемами. Система и подсистемы позитивно, в фазе, «подстёгивают» друг друга. В ЖЦС на рис.1 это соответствует фазе самоорганизации. В момент возникновения структуры $\tau = \infty$ и в процессе её самоорганизации τ уменьшается до τ_{\min} . По мере включения ресурсов подсистем, система подходит к своему оптимальному состоянию.

Динамическая стабилизация системы в оптимальном состоянии поддерживается за счёт отрицательной ОС. На рис.1 этому процессу соответствует фаза самостабилизации. Если одна из подсистем, под действием внутренних процессов и/или внешнего воздействия, в момент времени t_i отклонится от стационарного состояния, то система с подсистемами «помогают заблудшей подсистемке» вернуться в status-quo. В фазе самостабилизации значения τ варьируется в пределах τ_{\min} .

Наступает момент, когда происходит смена с отрицательной ОС на положительную ОС. Но в отличие от конструктивной положительной ОС в фазе самоорганизации, положительная ОС является деструктивной. Система «стареет» вместе с подсистемами и функционирует всё менее эффективно; т.е. система и подсистемы негативно «подстёгивают» друг друга. В ЖЦС на рис.1 это соответствует фазе дезорганизации. В процессе дезорганизации τ увеличивается от τ_{\min} до $\tau = \infty$. Наступает режим с обострением. Система гибнет. Образуется хаос или новая структура. Вновь начинает действовать положительная конструктивная ОС,

Примечание: Эволюция ПРИРОДЫ – беспристрастна! Использование пар антонимов, вида ‘конструктивный-деконструктивный’ и т.п., отражает эмоциональную оценку человека.

Принцип непрерывного – дискретного изменения состояния системы. Этому принципу соответствует закон диалектики: «Закон перехода количества в качество». В процессе ЖЦС в ней сочетаются непрерывное и дискретное изменение её состояния (рис.1). В начале развития системы ($0 < t < t_1$) – пока происходит формирование АТ-прообразов и появление АТ-образов – процессы в ней развиваются непрерывно. В момент времени $t \approx t_1$ одна или несколько подструктур системы переходят в состояние особых АТ. Наступает режим когерентности I-рода. система дискретно, т.е. за время $\Delta t \ll t_{кр}$, переходит из одного состояния в другое.

В новом состоянии ($t_1 < t < t_2$) системы создаются условия для формирования особых АТ-прообразов следующих фрактальных подструктур. В момент времени $t \approx t_2$ следующая группа подструктур системы переходят в состояния особых АТ. Опять наступает режим когерентности I-рода. Система дискретно переходит в следующее состояние. Так как количество подструктур в Системе – конечно, то после дискретного изменения состояния в момент времени $t \approx t_{i-1}$ (рис.1) система переходит в стабильное состояние. Стабильность носит динамический характер и поддерживается – некоторое время – за счёт отрицательных ОС системы и подструктур.

После фазы самостабилизации в ЖЦС начинается фаза самодезорганизации (рис.1). Порядок дезорганизации подструктур описывается правилом LIFO – Last Input First Output. Последняя при $t \approx t_{i-1}$, группа подструктур, обеспечивавшая «выход» системы в фазу самоорганизации, первой при $t \approx t_{i+1}$, выходя из оптимального состояния, запускает самодезорганизацию системы. В последующие моменты времени $t \approx t_{i+1}$, $t \approx t_{i+2}$, .. $t \approx t_{n-1}$, система – при сохранении сущности – дискретно меняет своё состояние (рис.1). В момент времени $t = t_n = t_{кр}$ – наступает режим с обострением, система прекращает своё существование.

Условия, которым должна удовлетворять модель эволюционного процесса. Необходимость учитывать в эволюционном процессе взаимовлияние настоящего и будущего требует создание нового математического /или на другом языке описаний/ аппарата. Математические модели, применяемые в синергетике, базируются на использовании систем дифференциальных уравнений и/или рекуррентных соотношениях [10]. Общим для обоих подходов является то, что решения, описывающие динамику системы во времени, определяются начальными условиями. В результате решения таких систем уравнений выходят или на

бесконечность, или на стационарное решение. Но эволюция ПРИРОДЫ заключается в непрерывной смене одних устойчивых состояний другими. Получается, что с помощью применяемого математического аппарата невозможно промоделировать процесс эволюции.

В умах как «чистых» математиков, так и «прикладников» исследователей въелось аксиома, что динамика системы определяется начальными условиями. В своё время, такой же «очевидной» аксиомой являлось утверждение: «параллельные прямые не пересекаются». В процессе развития естествознания выяснилось, что евклидово пространство является частным случаем пространств Лобачевского и Римана. В них бесспорная для своего времени аксиома о «непересекающихся параллельных прямых» является неправомерной. Точно так же зависимость динамики системы только от начальных условий является первым этапом познания и описания процессов в окружающем мире. Как было показано выше, чем ближе система к возможному устойчивому состоянию, тем сильнее оно /предстоящее состояние/ влияет на характер процессов в системе. На основании развиваемого подхода, сформулируем условия, которым должны будут удовлетворять – математические и/или на других языках описаний – модель эволюционного процесса.:

- учитывать влияние будущих потенциальных состояний системы на характер процессов в настоящем;

- учитывать анизотропный характер реакции системы к вероятностным событиям и/или управленческим решениям при приближении к потенциальному(ым) состоянию(ям).

- учитывать непрерывное и дискретное изменение будущих потенциальных состояний системы в зависимости от процессов в настоящем.

Представленный понятийный аппарат применим для интерпретации механизма ‘Интуиции’ и трактовки категории ‘Время’.

Интуиция и научное познание. Интуиция – понятие неоднозначное. Например, под ‘логичной интуицией’, понимают способность человека – типа Шерлока Холмса – выделить из информационного потока необходимые данные и даже при их малом количестве, прийти к правильному выводу. В данной работе речь идёт о ‘«вне логичной» интуиции’: “Интуиция – уникальная способность homo sapiens, вне логических построений совершить прорыв в Незнаемое”. Такой интуиции соответствует понятие озарение, insight.

Мышление – продукт ПРИРОДЫ. Поэтому, если даже его механизм остаётся terra incognita, процесс мышления можно анализировать с позиций синергетики. Так многие физические задачи можно решить с

позиций законов сохранения, не вдаваясь в пошаговый анализ взаимодействия сил внутри системы.

Описанные выше: АТ-прообраз и особый АТ-прообраз; постулат «независимости алгоритма взаимодействия аттракторов от системы, которую они представляют»; подпринципы обобщённой мутации и анизотропной реакции системы — позволяют под новым ракурсом взглянуть на механизм ‘интуиции’ [6-8].

Не homo sapiens совершает открытие, а созревающее, созревшее, перезревшее Открытие, т.е. формирующийся, сформировавшийся, «тоскующий» в сформированном состоянии особый АТ-прообраз, как невеста на выданье, ждёт того несчастного/счастливого homo sapiens, который своей интуицией «узреет» его. Точнее эти два условия: наличие АТ-прообраза, соответствующего потенциальному Открытию; существование Homo sapiens, нацеленного на осуществление Открытия — являются комплементарными, т.е. взаимодополняемыми.

Мыслительный процесс homo обусловлен работой нейронных структур (НС) головного мозга. Вероятность интуитивного озарения определяется соотношением между степенью «зрелости» особого АТ-прообраза и спецификой НС homo sapiens. Чем менее «зрелым» является формирующийся АТ-прообраз, тем более чувствительной, должна быть НС homo sapiens. Чувствительность любой системы к внешнему воздействию напрямую зависит от степени её нестабильности. Можно предположить, что к генетической нестабильности НС у гениев/ талантов, добавляется повышенный мутационный фон, усиливающийся в моменты когерентных процессов I-рода. Одним из последствий мутаций НС является возникновение в процессе мышления спонтанных образов в голове homo sapiens. Один из спонтанных образов может оказаться соответствующим Открытию. В виду нацеленности конкретного Homo sapiens на совершения Открытия, в силу «анизотропной реакции системы» у Homo sapiens происходит озарение, то, что мы называем ‘интуицией’.

Итак, если:

- формируется АТ-прообраз конкретного Открытия;
- существует homo sapiens, думающий над Открытием;
- вследствие мутаций НС, в голове человека, спонтанно возник Образ, соответствующий Открытию,

то в силу анизотропной реакции системы, мышление гения/таланта чутко отреагирует именно на этот Образ. Homo sapiens пронзает интуитивное озарение, insight. “Знание в себе” становится “Знанием для учёного, а затем — человечества”.

Homo sapiens, совершившего интуитивный прорыв в Незнаемое, можно отнести к одному из перекрывающихся множеств: гений/талант. В

качестве нечёткого критерия классификации выберем период времени, на которое совершённое Открытие обгоняет понимание специалистами его /Открытия/ масштаба. За лаг времени примем $T \approx 25$ лет, соответствующий периоду смены поколений.

Открытие, совершённое Гением, находит признание у специалистов через несколько поколений. Как правило, гении – люди с повышенной лабильностью психики. Гениальность – тяжкий дар, он же крест, для её носителя. История познания являет нам примеры поразительных открытий, преемственных и в то же время, задавших потомкам качественно новый уровень научно-технического свершений. Великий Д. Максвелл в работах, опубликованных с 1855г. по 1869г. теоретически обосновал существование электромагнитного поля и записал уравнения, описывающие процессы в этом поле. Существование материи в форме поля было фундаментом его теории и прорывом в естествознании. Только потомки оценили масштаб гениальности Д. Максвелла. М. Планк писал: *«В учении об электричестве его Гений предстаёт перед нами в своём полном величии. Ему удалось выманить у природы в результате одного лишь чистого мышления такие тайны, которые лишь спустя целое поколение и лишь частично удалось показать в остроумных и трудоёмких опытах».*

Если гений не проявил себя, то процесс формирования особого АТ-прообраза продолжается, что сказывается в увеличении силы его «притяжения». И для интуитивного озарения от таланта уже не требуется повышенной неустойчивости и избыточного количества мутаций НС. Открытие, совершённое талантом, находит признание у современников. Судьба таланта складывается, по крайней мере внешне, счастливо. В качестве примера можно привести судьбу мудрого А. Эйнштейна.

Талантливый Г. Мендель вдали от мирской суеты, в результате многолетней, скрупулёзной работы сформулировал и опубликовал в 1865г. законы генетики. Из-за скудности и разобщённости информационных процессов тех времён, его работа пылилась в неизвестности 35 лет. Уже сформировались АТ-прообразы последующих открытий, которые прозябали «знанием в себе», ожидая, когда законы генетики, станут известными не только Менделю, но и научной общественности. Если бы аттракторы были живыми существами, представляю, сколько неласковых слов они высказали бы в адрес homo, мнящего себя sapiens. Эмоциональные послы от аттракторов активизировали процесс познания и в течение года в четырёх разных странах, независимо друг от друга, учёные заново открыли законы Менделя.

Модель АТ-прообразов позволяет объяснять преемственность и временную неравномерность процесса познания. Преемственность следует из принципа гистерезиса: открытие базируется на имеющемся научно-техническом потенциале и, в свою очередь, служит ступенью для последующих открытий. Временная неравномерность процесса познания, является следствием дискретности формирования АТ-прообразов. Интервал времени между открытиями определяется: временем формирования соответствующего АТ-прообраза; существованием homo sapiens, думающего над открытием; уровнем научно-технического потенциала и востребованностью общества в развитии этого потенциала.

Время. Непостижимая, загадочная категория. Разнообразные трактовки этой категории: в мифах, в художественных произведениях, в научных работах – представлены в [11].

С нашей точки зрения: Время – это имманентное свойство системы, выступающее алгоритмом её жизненного цикла.

Имманентное свойство, потому что время рождается и погибает со своей системой. Система рождается с предельным значением времени жизненного цикла, обозначим его – $t_{кр\ пред}$. Реально ЖЦС (рис.1) может завершиться раньше при $t = t_{кр} < t_{кр\ пред}$. Во-первых, при изменении состояния системы:

I. величина $t_{кр}$ может уменьшиться в силу случайных – внешних по отношению к данной системе – событий;

II. в живой природе вариация $t_{кр}$ обусловлена случайными событиями в самой системе;

III. с появлением homo на изменения $t_{кр}$ существенно влияют управленческие решения. Грамотные решения не уменьшают или увеличивают $t_{кр}$. Неграмотные решения уменьшают значение $t_{кр}$ вплоть до текущего момента времени, что завершается катастрофой; например, взрыв на Чернобыльской АЭС.

Во-вторых, величина $t_{кр}$ может измениться за счёт процессов в системе, происходящих в дискретные моменты времени t_i (рис.1). Речь идёт о моментах времени t_i , при которых происходят когерентные процессы I-рода /кризисы/.

Обратной связью /бумерангом/, изменение величины $t_{кр}$ может:

- поменять количество и значения t_i ;
- изменить чувствительность системы на кризисы, которые наступают в моменты времени t_i ЖЦС.

Ход времени определяет характер процессов в системе и, в свою очередь, варьируется этими процессами. Процессы в настоящем влияют на величину $t_{кр}$, т.е. на состояние системы в будущем; изменение $t_{кр}$ может изменить степень нелинейности и, соответственно, характер процессов в

системе в настоящем. Таким образом, время не является жёстким алгоритмом динамики системы. В зависимости от характеров процессов в системе, степени воздействия надсистемы на систему, продолжительность ЖЦС может варьироваться. Из вышесказанного следует:

- собственное время системы $t_{\text{соб}}$ по своей сущности – нелинейно;
- в силу с принципа непрерывного – дискретного изменения состояния ЖЦС, можно выделить две составляющие нелинейности времени, которые определим, как непрерывная и дискретная;
- непрерывная и дискретная составляющие влияют друг на друга, образуя, в общем случае, сложную нелинейную функцию времени.

Собственное время системы $t_{\text{соб}}$ существует только в период ЖЦС. Вне этого периода $t_{\text{соб}} \equiv 0$. Наиболее простой нелинейной функцией, удовлетворяющей этим условиям, является квадратичная функция (2).

$$t_{\text{соб}}(t) = \left(1 - \frac{t}{t_{\text{кр}}}\right) * t \quad (2)$$

За время t можно взять время внешней системы, которая:

- имеет длительность жизненного цикла, на несколько порядков больше длительности жизненного цикла исследуемой системы;
- находится в фазе самостабилизации.

В этом случае, на период существования анализируемой системы, внешнее время t можно считать линейным.

Перейдём в (2) к безразмерным величинам, поделив левую и правую часть на $t_{\text{кр}}$. Реально значение $t_{\text{кр}}$, т.е. величина нормировки, в процессе ЖЦС может меняться. Но пока будем считать $t_{\text{кр}} = \text{const}$.

$$q(p) = (1 - p) * p; \text{ где } q = \frac{t_{\text{соб}}}{t_{\text{кр}}}; p = \frac{t}{t_{\text{кр}}}; 0 \leq p \leq 1; \quad (3)$$

Рассмотрим восприятие внешнего линейного времени с позиции анализируемой системы. Для этого определим проекции равных отрезков внешнего времени $\overrightarrow{\Delta p_i} \equiv \text{const}$ на касательную к $q(p_i)$; угол между которыми обозначим $\alpha(p_i)$. С учётом (3), имеем

$$\Delta q_i = p_{q_i} = \cos \alpha(p_i) * \Delta p_i = \frac{\Delta p_i}{\sqrt{1 + (1 - 2p_i)^2}} \quad (4)$$

В фазе самоорганизации (рис.1), которой соответствует возрастание времени p от 0 до 0,5, величина $\cos \alpha(p)$ увеличивается от 0,7 до 1,0; т.е. согласно (4) $\Delta q \rightarrow \Delta p$. Поэтому в юные годы, кажется, что с каждым последующим лагом – будто то неделя, месяц, год – времени всё больше. В фазе самостабилизации – в нашей модели, точке стабилизации – которой соответствует значение $p = 0,5$, $\cos \alpha(0,5) = 1$; согласно (4) $\Delta q = \Delta p$. В фазе самодезорганизации, которой соответствует возрастание времени p от 0,5 до 1,0; величина $\cos \alpha(p)$ уменьшается от 1,0 до 0,7. Пожилые люди

чувствуют, что с каждым последующим лагом, они объективно имеют всё меньше времени по сравнению с астрономическим временем.

Вид функции $q(p)$ усложняется, если рассматривать в ЖЦС процессы, влияющие на величину $t_{кр}$. К таким процессам можно отнести экономический кризис, техногенную катастрофу, уменьшающие значение $t_{кр}$. В случае профессиональных действий, величина $t_{кр}$ увеличивается, т.е. опять меняется условие нормировки. Открытым остаётся вопрос о степени нелинейности хода времени в дискретные моменты, соответствующие когерентным процессам I-рода в системе. Судя по воспоминаниям лётчиков-испытателей, побывавших в запредельной критической ситуации, время замедляется. Лётчик успевают сделать операции для своего спасения за такой малый промежуток времени /зафиксировано показаниями самописцев/, за которое это невозможно воспроизвести в «нормальных» условиях.

Категория 'Время' одна из фундаментальных категорий ПРИРОДЫ. Поэтому автор в [5-7] рассматривает фрактальный принцип «дивергенции-конвергенции Времени», как механизм, приведший к появлению Сознания, Мысли. Носителем Сознания на нашей планете был выбран homo. На другой планете это м.б. мыслящая субстанция, как в 'Солярис': в романе С. Лема и в фильме А. Тарковского.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Основания синергетики. Синергетическое мировидение. М., 2005.
2. *Шварцман М.М.* Принципы синергетики и их приложение к анализу социально-экономических отношений. V Курдюмовские чтения «Синергетика в естественных науках»: материалы Международной междисциплинарной НК (ММНК). Тверь: 2009. – Ч.1 С. 256-259
3. *Шварцман М.М.* Особенности кризисов – синергетический подход. VI Курдюмовские чтения «Синергетика в естественных науках»: материалы ММНК. Тверь: 2010. С. 307-311
4. *Шварцман М.М.* Взаимовлияние настоящего и будущего. VII Курдюмовские чтения «Синергетика в естественных науках»: материалы ММНК. Тверь: 2011. С. 371-375
5. *Шварцман М.М.* Модель механизма эволюции и движущий её принцип. VIII Курдюмовские чтения «Синергетика в естественных науках»: материалы ММНК, Тверь — 2012. С. 192-196.
6. *Шварцман М.М.* Предмет Синергетики. IX Курдюмовские чтения «Синергетика в общественных и естественных науках»: материалы ММНК, Тверь — 2013. С. 141-145.

7. *Шварцман М.М.* Погружаясь в синергетику. Сборник научных трудов. Выпуск 16. В 2 ч. Ч.2 – Новороссийск: Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф.Ушакова, 2011. – С.97-103
8. *Шварцман М.М.* В пространстве синергетики. Известия ВУЗов Северо-Кавказский регион, сер. Естественные науки. Специальный выпуск «Теоретические и прикладные проблемы математики, экономики, образования», 2011. С. 80-84.
9. *Гумилёв Л.Н.* Этногенез и биосфера Земли. М., 2008.
10. *Малинецкий Г.Г.* Математические основы синергетики. М., 2007.
11. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* . Синергетика: Нелинейность времени и ландшафты коэволюции. М., 2007.

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

М.Е. Мазуров

*Московский Государственный Университет Экономики, Статистики
Информатики*

Россия, Москва, Нежинская, 7

E-mail: mazurov37@mail.ru

Финансовые временные ряды (ФВР) являются нестационарными случайными рядами. Они не являются шумами типов: белый, розовый и др. Финансовые временные ряды не являются хаотическими детерминированными. Но они не являются и чисто хаотическими. Их можно назвать квазидетерминированными хаотическими рядами. Они могут содержать аттракторы или некоторые самоподобные структуры, то есть иметь квазифрактальный характер. Существование аттракторов и фрактальные свойства ФВР отмечалось в литературе [1]. Кроме того финансовые временные ряды отдельных агентов (участников рынка) могут иметь индивидуальные различия.

Известно большое количество методов прогнозирования временных рядов. Единой классификации методов прогнозирования не существует, можно выделить основные методы для прогнозирования финансовых временных рядов: 1) Экспертные методы прогнозирования; 2) Методы логического моделирования; 3) Экономико-математические методы; 4) Статистические методы; 5) Экспериментальные методы; 6) Фактографические методы.

Экспертные методы прогнозирования. Самый распространенный метод из группы экспертных методов – метод Дельфи.

Методы логического моделирования. Они основаны на поиске и выявлении закономерностей рынка в долгосрочной перспективе.

Экономико – математическое моделирование. Методы из этой группы базируются на создании моделей ФВР. При прогнозировании ФВР используют методы: статистические, динамические, линейные, нелинейные, оптимизационные. Значимыми являются оптимизационные модели, они представляют собой систему уравнений, куда входят различные ограничения, а также критерии оптимальности.

Прогнозирование финансовых временных рядов с помощью трендовых моделей основано на разложении временного ряда на 3 компонента: тренд; волна; остаточная шумовая компонента.

Статистические методы прогнозирования применительно для финансовых временных рядов основаны на построении различных индексов, расчете дисперсии, вариации, ковариации, интерполяции, экстраполяции. Фондовые индексы (такие как индекс Доу-Джонса, РТС) являются самыми популярными обобщающими показателями динамики и текущего состояния рынка.

Экспериментальные методы прогнозирования заключаются в имитации на ЭВМ различных состояний системы ФВР

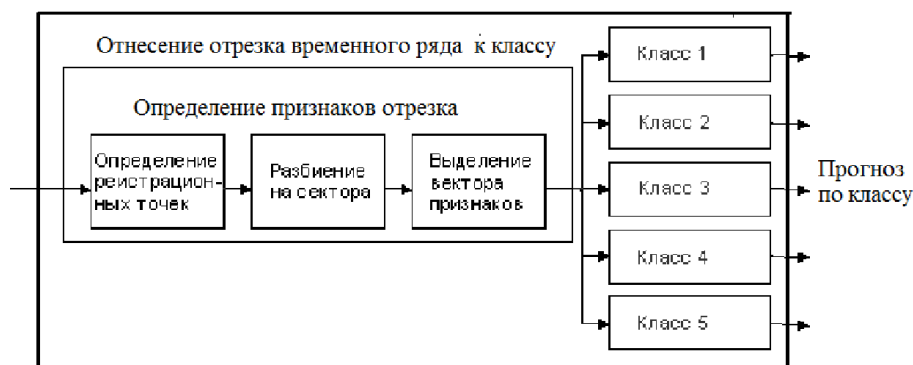
Фактографический метод основан на анализе публикуемых сведений об объекте в средствах массовой информации.

Нейросетевые методы для прогнозирования ФВР. Нейронные сети можно отнести к методам технического анализа, так как они тоже пытаются выявить закономерности в развитие ряда, обучаясь на его исторических данных.

Необходимо, понимать, что успеха при прогнозировании ФВР может добиться участник торгов, который лучше подготовлен, больше знает методов прогнозирования, умеет успешно применять их на практике.

Алгоритмическое прогнозирование финансовых временных рядов.

Алгоритмическое прогнозирование ФВР является техническим методом прогнозирования, под которым понимаем прогнозирование по реальному финансовому временному ряду. Алгоритмическое прогнозирование финансовых временных рядов проходит в четыре стадии: 1) запись - физический или поведенческий образец запоминается системой; 2) выделение - уникальная информация выносится из образца и составляется алгоритмический образец; 3) сравнение - сохраненный образец сравнивается с представленным; 4) совпадение/несовпадение - система решает, совпадают ли алгоритмические образцы, и выносит решение согласно имеющемуся алгоритму идентификации. Блок-схема алгоритмической идентификации и прогнозирования показана ниже.



Для образования классов при алгоритмическом прогнозировании ФВР используется следующая методика. Специфически повторяющиеся участки финансовых временных рядов будем называть паттернами или векторами. Эти повторяющиеся участки являются участками самоподобия и траекториями, порождающими в фазовом пространстве аттракторы ФВР. Можно рассматривать финансовые временные ряды как случайный временной ряд и использовать для его анализа теорему Такенса [1].

Для экспериментального исследования финансовых временных рядов следует первоначально найти тренд ФВР $V(t)$ и далее осциллятор ФВР, равный

$$\Delta U(t_k) = U(t_k) - V(t_k),$$

где $t_k = k\Delta t$; ($k = 1, \dots, n$); Δt - шаг ФВР по времени. Тренд ФВР может быть рассчитан по любому методу, например по методу сглаживания. Далее следует выбрать участок $(t_0, t_0 + T)$ ФВР и реализовать его движение по оси времени. Участок ФВР, содержащий m точек в интервале $(t_0, t_0 + T)$ выбирается на конце финансового временного ряда, то есть находится в интервале $(t_0 + T)$ $T = t_n$, где координата t_n - максимальное значение времени. Далее разбиваем данный ФВР на участки $(n\Delta t, n\Delta t + T)$. Производим образование массивов точек финансового временного ряда.

$U_k(n \cdot \Delta t, n \cdot \Delta t + T)$. Таким образом создаются алгоритмические образы отрезков финансового временного ряда $U(n \cdot \Delta t, n \cdot \Delta t + m)$.

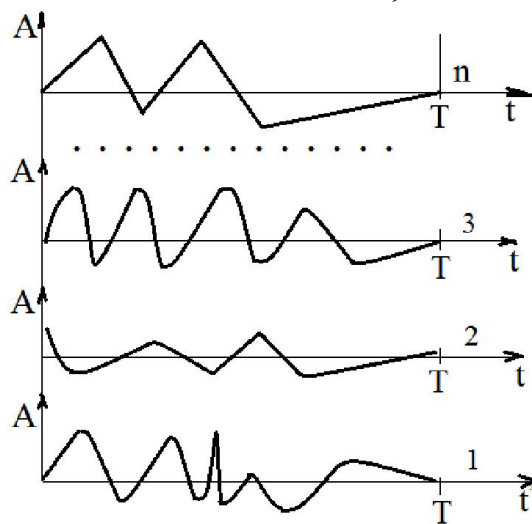
Сравниваем попарно полученные образы с последним отрезком временного ряда, содержащим m точек в интервале $(t_0, t_0 + T)$. Для сравнения используем функционал

$$\sigma = \sqrt{\sum_{k=1}^m (U(k\Delta t) - U(k\Delta t + l\Delta t))^2} \quad (k = 1, \dots, m).$$

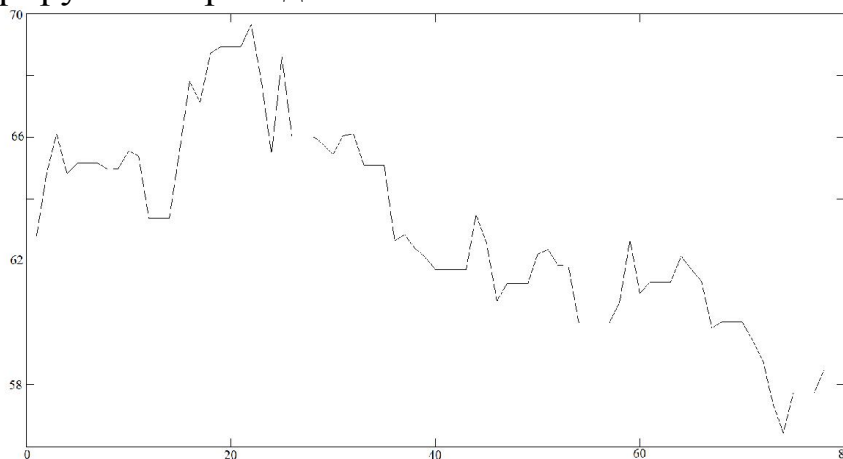
Находим алгоритмический образ отрезка ФВР среди всех созданных, близкий участку ФВР, содержащему m точек в интервале $(t_0, t_0 + T)$ на конце ФВР. По этому известному алгоритмическому образу находим точки ФВР, следующие за этим алгоритмическим образом. Эти точки

будем считать прогнозными для точек в интервале $(t_0, t_0 + T)$ на конце финансового временного ряда.

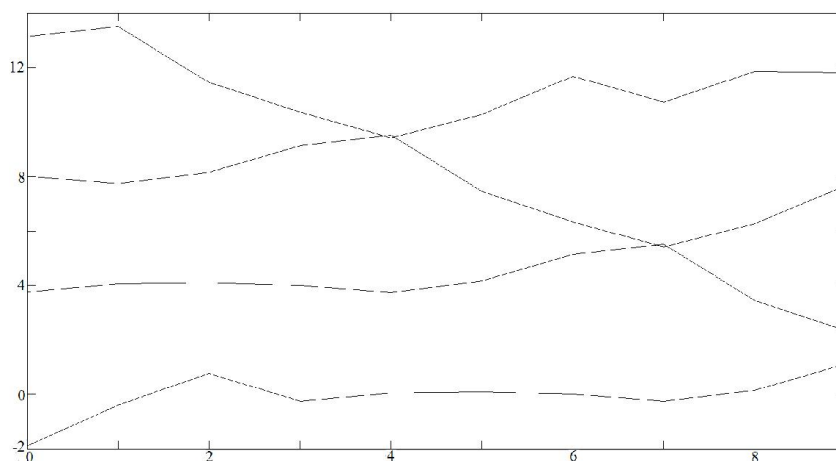
Дадим геометрическую иллюстрацию образования алгоритмических образов, используемых для сравнения с последним отрезком временного ряда и прогнозирования. Каждому интервалу $(k\Delta t, k\Delta t + T)$ соответствует свой отрезок ряда из всего финансового временного ряда. Для большей геометрической иллюстрации все эти частичные временные ряды можно расположить на оси времени с общим началом, как показано ниже.



Результаты прогнозирования ФВР - курса доллара в январе-марте 2015 г. иллюстрируются приведенным ниже ФВР.



Был проведен вычислительный эксперимент по построению алгоритмических образов, используемых для сравнения с последним отрезком ФВР и прогнозирования. Четыре алгоритмических образа, построенные по предыдущему ФВР с интервалом в три единицы по времени, приведены ниже.



Предлагаемый алгоритмический метод прогнозирования ФВР прошел предварительное испытание для прогнозирования курсов доллара и евро, а также курсов акций Газпрома и Норильского никеля и показал свою эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазуров М. Е. Идентификация математических моделей нелинейных динамических систем // М.: - Ижевск. РХД. 2008. 284 с.
2. Мазуров М.Е. О прогнозировании финансовых временных рядов с помощью метода самоорганизованной критичности // «Экономика, статистика и информатика». Вестник УМО. №3. 2014 С. 153-157.

САМОПОДОБИЕ МГНОВЕННОГО СЕРДЕЧНОГО РИТМА И ЕГО СКАТТЕРОГРАММЫ ПО ДАННЫМ ХОЛТЕРОВСКОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ

Кудинов А.Н.¹, Цветков В.П.¹, Иванов А.П.²

¹ Тверской государственный университет, ² Тверской областной кардиологический диспансер, г. Тверь
E-mail: tsvet@tversu.ru

На повестке дня сейчас остро стоит вопрос о необходимости создания и развития новых математических методов и подходов для анализа больших массивов данных, полученных в результате холтеровского мониторинга. Методом электрофизиологической инструментальной диагностики, позволяющим получить большой массив RR-интервалов с точностью ± 1 мс является холтеровское мониторирование (синоним суточное мониторирование ЭКГ). Предложен американским биофизиком Норманом Холтером. Исследование представляет собой непрерывную регистрацию электрокардиограммы в течение 24 часов и более (48, 72 часа, и даже до 7 суток).

Электрокардиография представляет собой метод графической регистрации разности потенциалов электрического поля сердца, которое возникает при его работе. Регистрация осуществляется при помощи специального аппарата, который называется электрокардиографом, а получаемая кривая называется электрокардиограммой (ЭКГ).

Особенности функционирования сердечно - сосудистой системы на основе изучения сердечного ритма привлекают внимание исследователей уже более 50 лет. Характеристики ритма сердца при его математической обработке оказались весьма значимы в диагностических и прогностических целях. Первые данные, полученные в институте медико - биологических проблем Р.М. Баевским [1], предложившим проводить кардиоинтервалографию - изучение длительностей последовательных кардиоциклов (RR-интервалов на ЭКГ), позволили дать характерные варианты нормы и патологии. В последующем метод исследования сердечного ритма получил свое развитие в разработанной методике анализа вариабельности сердечного ритма, для чего чаще применяются временной и спектральный математический анализы последовательных RR-интервалов. Однако результаты всех этих методов оказываются подчас весьма противоречивыми и их прогностическое значение становится сомнительным. Нельзя исключить, что ритм сердечной деятельности несет в себе целый ряд нераскрытых механизмов, что может быть предпосылкой к его дальнейшему изучению и этот аспект, на грани многих наук, является достаточно актуальным.

Одним из методов функциональной диагностики сердца является наблюдение за динамикой RR-интервалов. Наглядно RR-интервалы изображены на Рис.1.

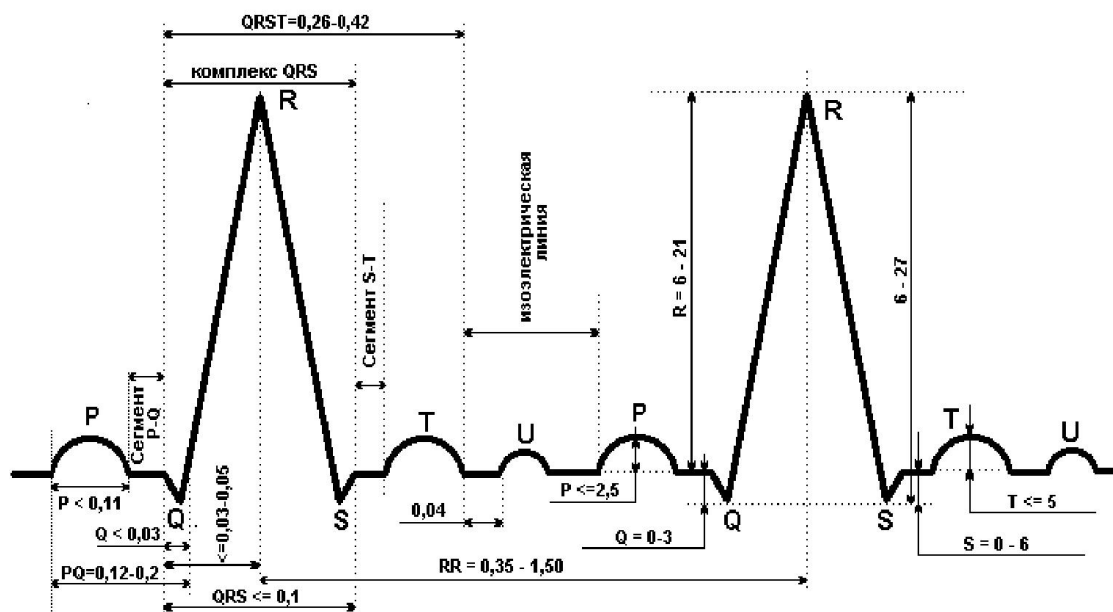


Рис.1. Зубцы и интервалы нормальной ЭКГ

Пусть i - номер текущего RR-интервала $i = 1, 2, \dots, n$. Число n является числом сердечных сокращений за время наблюдения T . Значение МСР на i -ом интервале согласно [2] равно $y_i = 60/T_{RRi}$. Пусть пику R-зубца соответствует момент времени t_i . Тогда $T_{RRi} = t_{i+1} - t_i$. Промежутки времени t_i приводятся в секундах, а мгновенный ритм y_i в минутах⁻¹. На всем промежутке времени $t_i \leq t \leq t_{i+1}$ кривая сердечного ритма $y(t)$ дается формулой:

$$y(t) = y_i + (y_{i+1} - y_i) \frac{t - t_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (1)$$

Из опыта кардиологов известно, что для функциональной диагностики сердечного ритма вполне достаточно наблюдение его в течение 60-90 секунд. Примерно на трех таких временных интервалах мы будем анализировать поведение МСР одного и того же пациента. Первый интервал оказался длительностью 71 сек. График МСР на этом интервале представлен на Рис.2.

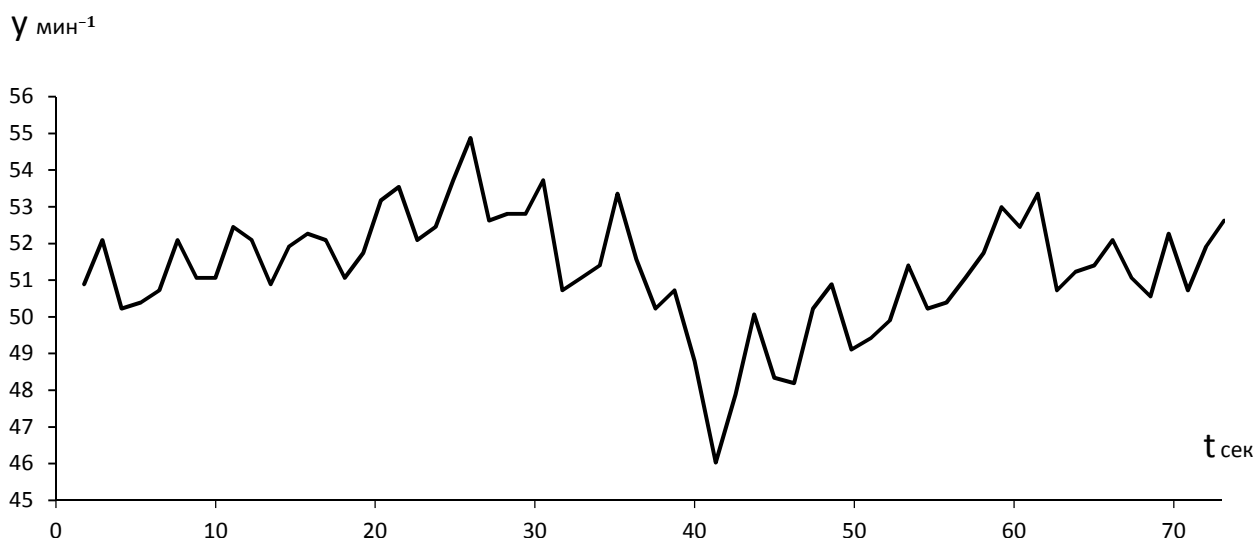


Рис.2. Пример кривой МСР $y(t)$.

В данном докладе мы дадим строгое обоснование фрактальности (самоподобия) опытных кривых МСР. В нем будут приведены конкретные временные интервалы T_k и вычислено значение фрактальной размерности D_k на них. Если кривая строго фрактальна, то зависимость её длины L_k от масштаба δ имеет строго степенной характер $L_k = L_0 \delta^{1-D_k}$. В дважды логарифмических координатах эта зависимость строго линейна. Реальные графики следуют ей только приближенно. Если уклонение опытных точек от средней прямой будет не более 10-15%, то обычно такую кривую вполне можно считать достаточно близкой к фрактальной (самоподобной).

Для вычисления фрактальной размерности \tilde{y} на каждом из выделенных нами промежутков будем использовать методику, основанную на зависимости безразмерных длин L мультифрактальных кривых от безразмерного временного масштаба δ :

$$L(\delta) = L_0 \delta^{1-D}, \quad (2)$$

где $L_0 = L(\delta = 1)$.

Для этого обезразмерим \tilde{y} и t разделив их на мин^{-1} и сек соответственно. Нами использовались для расчетов пять значений $\delta=1,2,3,4,5$ для которых вычислялись $L(1), L(2), L(3), L(4), L(5)$ с помощью программы [2]. В дважды логарифмических координатах зависимость $L(\delta)$ представлена на Рис.3.

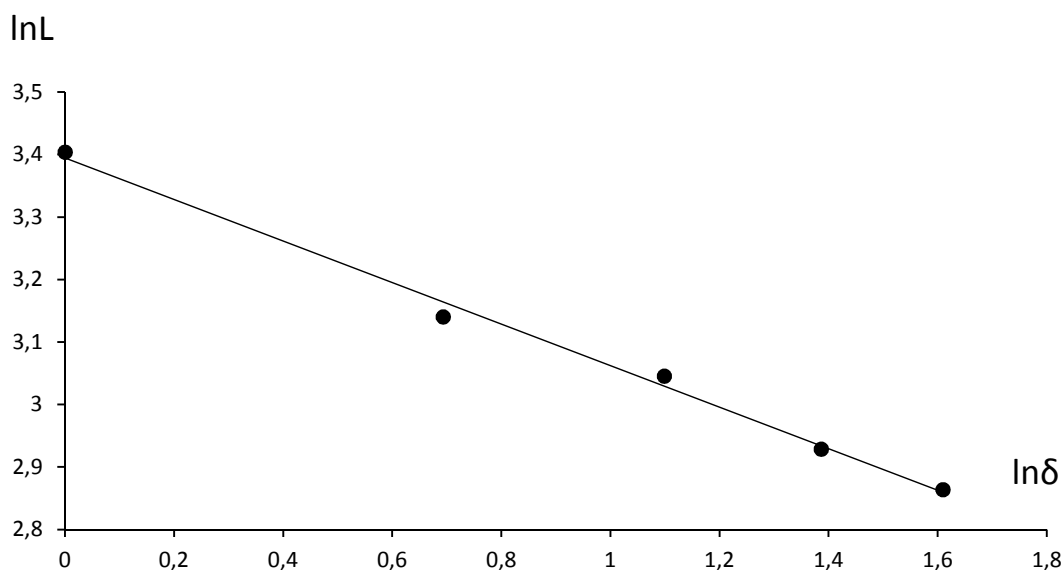


Рис.3.

Из (2) следует, что для фрактальных кривых:

$$\ln L = (1 - D) \ln \delta + \ln L_0 \quad (9)$$

Степень уклонения точек на Рис.3 от прямой и будет характеризовать близость МСР к фракталу. Для первого участка она составляет примерно 1%.

Аппроксимируем полученное множество точек Рис.3 отрезком прямой. Достоверность данной аппроксимации характеризуется величиной $R^2 = 0,9947$. Угловой коэффициент k этого отрезка позволяет найти $D_p = 1 - k$.

Одним из способов анализа variability сердечного ритма (ВСР) является оценка показателей скаттерограммы, построенной из последовательности RR-интервалов [3,4].

Сущность этого метода заключается в графическом отображении последовательных пар кардиоинтервалов (предыдущего и последующего) в двухмерной координатной плоскости. График и область точек,

полученных таким образом называется скаттерограммой. С помощью данного метода можно анализировать большой объем данных.

В отличие от [2] мы предлагаем анализировать ВСР с помощью скаттерограммы МСР. Нами в работах [3,4] уже исследовались фрактальные свойства скаттерограмм МСР.

Проведем анализ результатов мониторинга ЭКГ двух пациентов Тверского областного кардиологического диспансера с ранее установленным диагнозом ишемической болезни сердца. В первом случае имелась выраженная желудочковая экстрасистолия (274 в час при норме менее 6 в час) и 2 эпизода фибрилляции предсердий. При этом ишемия миокарда отсутствовала. Анализ ВСР выявил ее сохранность со сбалансированным соотношением высоко- и низкочастотного компонентов. Напротив, второй случай характеризовался отсутствием нарушений сердечного ритма, но здесь имела место выраженная ишемия миокарда (64 мин за сутки наблюдения). Необходимо подчеркнуть, что ее суточная продолжительность более 60 мин считается важным неблагоприятным прогностическим маркером развития сердечно - сосудистых событий, в том числе и инфаркта миокарда. Полученные результаты первого и второго пациентов представлены на Рис.4 и Рис.5, соответственно. На осях Рис.4 и Рис.5 y_i и y_{i+1} имеют размерность мин^{-1} . Количество элементов в исследуемых массивах порядка 65 тысяч.

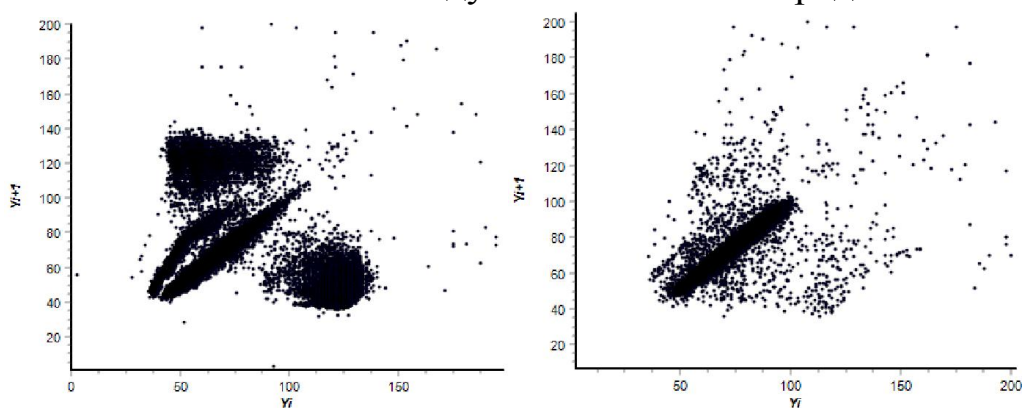


Рис.4. Скаттерограмма МСР 1-го пациента Рис.5. Скаттерограмма МСР 2-го пациента

Возникает вопрос о свойствах скаттерограмм, представленных на Рис.4 и Рис.5.

Отметим, что фракталы находят все большее и большее использование при обработке и анализе медицинских данных, например, рентгеновских снимков [5]. В ней показано, как на примере обработки медицинских рентгеновских изображений использованы подходы фрактальной фильтрации с целью увеличения контрастности изображений, выделения характерных областей; представлены практические результаты обработки конкретных медицинских рентгеновских изображений.

Одними из важнейших свойств, которым могут обладать данные множества – свойство симметрии и самоподобия или же фрактальности. Самоподобие – это свойства масштабной инвариантности при котором части данного множества подобны целому. Это свойство самоподобия положено в основу определения фракталов и часто используется в качестве определяющих их свойства. Основным свойством фрактального множества является значение его фрактальной размерности D , которое, как правило, является дробным и характеризует степень сложности структуры данного множества. Фрактал можно представить как объединение некоторого числа N непересекающихся подмножеств, полученных масштабирования оригинала с коэффициентом r . Тогда фрактальная размерность его равна: $D = \ln N / \ln(1/r)$.

Нами проведены вычисления зависимости $\ln N$ от $\ln \varepsilon$ на основе комплекса программ [3] для обработки массивов данных скаттерограмм МСР, приведенных на Рис.4 и Рис.5. Результаты представлены на Рис.6 и Рис.7.

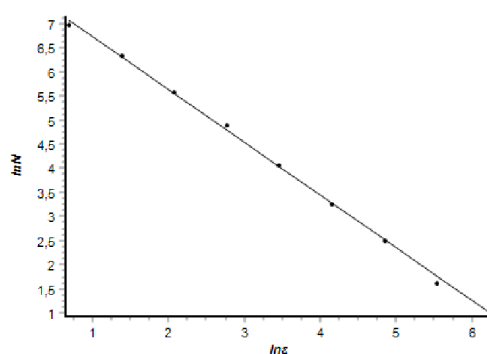
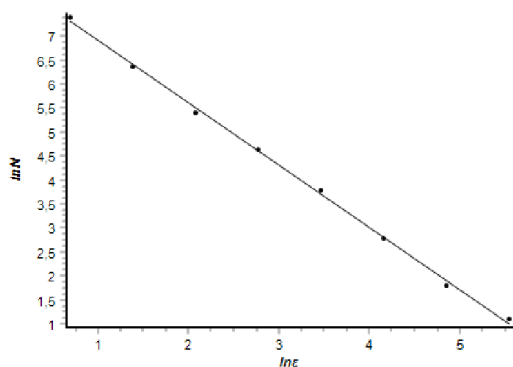


Рис.6. Зависимость $\ln N$ от $\ln \varepsilon$ для 1-го случая

Рис.7 Зависимость $\ln N$ от $\ln \varepsilon$ для 2-го случая

В случае точного фрактала зависимость $\ln N$ от $\ln \varepsilon$ имеет вид прямой, угловой коэффициент k которого связан с фрактальной размерностью соотношением $D = -k$. Из Рис.6 и Рис.7 видно, что зависимость $\ln N$ от $\ln \varepsilon$ является приближенно линейной. В связи с этим возникает вопрос о точности линейной аппроксимации, а, следовательно, насколько близки скаттерограммы к точным фрактальным множествам.

Вычисление значения R^2 позволяет оценить достоверность аппроксимации множества точек Рис.6 и Рис.7 прямой линией. Для множества точек на Рис.6 $R^2 = 0,9981$ и Рис.7 $R^2 = 0,9980$. Данные значения R^2 характеризуют очень высокую степень самоподобия скаттерограмм МСР. Данное свойство скаттерограмм позволяет надеяться на возможность использования в практической кардиологии.

Угловой коэффициент прямой на Рис.6. k оказался равным -1,298. Тогда значение фрактальной размерности множества точек

скаттерограммы МСР на Рис.4 \tilde{D} равно 1,298. Данный факт указывает на достаточно высокую степень хаотичности точек этой скаттерограммы.

Угловой коэффициент прямой на Рис.7. k оказался равным -1,094. Тогда значение фрактальной размерности множества точек скаттерограммы МСР на Рис.5 \tilde{D} равно 1,094. Это указывает на более низкую степень хаотичности точек данной скаттерограммы.

Используя нормировочную функцию $f_n(\tilde{D})$, получаем значения фрактальной размерности для первой и второй скаттерограмм МСР, соответственно, $D_1 = 1,326$ и $D_2 = 1,113$.

Предлагаемый нами метод вычисления фрактальной размерности скаттерограмм МСР с использованием нормировочной функции, полученной с помощью фрактальных решеток с переменной размерностью, позволяет существенно увеличить точность ее измерения, что очень важно при анализе и возможном использовании результатов анализа в кардиологической практике.

В настоящее время большое значение при обследовании больных придается поиску ранних признаков, указывающих на риск сердечно - сосудистых катастроф. Одним из методов такого прогнозирования является анализ ВСР, проводимый в том числе и при холтеровском мониторинге ЭКГ. Показателем неблагополучия в данном случае признается снижение общей мощности волн спектра. С другой стороны, при мониторинге ЭКГ регистрируются как аритмические, так и ишемические события, которые так же используются в риск - стратификации у кардиологических больных.

В настоящем исследовании при анализе 2 случаев мы не видели снижения общей мощности волн спектра. Однако в 1-м наблюдении имелась выраженная желудочковая аритмия, на фоне которой возможно развитие внезапной сердечной смерти. Напротив, 2-е наблюдение связано с существенным атеросклерозом сосудов сердца и их сужением, что в итоге с большой долей вероятности может привести к развитию инфаркта миокарда и так же способствовать риску сердечной смерти.

Вероятно, различие полученных скаттерограмм отражает различные механизмы патологического процесса в сердце, что требует дальнейшего более детального изучения.

Показанное нами с высокой точностью свойство самоподобия скаттерограммы МСР позволяет рассматривать её как фрактальное множество и, соответственно, применять к его изучению методы фрактального анализа. Несмотря на то, что в данной работе было приведено два случая, нами вышеуказанное свойство подтверждено на исследовании нескольких десятках скаттерограмм.

Для наглядности фрактальные, геометрические свойства скаттерограмм МСР и основные характеристики состояний сердечно-сосудистой системы даны в таблице 1.

Проведенное нами исследование указывает на существенное отличие значений фрактальной размерности скаттерограмм МСР для различных пациентов с различными симптомами заболеваний, что хорошо видно из данных Таблицы 1. Результаты наших исследований, несомненно, указывают на перспективность использования на практике этого параметра, как маркера состояний сердечно-сосудистой системы.

Таблица 1.

Номер пациента	Значение D	Геометрия скаттерограммы	Состояние сердечно-сосудистой системы
1	1,326	Многосвязное множество из 4-х областей. Асимметрия относительно диагонали.	Ишемическая болезнь сердца. Желудочковая аритмия. Желудочковая экстрасистолия (274 в час при норме менее 6 в час). Два эпизода фибрилляции предсердий. Ишемия миокарда отсутствует.
2	1,113	Односвязная область с невысокой степенью ассиметрии относительно диагонали	Отсутствует нарушение сердечного ритма. Атеросклероз сосудов сердца с их сужением. Ишемия миокарда (64 минуты за сутки наблюдения).

Нами был составлен и реализован новый алгоритм вычисления фрактальной размерности скаттерограммы мгновенного сердечного ритма (МСР). На его основе определена фрактальная размерность скаттерограмм МСР D двух конкретных пациентов и ее значения соответственно равны 1,326 и 1,113. Показано, что уклонение множества точек скаттерограмм от самоподобных фрактальных множеств составило менее 1 процента. Проведен анализ соответствия характеристик скаттерограммы МСР и состояния сердечно-сосудистой системы конкретных пациентов.

Проведенное исследование позволяет надеяться на использование фрактальных свойств скаттерограмм МСР, как маркера состояний сердечно-сосудистой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. // М., Медицина 1979. 205 с.
2. А.Н.Кудинов, Д.Ю.Лебедев, В.П.Цветков, И.В.Цветков. Математическая модель мультифрактальной динамики и анализ сердечных ритмов. // Математическое моделирование. 2014. Т. 26. №10. С. 127-136.
3. Лебедев Д.Ю., Иванов А.П., Рыжиков В.Н., Цветков В.П. Фрактальные свойства скаттерограммы мгновенного сердечного ритма. // Тезисы докладов международной молодежной конференции «Современные проблемы прикладной математики и информатики». (Дубна, 25-29 августа 2014 г). – Дубна: ОИЯИ, 2014. С. 89-92.
4. Кудинов А.Н., Лебедев Д.Ю., Иванов А.П., Рыжиков В.Н., Цветков В.П., Цветков И.В. Самоподобие скаттерограммы мгновенного мердечного ритма // Вестник Тверского Государственного Университета. Серия: Прикладная математика, №3. 2014
5. Герман В.А., Потапов А.А. Обработка медицинских рентгеновских изображений фрактальными методами // Нелинейный мир. 2011. №5. С. 275 - 279

СИНЕРГЕТИКА И ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ

В.Г. Буданов

д.филос. н., ведущий научный сотрудник Сектора междисциплинарных проблем научно-технического развития в Институте философии РАН, г. Москва

ХАОС В НАРОЧАНСКИХ ОЗЁРАХ

А.Б. Медвинский¹, Н.П. Радчикова²

¹Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия

*²Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка, Минск, Белоруссия
E-mail: medvinsky@iteb.ru*

Одним из главных направлений исследований, развиваемых в области теоретической экологии, является изучение роли нелинейности в процессах, определяющих те или иные режимы изменения во времени численности популяций. Однако эта роль до сих пор остаётся непрояснённой. Причина такого состояния дел заключается в том, что – существенно нелинейная – хаотическая динамика чрезвычайно редко обнаруживает себя в ходе полевых наблюдений. Попытки обнаружить хаос в динамике природных, а не модельных, популяций привели

исследователей к выводу о том, что подавляющее большинство популяций обитает на границе между хаотической и регулярной динамикой, т.е. на краю хаоса (см., например, Turchin, 2003).

В данной работе мы демонстрируем, что хаос может рассматриваться как собственный динамический режим функционирования популяций; хаотические режимы при этом могут возникать вдали от края хаоса. Действительно, проведенная нами математическая обработка результатов полевых наблюдений над нерегулярными колебаниями численности фитопланктона в Нарочанских озёрах (Белоруссия) позволила выявить хаос с горизонтом предсказуемости, равным $\sim 2,5$ месяцам и с соответствующим доминантным показателем Ляпунова, примерно равным 0,4, т.е. лежащим вне той узкой полосы значений этого показателя: от -0,1 до +0,1, – которая характерна для функционирования популяций на краю хаоса (Turchin, 2003).

Кроме того, результаты проведенного нами анализа данных полевых наблюдений показывают, что численные значения энтропии Реньи второго порядка, которые характерны для колебаний численности фитопланктона, существенно превышают численные значения соответствующих доминантных показателей Ляпунова. Это означает, что динамика фитопланктона в Нарочанских озёрах характеризуется по меньшей мере двумя степенями свободы, а, следовательно, для описания нерегулярных изменений численности фитопланктона требуется четырёх- или более размерное фазовое пространство. Таким образом, межвидовые взаимодействия, охватывающие, по крайней мере, четыре трофических уровня (например, фитопланктон – зоопланктон – мирная рыба – хищная рыба), могут вносить существенный вклад в возникновение хаотических режимов вдали от границы хаоса.

Авторы благодарны сотрудникам Белорусского государственного университета: Б.В. Адамовичу, Т.В. Жуковой, Е.В. Лукьяновой, Т.М. Михеевой, – предоставивших результаты своих многолетних наблюдений над колебаниями численности планктона в Нарочанских озёрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Turchin P. (2003). *Complex Population Dynamics: A Theoretical/Empirical Synthesis*. Princeton University, Princeton.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ И ХАОС

С.В. Сидоров

Московская государственная академия водного транспорта, Москва,
Россия

E-mail: *sidorovsv@mail.ru*

В работе рассматривается взаимосвязь нелинейных бегущих, в том числе уединенных волн в диссипативных системах с динамическим хаосом. Появление хаотических режимов в системах, моделирующих нелинейные волны, отмечалось уже неоднократно (см., например, [1]), однако из-за отсутствия понимания механизма образования динамического хаоса в нелинейных системах вопрос о взаимосвязи этих явлений долгое время оставался открытым.

Систематическое изучение математических моделей, имеющих решения в форме бегущей волны в активных средах, началось с 30-х годов прошлого столетия и связано с работами наших соотечественников [2, 3]. В указанных работах впервые были получены решения уравнения типа реакция-диффузия с квадратичной в [2] и кубической в [3] нелинейностью по одной переменной. Возбуждаемая динамика таких моделей обусловлена особым расположением изоклин системы дифференциальных уравнений в фазовом пространстве, что позволяет получать решения в виде бегущих волн переключения или в виде бегущих импульсов.

В настоящее время в качестве базовой математической модели возбудимой среды принята система уравнений в частных производных

$$\begin{aligned}u_t &= Du_{xx} + f(u, v), \\v_t &= \varepsilon g(u, v),\end{aligned}\tag{1}$$

где D – коэффициент диффузии, ε – малый параметр, $f(u, v)$ и $g(u, v)$ – нелинейные в общем случае полиномиальные функции среды.

Широко распространенный способ исследования системы вида (1) состоит в переходе от уравнений в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), к так называемой автомодельной задаче. В предположении, что решение системы (1) имеет вид бегущей волны

$$u(x, t) = \tilde{u}(x - ct) \quad v(x, t) = \tilde{v}(x - ct),\tag{2}$$

можно перейти от двух переменных x и t к одной переменной $\xi = x - ct$. В этом случае уравнения в частных производных преобразуются в систему ОДУ относительно независимой переменной ξ

$$D \frac{d^2 u}{d\xi^2} + c \frac{du}{d\xi} + f(u, v) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dv}{d\xi} + \frac{\varepsilon}{c} g(u, v) = 0.$$

При этом пространственно однородные состояния системы (1) переходят в особые точки в системе (2), уединенные бегущие волны отображаются в гомоклинические петли сепаратрис особых точек, а решения в виде бегущих волн – в периодические решения системы (2). Как правило, периодические решения в нелинейной диссипативной системе представлены предельным циклами, с которыми неразрывно связано образование хаотических аттракторов. Заметим, что в нелинейной системе, имеющей размерность фазового пространства более трех, могут иметь место квазипериодические решения, представленные инвариантными торами.

Согласно установленному единому механизму образования динамического хаоса в нелинейной диссипативной системе [4] началом является каскад бифуркаций удвоения периода предельных циклов, который завершается простейшим сингулярным (хаотическим) аттрактором – аттрактором Фейгенбаума. Более сложную структуру аттрактора создает субгармонический каскад бифуркаций рождения устойчивых циклов, кратность периода которых определяется порядком Шарковского. Дальнейшее усложнение хаотических аттракторов идет через гомоклинический каскад бифуркаций рождения устойчивых предельных циклов, сходящихся к гомоклическому контуру – петле сепаратрисы особой точки.

Отметим, что в динамических нелинейных системах, решениями которых в фазовом пространстве являются двумерные инвариантные торы, сценарий перехода к хаосу может включать бифуркации этих торов, представленных топологическим произведением двух предельных циклов. В этом случае механизм образования хаотических аттракторов осуществляется через те же, указанные выше каскады бифуркаций, связанные, по крайней мере, с одним из предельных циклов, входящих топологическое произведение тора [5].

При переходе к переменной ξ в системе (2) появляется дополнительный, неизвестный заранее параметр c – скорость волны. Решение в виде уединенной волны может иметь место только при выполнении в системе (2) следующих условий: $\tilde{u} \rightarrow \tilde{u}_0$ и $\tilde{v} \rightarrow \tilde{v}_0$ при $\xi \rightarrow \pm \infty$, где $(\tilde{u}_0, \tilde{v}_0)$ – однородное стационарное состояние системы (2). Наличие такого решения означает существование петли сепаратрисы особой точки $(\tilde{u}_0, \tilde{v}_0)$, что возможно лишь при определенном значении параметра $c = c_0$ в системе (2), т.е. скорость уединенного импульса

находится из решения нелинейной задачи на собственное значение. Решение подобной задачи было получено нами в [6].

Заметим, что бифуркационным параметром в системе (2) может служить величина скорости c распространения бегущей волны. Поэтому различным значениям этого параметра соответствуют различные периодические решения системы (2) и, естественно, разный вид бегущей волны. В частности, при определенных значениях скорости $c = c^*$ этих волн решениям системы (2) отвечают хаотические аттракторы – такие состояния системы (2), при которых в узкой области фазового пространства сосредоточено бесконечно большое число предельных циклов различного периода. В этом случае под влиянием флуктуаций траектория системы (2) перескакивает с одного цикла на другой, не выходя за пределы аттрактора. В результате при значениях скорости c равных или близких c^* форма бегущей волны не остается постоянной, а флуктуирует случайным образом, оставаясь близкой к форме волны, соответствующей исходному предельному циклу.

Несколько более сложным выглядит механизм образования бегущих волн в осциллирующей среде, представленной либо сетью связанных между собой колебательных элементов, либо распределенной средой, где отдельные физически малые элементы обладают автоколебательными свойствами. Очевидно, что в таких средах при $\xi \rightarrow \pm \infty$ решение $(\tilde{u}_0, \tilde{v}_0)$ не является однородным стационарным состоянием.

Весьма распространенной моделью при описании осциллирующей активной среды является нестационарное обобщенное уравнение Гинзбурга-Ландау [7], которое в одномерном случае, соответствующем плоской волне, имеет вид

$$W_t(x, t) = aW(x, t) + dW_{xx} - bW(x, t)|W(x, t)|^2, \quad (3)$$

где $W(x, t) = u(x, t) + iv(x, t)$ – комплекснозначная функция, $a = a_1 + ia_2$, $d = d_1 + id_2$, $b = b_1 + ib_2$ - комплексные коэффициенты. В частности, обобщением уравнения (3) с учетом переноса является модель открытых течений в каналах [8].

При использовании автоволнового приближения уравнения вида (3) сводятся к системе четырех ОДУ первого порядка. Нами показано, что в этом случае предельный цикл в системе ОДУ отвечает однородному по пространству и периодическому по времени решению уравнения (3) и характеризует автоколебательные свойства осциллирующей среды. Появлению бегущих волн соответствует решение, которое появляется при потере устойчивости этого предельного цикла и рождению двумерного инвариантного тора, представленного топологическим произведением

исходного (внутреннего) цикла и вторичного (внешнего) цикла, образовавшегося в результате бифуркации Андронова. При дальнейшем изменении бифуркационного параметра, например, скорости c бегущей волны, имеют место указанные выше каскады бифуркаций вторичного цикла. Эти бифуркации последовательно приводят сначала к появлению хаотического аттрактора Фейгенбаума на двумерном инвариантном торе, затем к субгармоническому хаотическому аттрактору и, наконец, к гомоклиническому каскаду бифуркаций рождения циклов, сходящихся к петле сепаратрисы на исходном внутреннем цикле тора. Последнее решение отвечает уединенной волне в осциллирующей среде. А все бесконечное множество решений в виде инвариантных торов, представленных топологическим произведением исходного (внутреннего) предельного цикла на внешние (вторичные) циклы различного периода с кратностью согласно порядку Шарковского, дает бесконечное множество решений в виде бегущих волн в осциллирующей среде.

Таким образом, динамический хаос в нелинейных системах, моделирующих бегущие волны в активной среде, является не каким-то исключительным, уникальным событием, а скорее типичным явлением, отражающим синергетику образования бегущих волн в нелинейной активной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инфельд Э., Роуландс Дж. Нелинейные волны, солитоны и хаос. – пер. с англ. Под ред. Е.А. Кузнецова – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 400 с.
2. Колмогоров А.Н., Петровский И.Г., Пискунов Н.С. Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием количества вещества, и его применение к одной биологической проблеме // Бюл. МГУ. Сек. А. 1937. Т. 1. Вып. 6. С. 1-26.
3. Зельдович Я.Б., Франк-Каменецкий Д.А. Теория теплового распространения пламени // Ж. физ. химии. 1938. Т. 12. Вып. 1. С. 100-105.
4. Magnitskii N. A., Sidorov S.V. New Methods for Chaotic Dynamics. – Singapore: World Scientific, 2006, 363 p.
5. Сидоров С.В. О механизме перехода к диффузионному хаосу. // Первая международная конференция "Системный анализ и информационные технологии" САИТ-2005 (12-16 сентября 2005 г., Переславль-Залесский, Россия): Труды конференции. В 2 т. Т. 1. – М.: КомКнига, 2005. С. 124 - 129.
6. Магницкий Н.А., Сидоров С.В. О нахождении гомоклинических и гетероклинических контуров особых точек нелинейных систем

обыкновенных дифференциальных уравнений. // Дифференциальные уравнения, 2003, т. 39, № 11, с. 1511-1520.

7. Скотт Э. Нелинейная наука: рождение и развитие когерентных структур. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 560 с.

8. Deissler R.J. Turbulent bursts, spots and slugs in a generalized Ginzburg-Landau equation. // Phys. Lett. A. – 1987. – V.120, \No 7. – P. 334-340.

ЕВРАЗИЙСКОЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СООБЩЕСТВО КАК СОВОКУПНОСТЬ СЛОЖНЫХ СУБЪЕКТ-ОБЪЕКТНЫХ СИСТЕМ (К ПРОБЛЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНОСТЬЮ)

В.Э. Войцехович

Тверской государственный университет, Тверь, Россия

E-mail: p000327@tversu.ru

*Работа подготовлена при поддержке РГНФ. Проект № 14-23-01013.
«Философско-методологические основания и специфика
социогуманитарного проектирования инновационных инфраструктур на
Евразийском пространстве».*

Аннотация

Существуют различные уровни сложности субъект-объектных систем. Уровни сложности определяются уровнем «разума» системы, что математически можно выразить как мощность множества. Каждый уровень сложности требует специфических методов управления.

Евразийское экономическое сообщество (ЕАЭС) – сверхсложная система, совокупность сложных система, включающая в себя множество субъектов (и их групп), объектов, подсистем, элементов, сетей, сред, действующих и функционирующих на определённом фоне.

Возможно ли эффективное управление столь сложной системой? Всегда ли классическая схема управления $S \rightarrow O$ даст необходимый результат? Могут ли проявиться значимые отрицательные последствия при управлении по классической схеме? Возможна ли классификация систем по уровню сложности? Какие методы необходимы для управления (ведения) сложными системами?

Эти и подобные вопросы возникают при создании всё более крупномасштабных, «больших» систем, характерных для современной эпохи - эпохи формирования планетарных объединений в политике, экономике, экологии, технике, технологии, науке, идеологии.

Для ответов на поставленные вопросы необходимо дать определения 1) системы, сети, среды, фона, 2) простой и сложной систем, границы понимания системы, 3) ввести уровни сложности систем и т.п.

Определения. Система – единство элементов и их отношений (структуры). Сеть – совокупность линий связи между элементами, линий, расположенных в пространстве. Среда – континуум, область непрерывной субстанции, в которую погружены система, вещь, предмет, сеть. Именно среды характерны для сложных субъект-объектных систем [1]. Фон – область сознания-бытия, в которой находится, рассматривается предмет исследования.

Простая и сложная системы. В современной культуре простая вещь – значит понятная человеку, обладающая малым количеством элементов с устойчивыми связями, легко управляемая вещь. Сложное ассоциируется со «сложенное», «со-ложное», лежащее (на поверхности, потому кажущееся, обманное, ложное), непонятое (недоступное для понимания данного субъекта). Поэтому сложная вещь – значит непонятная вещь, обладающая большим количеством элементов с быстро меняющимися связями, управляемая с трудом вещь [2].

Граница между простыми и сложными системами неопределённая, поэтому в целях более точного определения границ, введём условные определения. Под системой будем понимать кортеж (набор) $\{S, M, O\}$, где S – субъект управления, M – методы управления (способы), O – объект. Назовём **простой системой** такую, в которой 1) субъект S способен построить изоморфную модель объекта O в собственном внутреннем мире (сознании), а главное 2) методы воздействия S на O достигают цели в 50% (и более) случаев (цель достигается с вероятностью $\frac{1}{2}$ и более). Соответственно **сложной системой** назовём такую, в которой 1) сложность S недостаточна для построения изоморфной модели O (возникает не более чем гомоморфная модель), а главное 2) цель управления достигается с вероятностью менее $\frac{1}{2}$ [3].

Граница между простой и сложной системами необходима для введения отличия между эффективным и неэффективным управлением. Управление – целенаправленная деятельность, корректирующая поведение управляемого объекта посредством системы обратных связей. Эффективность управления определяется качеством этих связей. В чём проблема познания и управления сложной системой? Она состоит в том, что сложность возникает тогда, когда у субъекта недостаточны способности и знания, а потому он не способен эффективно управлять объектом. Если же субъект S в процессе познания O развился, открыл новые методы познания, тогда первоначально сложный O становится для S простым. Сложное превращается в простое.

Пример из практики. Проблемы функционирования и управления крупномасштабной системой (например, отраслью промышленности) сводятся тому, чтобы отрасль выполняла внешние функции. Внутренние

вопросы отрасли менее важны. Главное - выполнение функций отрасли как элемента в стабильном государстве. В таких условиях внутренние перестройки допустимы и даже желательны, если они улучшают функционирование отрасли, т.е. выполнение внешних функций [4].

Отсюда возникает возможность такого управления O , при котором O внутренне перестраивается и частично изменяет внутреннюю структуру. Перестройка O увеличивает хаос внутри системы. Этим хаотическим процессом и необходимо управлять (точнее направлять, вести). Это и называют «управлением через хаос» [5]. Поэтому процесс управления сложной системой, уровень сложности которой сравним со сложностью субъекта управления, - это процесс **ведения** систем (куда входит и «мягкое управление», и «управление через хаос»). Субъект время от времени вводит импульсы информации, которые «подправляют» функционирование системы и возможные отклонения от выполнения необходимых функций.

Между простой и сложной системами находится целый класс систем с промежуточной сложностью.

В целом же сложность систем C (от complexity) можно классифицировать по критерию мощности («количеству» состояний системы в субъект-объектном пространстве).

Каковы уровни сложности систем? Самая простая - это конечная система без субъекта. За нею идут системы с субъектом (и полисубъектные системы). Как только появляется человек, тотчас в системе возникает бесконечное «количество» состояний, когда, мощность множества состояний превышает мощность натурального ряда.

Простой автомат (тривиальная машина без субъекта) работает по однозначной схеме $F(x_t) = y_t$. Он существует в ограниченной области пространства-времени R^3T^1 . Поскольку воздействия S дискретны, число состояний и сложность (обозначим её C) конечны: $C \sim n$.

Следующие уровни сложности определяются наличием субъектов в системе. По мере усложнения системы, она постепенно превращается в сеть, переходящую в среду. Среда в данном случае есть непрерывная субстанция, наполненная вкраплениями отдельных субъектов. Именно они, точнее наиболее развитые из субъектов, входящих в объект O , и задают меру сложности объекта в целом.

Какова степень сложности субъекта? Она определяется уровнем «разумности» субъекта (человека или машины с искусственным интеллектом («разумом»), подобным интеллекту человека). Уровни же разумности определяются способностью решать задачи, что зависят от творческих способностей (интуиции) и интеллекта (логики). Метафорически: Разум = интуиция + логика.

Одним из надёжных способов измерения разума является способность понимания мощности того или иного математического объекта как множества: натурального ряда, множества непрерывных функций, множества всех возможных функций (непрерывных и дискретных (разрывных)) и т.д.

Почему мощность множества может быть критерием измерения сложности? – Потому что 1) большинство людей воспринимает мир как набор конечных объектов («растущее конечное», или потенциальная бесконечность), т.е. их актуальная сложность конечна $C \sim n$; 2) малая часть людей способна понимать актуальную бесконечность (натуральный ряд как целое), т.е. их сложность $C \sim \aleph_0$ (алеф-нуль, или алеф-0); большинство не способно к этому (уровень разума остаётся на уровне конечного n), 3) совершенно незначительная часть людей способна к интеллектуальному пониманию следующего по порядку кардинального числа, которое обозначается \aleph_1 , т.е. их сложность $C \sim \aleph_1$, и т.д.

Таким образом, сложность управляемой системы, включающей человека или группы людей, сводится к уровню разума наиболее развитых из них, а последняя к мощности множеств, понимаемых человеком: $n, \aleph_0, \aleph_1, \dots$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лепский В.Е. Философия управления и развития в контексте научной рациональности (субъектно-ориентированный подход) // Философия управления : проблемы и стратегии. М., 2010. С. 134 – 166.
2. Войцехович В.Э. Проблема сложности в постнеклассической науке // Теория и практика общественного развития 2012. № 4 Философские науки. С. 17-19.
3. Войцехович В.Э. Принципы ведения сложных саморазвивающихся систем на основе управляемого хаоса // «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2014)»: Сборник научных трудов / под общ. ред. С.Н.Васильева, А.Д.Цвиркуна; Ин-т проблем управления им. В.А.Трапезникова Рос. акад. наук. – М.: ИПУ РАН, 2014. С. 414-421.
4. Реут Д.В. Крупномасштабные системы: методология, управление, контроллинг. М., 2013. - 182 с.
5. Mann S.R. The Reaction to Chaos // Complexity, Global Politics, and National Security. Edited by David S. Alberts and Thomas J. Czerwinski. National Defense University Washington, D.C. 1998. P. 62 – 68.

**О ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЯХ ДИНАМИКИ
РАЗВИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ**

Ю.М. Апонин, Е.А. Апонина

Институт математических проблем биологии РАН, Пущино, Россия

E-mail: yma@impb.psn.ru

1. Введение. Существеннейшим свойством окружающего нас мира является то, что он «соткан» из относительно обособленных подсистем, которые с течением времени изменяются и представляют собой динамические системы. В последней трети 20-го века в истории математического моделирования динамических систем произошли значительные перемены. В связи с интенсивным развитием вычислительной техники и соответствующего математического обеспечения оказалось возможным решение трудных задач при помощи ЭВМ, в том числе и задач моделирования широкого класса сложных развивающихся систем [1]. Вместе с тем всё более очевидной становится потребность в разработке сравнительно простых моделей развивающихся систем на основе теории обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Аналитический аппарат качественной теории ОДУ, теории устойчивости и бифуркаций позволяет строить базовые модели динамики развивающихся систем, поддающиеся глубокому аналитическому исследованию с последующим применением ЭВМ для контрольных и доказательных вычислений.

2. Дифференциальные уравнения динамики развивающихся систем. Отличительная особенность развивающейся динамической системы состоит в существовании структуры (иерархии) на совокупности переменных, определяющих её состояние. В простейшем случае эта структура сводится к разбиению совокупности переменных на две группы: переменные структуры (структурные переменные) и макропеременные. Структурные переменные x_1, \dots, x_n характеризуют структуру системы, состояние её развития и состояние окружающей её среды. Макропеременные X_1, \dots, X_m представляют собой интегральные показатели состояния роста системы. Обычно выполняется неравенство $m \ll n$.

Далее мы рассмотрим обобщённую модель развивающейся системы с единственной макропеременной X . Система ОДУ модели имеет следующий вид

$$\begin{cases} \dot{x} = F(x, X) \\ \dot{X} = XW(x, X) \end{cases} \quad (x, X) \in U, \quad (1)$$

где x – вектор-столбец структурных переменных:
 $x = \text{col}(x_1, \dots, x_n) \in R^n$,

$$U - \text{открытое множество в } R^n \times R, \quad \emptyset \neq U \subseteq R^n \times R_{++}. \quad (2)$$

Здесь R – множество вещественных чисел, $R_{++} = \{\lambda \in R | \lambda > 0\}$. Вектор-функция

$$F(x, X) = \text{col}(F_1(x, X), \dots, F_n(x, X)) \quad (3)$$

и скалярная функция $W(x, X)$ предполагаются непрерывными в открытом множестве U :

$$F(x, X) \in C^0(U, R^n), \quad W(x, X) \in C^0(U, R). \quad (4)$$

Скалярную функцию $W(x, X)$ будем называть удельной скоростью роста системы (точнее макропеременной X). В динамической теории биологических популяций эту функцию называют приспособленностью популяции с общей численностью X , см. [2].

3. Каноническая форма дифференциальных уравнений развивающихся систем. Далее нам понадобится отображение в себя полупространства $R^n \times R_{++}$ пространства $R^n \times R$ $\varphi: R^n \times R_{++} \rightarrow R^n \times R_{++}$, определённое формулой

$$\varphi(x, X) = (Ax / X, X) \text{ при всех } (x, X) \in R^n \times R_{++}, \quad (5)$$

где A – вещественная $(n \times n)$ - матрица, причём

$$\det A \neq 0. \quad (6)$$

Предложение. Отображение (5) представляет собой аналитический диффеоморфизм на себя полупространства $R^n \times R_{++}$. Обратное отображение $\varphi^{-1}: R^n \times R_{++} \rightarrow R^n \times R_{++}$ устроено так

$$\varphi^{-1}(v, X) = (A^{-1}vX, X) \text{ при всех } (v, X) \in R^n \times R_{++}. \quad (7)$$

Кроме того, если выполнены условия (2) и

$$V = \varphi(U), \quad (8)$$

то $U = \varphi^{-1}(V)$ и истинны следующие утверждения:

$$V - \text{открытое множество в } R^n \times R, \quad \emptyset \neq V \subseteq R^n \times R_{++}. \quad (9)$$

Введём каноническую форму дифференциальных уравнений развивающихся систем (1):

$$\begin{cases} \dot{v} = f(v, X) - v\omega(v, X) \\ \dot{X} = X\omega(v, X). \end{cases} \quad (v, X) \in V = \varphi(U) \quad (10)$$

Здесь v понимается как вектор-столбец: $v = \text{col}(v_1, \dots, v_n) \in R^n$,

$$f(v, X) = A F(A^{-1}vX, X) / X \quad \text{при всех } (v, X) \in V, \quad (11)$$

$$\omega = W \circ \varphi^{-1}: V \rightarrow R. \quad (12)$$

Нетрудно видеть, что система (10) получается из исходной системы (1) заменой переменной $x = \text{col}(x_1, \dots, x_n)$ на переменную $v = \text{col}(v_1, \dots, v_n)$:

$$v = v(x, X) = Ax/X \quad \text{при всех} \quad (x, X) \in U. \quad (13)$$

4. Дифференциальные уравнения динамической теории биологических популяций. Системы ОДУ вида (1) широко используются при математическом моделировании динамики структуры и численности биологических популяций [2]. Предполагается, что популяция состоит из нескольких непересекающихся групп, каждая из которых включает в себя особей, одинаковых с точки зрения тех признаков, по которым производится разбиение на группы. При этом переменная x_α системы (1) интерпретируется как численность особей в группе α ($\alpha = \overline{1, n}$), а в качестве макропеременной X выбирается общая численность популяции

$$X = x_1 + \dots + x_n. \quad (14)$$

Тогда правая часть системы (1) должна удовлетворять следующему условию:

$$XW(x, X) = F_1(x, X) + \dots + F_n(x, X) \quad \text{при всех} \quad (x, X) \in U. \quad (15)$$

Кроме того, в динамической теории биологических популяций [2] переход от системы (1) к канонической форме (10) осуществляется заменой переменных (13) с единичной матрицей A :

$$A = E, \quad (16)$$

где E – единичная ($n \times n$)- матрица. Тогда условие (15) даёт

$$\omega(v, X) = f_1(v, X) + \dots + f_n(v, X) \quad \text{при всех} \quad (v, X) \in V, \quad (17)$$

где f_1, \dots, f_n – компоненты вектор-функции $f = \text{col}(f_1, \dots, f_n)$.

При сделанных предположениях система (10) рассматривается как основная система дифференциальных уравнений математической теории динамики биологических популяций, представленная в частотной форме (см. [2], стр. 75). Функции f_1, \dots, f_n называются функциями переходов, а функция ω – приспособленностью популяции (см. [2], стр. 410).

Первое уравнение системы (10) описывает динамику структуры популяции, а второе уравнение – динамику её роста. Зависимость функций переходов f_1, \dots, f_n от X отражает влияние общей численности популяции на динамику её структуры. Зависимость приспособленности популяции ω от частот v_1, \dots, v_n означает, что структура популяции влияет на динамику её численности (см. [2], стр. 75).

5. Условия независимости функций переходов и удельной скорости роста развивающейся системы от макропеременной X . Рассмотрим вновь обобщённую модель (1) развивающейся системы и её каноническую форму (10), не требуя обязательного выполнения допущений динамической теории популяций (15) и (16). Однако, следуя

терминологии этой теории, функцию $f(v, X)$ будем называть вектор-функцией переходов, но функцию $\omega(v, X)$ назовём удельной скоростью роста развивающейся системы.

Для приложений интерес представляет вопрос об отделимости уравнений динамики структуры развивающейся системы (т.е. уравнения для v в системе (10)) от уравнения динамики её роста (2-ое уравнение системы (10)). Такая отделимость возникает, например, если функции переходов f_1, \dots, f_n и удельная скорость роста ω не зависят от макропеременной X . Соответствующие частные случаи системы (10) встречаются во многих приложениях: в теории сбалансированного роста развивающихся систем, в популяционной генетике, в теории эволюции биологических макромолекул, в теории игр и др.

Вопрос о независимости вектор-функции переходов f от переменной X решает следующая простая

Теорема 1. Пусть выполнены условия (2), (4), (6), диффеоморфизм φ полупространства $R^n \times R_{++}$ на себя определён согласно (5) и $V = \varphi(U)$. При этих условиях вектор-функция переходов (11) не зависит от макропеременной X тогда и только тогда, когда истинно следующее утверждение:

$$\begin{cases} (\lambda x, \lambda X) \in U \rightarrow F(\lambda x, \lambda X) = \lambda F(x, X) \\ \text{при всех } (x, X) \in U, \lambda \in R. \end{cases} \quad (18)$$

Аналогичный вопрос о независимости от X удельной скорости роста ω разрешается следующей теоремой.

Теорема 2. При условиях теоремы 1 функция ω , см. (12), не зависит от X тогда и только тогда, когда истинно следующее утверждение:

$$\begin{cases} (\lambda x, \lambda X) \in U \rightarrow W(\lambda x, \lambda X) = W(x, X) \\ \text{при любых } (x, X) \in U, \lambda \in R. \end{cases} \quad (19)$$

Замечание. Пусть функции $F(x, X)$, $W(x, X)$ дифференцируемы в открытом множестве U . Тогда, применяя теорему Эйлера об однородных функциях, из (18), (19) для любой точки $(x, X) \in U$ получаем соответственно

$$F(x, X) \equiv (X\partial_X + x_1\partial_{x_1} + \dots + x_n\partial_{x_n})F(x, X), \quad (20)$$

$$(X\partial_X + x_1\partial_{x_1} + \dots + x_n\partial_{x_n})W(x, X) \equiv 0. \quad (21)$$

Тождества (20) и (21) представляют собой необходимые условия независимости от X функций переходов f_1, \dots, f_n и удельной скорости роста ω в канонической форме (10).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В.М. Моделирование развивающихся систем. М.: Наука, Главная редакция физ. – мат. литературы, 1983.
2. Гимельфарб А.А., Гинзбург Л.Р. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Ратнер В.А. Динамическая теория биологических популяций. М.: Наука, Главная редакция физ. – мат. литературы, 1974.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС С ОСОБЫМИ ТОЧКАМИ

Н.Н. Бутенина

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия
E-mail:n.n.butenina@mail.ru*

Рассмотрим систему дифференциальных неавтономных уравнений вида:

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -(a_1 + a_2 \cos(\omega t))x \end{cases} \quad (1)$$

Посмотрим на эту систему как на конкретного представителя управляемой динамической системы (УДС) [2-3], где управляющая функция $u(t)$ принимает значения на том же промежутке, что и $\cos(\omega t)$ (то есть $u(t) \in [-1, 1]$):

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -(a_1 + a_2 u(t))x \end{cases} \quad (2)$$

Исследование УДС начинается, как известно [2,3], с рассмотрения автономной системы

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -(a_1 + a_2 \mu)x \end{cases} \quad (3)$$

с параметром $\mu, \mu \in [-1, 1]$.

Рассмотрим системы

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -(a_1 - a_2)x \end{cases} \quad (4) \quad \begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -(a_1 + a_2)x \end{cases} \quad (5) \quad ,$$

полученные из (3), при $\mu = -1$ и при $\mu = 1$.

Особенность этих систем заключается в том, что, согласно теории УДС второго порядка [2], в любой точке фазовой плоскости (x, y) вектор $[\dot{x}, \dot{y}]$ системы (3) (если в данной точке он определен) при любых $\mu \in (-1, +1)$ лежит между векторами систем (4) и (5), которые ограничивают вращение векторного поля системы (3) при изменении параметра μ ,

$\mu \in [-1, +1]$. Следовательно, данные системы также ограничивают вращение векторного поля УДС (2) при изменении значений функции $u(t) \in [m, n]$, где $m = -1, n = +1$. Системы (4) и (5) будем называть граничными m - и n -системами (то есть системами, в которых параметр μ принимает одно из граничных значений заданного отрезка $[m, n]$, для УДС (2) соответственно. Задача построения фазового портрета УДС второго порядка является задачей построения областей управляемости, достижимости и полной управляемости для каждого особого интервала рассматриваемой УДС, а также исследования изменений указанных областей при изменениях границ особых интервалов. Границы областей управляемости, достижимости и полной управляемости могут состоять только из особых траекторий m - и n - систем (или дуг этих траекторий), особых точек (не любых видов [2]) m - и n - систем, а также особых траекторий μ - систем, являющихся продолжением сшитых кривых одностороннего пересечения в полуплоскостях F^+ и F^- [2].

Ниже приводятся результаты численных экспериментов (Рис.1-3) расчета характера поведения фазовых траекторий системы (1).

Рассмотрим сшитые траектории систем (1) и (2). Сшивание производится на контактной кривой $F = -a_2 xy = 0$. Контактная кривая представляет собой две пересекающиеся прямые $x = 0$ и $y = 0$, и делит плоскость на четыре квадранта: в первом и третьем $F < 0$, во втором и четвертом $F > 0$.

Рис.2 демонстрирует смену направления (“отскок”) при попадании изображающей точки в особую точку неавтономной системы, лежащую на оси Ox .

Одной из особых точек системы (1) всегда является изолированная точка $(0,0)$, а также точки:

$$\begin{cases} y = 0 \\ t_k = \pm \omega^{-1} (\arccos(-a_1 / a_2) + 2\pi k) \end{cases} \quad (6)$$

Изображающая точка в сечении фазового пространства будет через равные промежутки времени проходить через точки (x, y, t^*) плоскости x, y такие, что $\dot{y}(t^*) = 0$, а x, y - некоторые действительные числа.

Исследуем поведение траекторий системы (1) в окрестности особой точки неавтономной динамической системы. Из рис.2 видно, что дуга траектории, выходящая из начальной точки $(x_0, y_0, t_0) = (1, 0, 0)$, заканчивается в особой точке неавтономной системы.

Рассмотрим фазовую траекторию, выходящую из точки $(x_0, y_0, t_0) = (0, 413319711259283; 6, 23336442385713; 6, 50838)$, (случай, когда

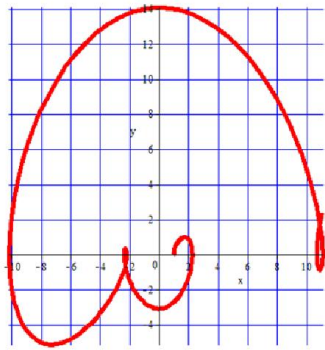


Рис.1

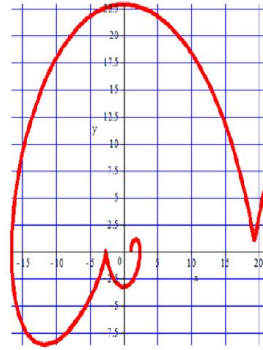


Рис.2

равенство $\cos(\omega t) = -a_1 / a_2$ (т.е. $\dot{y} = 0$) выполняется в момент времени, когда изображающая точка попадает на ось Ox . В этом случае в указанной точке не определен вектор $[\dot{x}, \dot{y}]$, и такая точка принадлежит смежным с ней траекториям системы).

Пусть $M_0 = (x_0, y_0, t_0)$ - особая точка неавтономной системы. Тогда M_0 недостижима за конечное время и соединяет две смежные траектории: при $t_1 < t < t_0$ одна траектория, а при $t_0 < t < t_2$ - другая. Само по себе явление отскока, изображенное на рис.3, является следствием того, что при переходе изображающей точки траектории через особую точку системы, меняется знак одной из компонент вектора скорости $[\dot{x}, \dot{y}]$. Для системы (1) при переходе через особую точку происходит смена знака \dot{y} (так как $(a_1 + a_2 \cos(\omega t))$ меняет знак). Из рис.3 видно, что множество точек N оси $y=0$ в данном случае есть множество особых точек исследуемой неавтономной системы семейства (6). Изображающая точка исследуемой системы с ростом t удаляется от начальной точки $(1, 0)$; при этом длина отрезка между двумя угловыми точками графика траектории (точками отскока) постоянно увеличивается. Нарастание размахов колебаний и удаление изображающей точки от начальной точки вызвано тем, что каждая новая дуга траектории, выходящая из сколь угодно малой окрестности особой точки неавтономной системы, выходит из нее под противоположным направлением относительно “входящей” траектории.

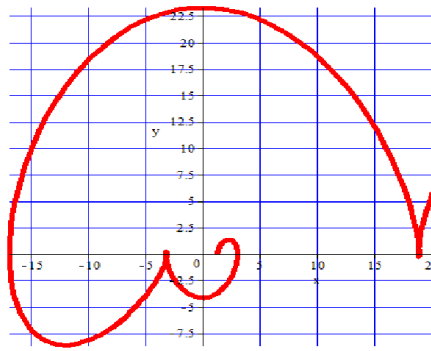


Рис.3

Следует также отметить высокую скорость роста размахов колебаний. Единицами измерения осей x и y на рис.3 становятся не 1, а 10^{12} (автоматический расчет программы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горяченко В.Д. Элементы теории колебаний. Красноярск.1995. 375с.
2. Бутенина Н.Н. Управляемость динамических систем /Н.Н. Бутенина, З.Г. Павлючонок, В.П. Савельев//Учебное пособие. Издательство Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 1997.75с.
3. Бутенина Н.Н. Применение методов качественной теории управляемых динамических систем к исследованию неавтономных дифференциальных уравнений / Н.Н Бутенина, В.С. Метрикин // Нелинейная динамика. – 2010. Т.6, №1. С. 143-150.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОЗИЦИЙ СЛОЖНОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

А.А. Гладких, Г.Г. Малинецкий

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

E-mail: andrei.gladkikh@phystech.edu

В работе рассматривается система дифференциальных уравнений, которая может производить сортировку чисел, поданных в качестве начальных условий на вход. Часть переменных инициализируется числами, которые нужно подвергнуть сортировке. Числа изменяются с ростом времени t .

Основным изучаемым объектом является система дифференциальных уравнений, определяемая следующим матричным уравнением.

$$N' = [N, [N, N]] \quad (1.1)$$

N и N предполагаются симметричными, а N — диагональной и составленной из констант.

Для определенного класса матриц N и N рассматриваемое уравнение задает систему, известную под названием (непериодической) цепочки Тоды [1]. Цепочка Тоды интегрируема по Лиувиллю, и n независимых

интегралов могут быть непосредственно получены, с помощью матрицы H :

$$F_k = \text{tr}(H^k)/k$$

Экспериментальная часть работы посвящена исследованию границ применимости численных методов. Исследуется вопрос о допустимой грубости схем, обеспечивающих верное решения задачи сортировки. При рассмотрении интегрируемого случая проверяется сохранение интегралов движения при помощи различных численных схем. Характерная динамика представлена на рис. 1, 2.

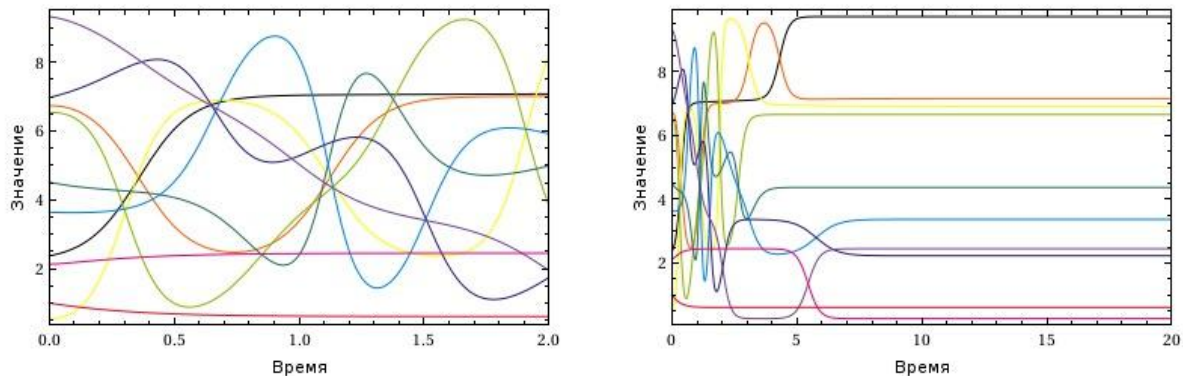


Рис. 1. Характерная динамика уравнения (1.1). Результат вычислительного эксперимента.

Мнение о том, что уравнение (1.1) представляет интерес только лишь потому, что является удобной формой записи для цепочки Тоды, несостоятельно, поскольку многие интересующие нас свойства оказывается возможным доказать для системы более общего вида [2]. В действительности же (для некоторых свойств) вид системы можно обобщить настолько, что получится выйти за рамки заявленного типа (1.1).

В работе приведено доказательство диагонализующего свойства потока

$$H' = [F(H), [F(H), N]],$$

на параметры которого наложен ряд условий, проведён подробный анализ этих условий, имеющий целью установить, насколько каждое условие может быть ослаблено. Предпринята попытка распространить метод на другие вычислительные задачи. Проведен вычислительный эксперимент.

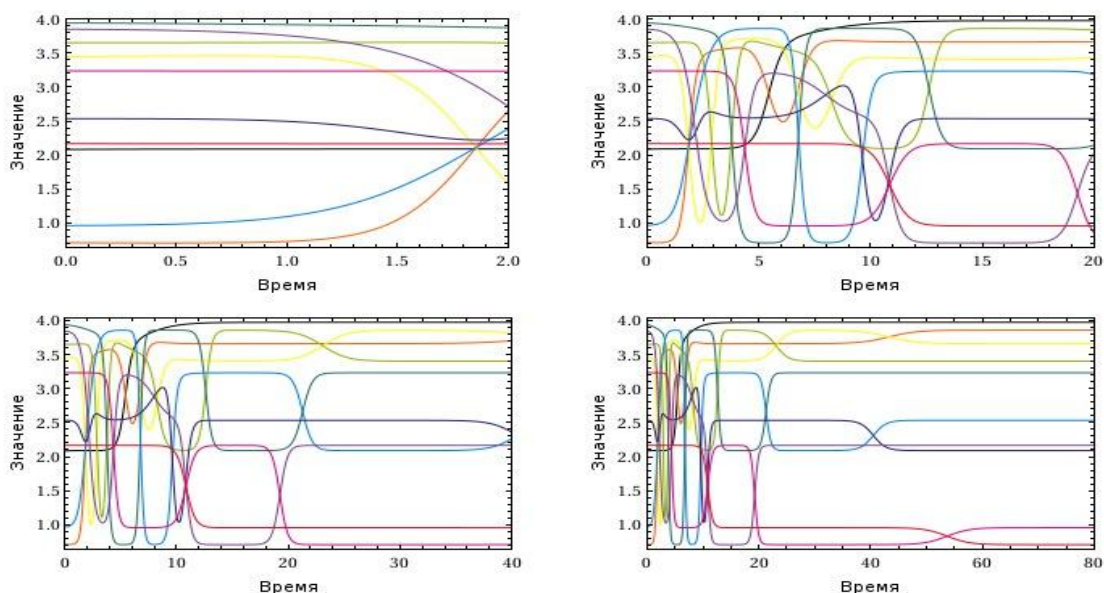


Рис. 2. Характерная динамика уравнения (1.1). Результат вычислительного эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brockett R. W. Dynamical systems that sort lists, diagonalize matrices and solve linear programming problems //Decision and Control, 1988., Proceedings of the 27th IEEE Conference on. – IEEE, 1988. – С. 799-803.
2. Brockett R. W. Analog and digital computing. – Springer Berlin Heidelberg, 1992. – С. 279-289.
3. Moser J. Various aspects of integrable Hamiltonian systems //Dynamical systems. – Springer Berlin Heidelberg, 2011. — N. 137-195.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН ДРОБНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ РИМАНА – ЛИУВИЛЛЯ

Д.А. Зенюк

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва,
Россия*

e-mail: eldrich@yandex.ru

В последние десятилетия все больший интерес привлекают приложения дробного исчисления к различным инженерным и естественнонаучным задачам – им посвящена обширная библиография (см., например, [1-4]). Аппарат дробного исчисления успешно применяется для изучения механики вязкоупругих тел, к которым относятся, в частности, полимеры; другим характерным примером является описание диффузионных процессов в сложноструктурированных средах (пористых, гранулированных и др.). На сегодняшний день аппарат дробного исчисления активно используется в рамках изучения «аномальных» кинетических процессов, наблюдаемых во фрактальных

структурах со сложными топологическими свойствами или демонстрирующих нетривиальные корреляционные зависимости, объединенных под общим названием «странная кинетика» [5].

Уравнение адвекции – диффузии с дробными производными [6-8] является, по-видимому, одним из наиболее исследованных. Это уравнение тесно связано с некоторыми классами случайных величин и случайных процессов. Так, известно, что оно может быть получено в результате предельного перехода в схеме одномерного случайного блуждания с некоторыми ограничениями на распределения времен ожидания и величин смещений [8]; фундаментальное решение задачи Коши для этого уравнения является плотностью распределения достаточно широкого класса случайных величин, включающего в себя все устойчивые распределения [7]. На основе этих наблюдений и некоторых общих соображений в ряде работ предлагалось перейти к новому определению функций распределения случайных величин, заменив в нем обычный интеграл его дробным аналогом [9-11]. Хотя такой подход в целом возможен, он приводит к существенному отличию от привычной конструкции.

Существует несколько неэквивалентных подходов к определению дробных интегральных и дифференциальных операторов; наибольшее распространение среди них, однако, получили односторонние операторы Римана – Лиувилля. Дробные интегралы Римана – Лиувилля порядка α определяются выражениями [1]

$$(I_{a+}^{\alpha} f)(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^x f(\xi)(x-\xi)^{\alpha-1} d\xi, x > a.$$

Соответствующая дробная производная имеет вид

$$(D_{a+}^{\alpha} f)(x) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \frac{d^n}{dx^n} \int_a^x f(\xi)(x-\xi)^{n-\alpha-1} d\xi,$$

где $n = [\alpha] + 1$.

Рассмотрим следующую кусочно-определенную функцию:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ (I_{a+}^{\alpha} p)(x), & a < x \leq b; \\ 1, & x > b. \end{cases} \quad (1)$$

Непосредственным вычислением легко установить, что для произвольных $\alpha > 0$ и неотрицательных p функция (1) не является функцией распределения, поскольку она не является монотонной. Нарушение монотонности приводит к тому, что вероятности некоторых событий в этой схеме могут быть отрицательными, что очевидным

образом нарушает аксиоматическое определение вероятностной меры. Хотя существует некоторое количество работ, в которых рассматриваются возможные интерпретации понятия отрицательной вероятности (краткий обзор можно найти в [12]), эта концепция пока не получила сколько-нибудь заметного распространения.

Можно указать несколько простых достаточных условий на p , гарантирующих монотонности функции (см., например, [13]). При $\alpha \geq 1$ приращение ΔF в области $x \in (a, b]$ будет определяться выражением

$$\Gamma(\alpha)\Delta F = \int_a^x p(\xi)[k_{\alpha-1}(x+\Delta x, \xi) - k_{\alpha-1}(x, \xi)]d\xi + \int_x^{x+\Delta x} p(\xi)k_{\alpha-1}(x+\Delta x, \xi)d\xi,$$

где $k_\alpha(x, \xi) = (x - \xi)^\alpha$. Если функция p неотрицательна, то, поскольку $k_{\alpha-1}(x, \xi)$ монотонно возрастает по первому аргументу, все подинтегральные функции в этом выражении при $\Delta x \geq 0$ будут неотрицательны, т.е. $\Delta F \geq 0$. Пусть теперь $0 < \alpha < 1$; интегрирование по частям в (1) при $x \in (a, b]$ приводит к

$$\Gamma(\alpha+1)\Delta F = p(a)[k_\alpha(x+\Delta x, a) - k_\alpha(x, a)] + \int_a^x p'(\xi)[k_\alpha(x+\Delta x, \xi) - k_\alpha(x, \xi)]d\xi + \int_x^{x+\Delta x} p'(\xi)k_\alpha(x+\Delta x, \xi)d\xi.$$

Если $p(a) \geq 0$ и p' неотрицательна, то $\Delta F \geq 0$.

Следует отметить, что функции, допускающие корректное представление функций распределения в виде (1) могут принимать отрицательные значения. Непосредственное вычисление показывает, что функциям

$$p(x) = \frac{3}{2} \left[\frac{(x+1)^{2-\alpha}}{\Gamma(3-\alpha)} - \frac{(x+1)^{3-\alpha}}{\Gamma(4-\alpha)} \right] \chi_{[-1,1]} \quad (2)$$

в определении (1) соответствует функция распределения

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -1; \\ -\frac{(x+1)^3}{4} + \frac{3(x+1)^2}{4}, & -1 < x \leq 1; \\ 1, & x > 1. \end{cases}$$

Здесь χ_A – характеристическая (индикаторная) функция соответствующего множества. Легко убедиться, что при $\alpha > 1$ функция (2) принимает отрицательные значения в окрестности точки $x=1$. Таким образом, неотрицательность функции плотности не является ни необходимым, ни достаточным условием для корректного представления

функции распределения в форме (1). Это объясняется тем, что знак дробной производной от F (которая совпадает с p) не связан однозначно с характером монотонности самой функции.

Более того, одна и та же кусочно-непрерывная функция распределения может быть корректно представлена двумя разными функциями, которые отличны друг от друга на множестве ненулевой меры (пример этого эффекта с аналитическим решением приведен [13]). Такая неоднозначность связана с тем, что дробная производная постоянной при $\alpha \notin \mathbb{N}$ не равна нулю [1].

Таким образом, представление функций распределения случайных величин с помощью односторонних дробных интегралов Римана – Лиувилля возможно, однако такой подход существенно меняет свойства этой конструкции. Особенно важно, что неотрицательность функции p – своеобразного аналога плотности – не является достаточным условием монотонности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск: Наука и техника, 1987. 688 с.
2. Miller K. S., Ross B. An introduction to the fractional calculus and fractional differential equations. New York etc.: John Wiley & Sons, 1993. 366 p.
3. Gorenflo R., Mainardi F. Fractional calculus: Integral and differential equations of fractional order // *Fractals and fractional calculus in continuum mechanics* / Ed. by A. Carpinteri, F. Mainardi. Wien and New York: Springer, 1997. P. 223–276.
4. Васильев В.В., Симак Л.А. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. Киев: НАН Украины, 2008. 256 с.
5. Shlesinger M.F., Zaslavsky G.M., Klafter J. Strange kinetics // *Nature*. 1993. Vol. 363, no. 6424. P. 13–37.
6. Hilfer R. Fractional diffusion based on Riemann — Liouville fractional derivatives // *The Journal of Physical Chemistry B*. 2000. Vol. 104, no. 16. P. 3914–3917.
7. Mainardi F., Luchko Y., Pagnini G. The fundamental solution of the space-time fractional diffusion equation // *Fractional Calculus and Applied Analysis*. 2001. Vol. 4, no. 2. P. 153–192.
8. Metzler R., Klafter J. The random walk's guide to anomalous diffusion: a fractional dynamics approach // *Physics reports*. 2000. Vol. 339, no. 1. P. 1–77.
9. Jumarie G. Fractional Euler's integral of first and second kinds.

Application to fractional Hermit's polynomials and to probability density of fractional order // Journal of Applied Mathematics & Informatics. 2010. Vol. 28, no. 1–2. P. 257–273.

10. Jumarie G. Probability calculus of fractional order and fractional Taylor's series application to Fokker — Planck equation and information of non-random functions // Chaos, Solitons & Fractals. 2009. Vol. 40, no. 3. P. 1428–1448.

11. Tarasov V.E. Fractional Fokker — Planck equation for fractal media // Chaos. 2005. Vol. 15, no. 2. P. 023102.

12. Tenreiro Machado J.A. Fractional coin and fractional derivatives // Abstract and Applied Analysis. 2013. Vol. 2013.

13. Зенюк Д.А., Орлов Ю.Н. О применении дробного исчисления Римана — Лиувилля для описания распределения вероятностей // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2014. № 18. 21 с.

КЛАСС МЕТРИЧЕСКИХ АЛГЕБР, ЛОРЕНЦ И ПУАНКАРЕ ИНВАРИАНТНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ.

А.В. Коганов

*Научно-исследовательский институт системных исследований РАН
(НИИСИ РАН), Россия, 117218, Москва, Нахимовский пр., 36, корп. 1;
koganow@niisi.msk.ru*

В этой работе рассматривается вопрос о построении алгебр с носителем на векторном пространстве, операции которых коммутируют с преобразованиями Лоренца и Пуанкаре на этом пространстве. Это означает в общем виде $F(Lx_1, \dots, Lx_m) = LF(x_1, \dots, x_m)$, где F — операция, L — преобразование, x_1, \dots, x_m — операнды. Рассматриваются обычные операции умножения на число и сложения векторов, и специально определенная операция умножения. Особое внимание уделено алгебрам, где операции суммы и произведения векторов связаны дистрибутивным законом. Интерес к этой тематике вызван появившимися в публикациях попытками моделирования пространства-времени в физике с помощью гиперкомплексных чисел, алгебра которых не удовлетворяет условию инвариантности относительно преобразований Лоренца. Поэтому в этих теориях в каждой системе отсчета приходится вводить свою гиперкомплексную алгебру. Решение указанной задачи устраняет этот недостаток. В доказательствах теорем использован аппарат из [1][2].

Будет построена дистрибутивная алгебра размерности $n+1$ с единицей, которая инвариантна относительно всех линейных преобразований, сохраняющих заданный метрический тензор самого общего вида на подпространстве размерности n . Для каждого метрического тензора алгебра своя (своя таблица умножения).

Метрический тензор общего вида — это произвольная матрица размерности $n \times n$ вида $g = [g_{i,j}]$, где $g_{i,j} \in \mathbb{R}$.

Определение 1. Метрическая алгебра (или М-алгебра, метрические числа, М-числа) имеет образующие: $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$. Для удобства обозначим $\alpha_0 = 1$. Общий вид элемента носителя алгебры $x = (x_0\alpha_0 + x_1\alpha_1 + \dots + x_n\alpha_n) = x_0 + x_1\alpha_1 + \dots + x_n\alpha_n = x_0 + P_x$. Закон умножения образующих: $1x = x1 = x$, где $x \in \{1; \alpha_1; \dots; \alpha_n\}$; $\alpha_i\alpha_j = g_{i,j} \cdot \alpha_0 = g_{i,j}$, $i, j = \overline{1, n}$. Распространение операций на всю алгебру.

$$(x_0 + x_1\alpha_1 + \dots + x_n\alpha_n) + (y_0 + y_1\alpha_1 + \dots + y_n\alpha_n) = (x_0y_0 + x_1y_1\alpha_1 + \dots + x_ny_n\alpha_n)$$

$$(x_0\alpha_0 + \dots + x_n\alpha_n)(y_0\alpha_0 + \dots + y_n\alpha_n) = \sum_{i,j=0,\dots,n} (x_iy_j)(\alpha_i\alpha_j). \text{ Следствия.}$$

$$(m + P_x)(k + P_y) = \left(mk + \sum_{i,j=1,n} g_{i,j}x_iy_j \right) + mP_y + kP_x \quad (1)$$

$$\text{Определение 2. Скалярное произведение: } (P_x, P_y) =_{\text{def}} \sum_{i,j=1,n} g_{i,j}x_iy_j = P_xP_y.$$

Линейный оператор V на линейном пространстве М-чисел назовем метрическим изоморфизмом (М-изоморфизмом), если $\langle \alpha_0 \rangle$ и $\langle \alpha_1, \dots, \alpha_n \rangle$ его инвариантные подпространства и по оси $\langle \alpha_0 \rangle$ он осуществляет тождественное преобразование, а в подпространстве $\langle \alpha_1, \dots, \alpha_n \rangle$ сохраняет скалярное произведение любых двух векторов: $(P_x, P_y) = (VP_x, VP_y)$. \square

Теорема 1. Законы умножения и сложения М-чисел инвариантны относительно действия любого метрического изоморфизма.

Частный случай, метрика Минковского в пространстве ${}^1\mathbb{R}^{n-1}$ с метрическим тензором $g = \text{diag}(1, -1, \dots, -1)$. Соответствующая М-алгебра инвариантна относительно канонического действия группы Лоренца на подпространстве $\langle \alpha_1, \dots, \alpha_n \rangle$. Роль оси времени играет ось $\langle \alpha_1 \rangle$, модель физического пространства $\langle \alpha_2, \dots, \alpha_n \rangle$. Ось $\langle \alpha_0 \rangle$ отображает скалярные произведения и не имеет аналога в пространстве-времени. Она аналогична оси действительных чисел в кватернионах. В частности, такая М-алгебра инвариантна относительно эвклидовых поворотов в подпространстве $\langle \alpha_2, \dots, \alpha_n \rangle$. Но для случая $n=4$ эта алгебра не обладает такими хорошими свойствами умножения, как кватернионы.

М-алгебра имеет коммутативное умножение тогда и только тогда, когда метрический тензор симметричен. Ассоциативности в метрическом умножении нет при любом ненулевом метрическом тензоре: $(\alpha_1\alpha_2)\alpha_3 = g_{1,2}\alpha_3$; $\alpha_1(\alpha_2\alpha_3) = g_{2,3}\alpha_1$. Имеются делители нуля: если М-числа ортогональны в метрике, то их произведение обнуляется ($P_xP_y = 0$).

Теорема 2. *Однозначное деление на M -число y возможно, если, и только если, $\det A = (y_0)^{n-1} (2y_0^2 - y_1 w_1 - \dots - y_n w_n) \neq 0$, где $w_i = \sum_{j=1}^n (g_{i,j} + g_{j,i}) y_j$. (Это определитель системы линейных уравнений, определяющей результат деления.) В метрике Минковского $\det A = 2y_0^2 - 2y_1^2 + 2y_2^2 + \dots + 2y_n^2 = 2y_0^2 - 2\|P_y\|_M^2$, и условие делителя $y_0^2 \neq \|P_y\|_M^2$.*

Определение 3. Назовем метрический тензор $[g_{i,j}]$ модульным (или модульной метрикой), если все его компоненты либо ± 1 , либо 0: $g_{i,j} \in \{-1; 0; 1\}$.

Теорема 3. *Метрические алгебры с модульной метрикой, и только они в классе M -алгебр, являются модулями над конечной мультипликативной алгеброй образующих. (Остальные M -алгебры имеют бесконечную алгебру образующих по умножению.) Важные частные случаи — метрические тензоры Минковского и Эвклида.*

Для M -алгебры с комплексными коэффициентами (M -твисторы) комплексная метрика $[g_{i,j}]$ модульная, если все её компоненты принадлежат конечной подгруппе G на единичном круге или являются нулем, и тогда теорема 3 сохраняется.

Теорема 4. *Любой автоморфизм произвольного дистрибутивного модуля над мультипликативной алгеброй в произвольном поле коммутирует с преобразованием сдвига и с дилатацией в линейном пространстве этого модуля. (Аutomорфизмы алгебры коммутируют с аффинными операциями над алгеброй, хотя сами операции алгебры не всегда с ними коммутируют; например, сложение не коммутирует с ненулевым сдвигом.)*

Определение 4. Алгебра, построенная на линейном пространстве с помощью дополнительно введенных операций, называется Пуанкаре инвариантной (ПИ-алгебра), если ее операции коммутируют с преобразованиями Лоренца, а также с аффинными сдвигами и дилатациями.

Теорема 5. *Алгебра с дистрибутивным умножением не инвариантна относительно аффинных преобразований по обеим или любой одной из операций сложения и/или умножения.*

Определение 5. Класс конических алгебр. Носителем конической алгебры является действительное пространство размерности $n+1$ с образующими e_0, \dots, e_n . Элемент алгебры обозначим как вектор $\bar{x} = x_0 e_0 + \dots + x_n e_n$. Операция параметрической дилатации ($\alpha \in \mathbb{R}$): $\alpha \bar{x} = \alpha x_0 e_0 + \dots + \alpha x_n e_n$. Операция параметрической проективной суммы ($\alpha \in \mathbb{R}, \beta = 1 - \alpha$):

$$\bar{x} +_{\alpha} \bar{y} = \alpha \bar{x} + \beta \bar{y}.$$

Операция параметрического конического умножения связана с интервалом Минковского для двух операндов:

$$\eta(\bar{x}, \bar{y}) = (x_0 - y_0)^2 - (x_1 - y_1)^2 - \dots - (x_n - y_n)^2.$$

Обозначим $\theta = 1 + \text{sgn}(\eta)$.

Зададим характеристику пары операндов (две компоненты):

$$C(\bar{x}, \bar{y}) = (\text{sgn}(x_0 - y_0)\theta, \text{sgn}(\eta)).$$

$$C \in \{(0, -1), (-1, 0), (0, 0), (1, 0), (-2, 1), (2, 1)\} = P$$

Зададим параметр умножения в форме двух функций от характеристики:

$$\alpha[C], \alpha[\cdot]: P \rightarrow \mathbb{R};$$

$$U[C], U[\cdot]: P \rightarrow M(n+1, n+1) \text{ (действительные матрицы)};$$

$$\text{Обозначим } \beta[C] =_{\text{def}} 1 - \alpha[C];$$

(функции $\alpha[C]$ и $\beta[C]$ скалярные, функция $U[C]$ матричная).

Определим умножение:

$$\bar{x} \circ_{\langle \alpha, U \rangle} \bar{y} = g_c(\bar{x}, \bar{y}) = \alpha[C]\bar{x} + \beta[C]\bar{y} + U[C](\bar{x} - \bar{y}),$$

где $C = C(\bar{x} - \bar{y})$, инвариант преобразований Пуанкаре.

Коническая алгебра полностью определяется заданием параметров суммы и умножения.

Определение 6. Если значения $\alpha[C]$ различны для каких-то двух значений характеристики, соответствующих разным знакам интервала η , то алгебру назовем *существенно невырожденной*.

Теорема 6. У существенно невырожденной конической алгебры группа автоморфизмов совпадает с группой Пуанкаре. У произвольной конической алгебры группа автоморфизмов содержит группу Пуанкаре.

Замечание 1. Операции конической алгебры имеют обратную дистрибутивность: $(\bar{z} +_{\alpha} \bar{x}) \circ_{\langle \alpha \rangle} (\bar{z} +_{\alpha} \bar{y}) = \bar{z} +_{\alpha} (\bar{x} \circ_{\langle \alpha \rangle} \bar{y})$.

Замечание 2. Если параметр $\alpha[C] = \text{const} = \alpha'$, и $U[C] = \text{const} = 0$, то коническое умножение совпадает с проективной суммой.

Замечание 3 Можно построить алгебру с несколькими операциями умножения, имеющими разные параметры. При этом теорема 6 сохраняет силу.

Замечание 4 Характеристика $C(\bar{x}, \bar{y})$ задает максимальное разбиение множества пар векторов, которое инвариантно относительно преобразований группы Пуанкаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. V. Koganov. Processes and Automorphisms on Inductor Spaces. Russian Journal Mathematic Physics, vol 4, nom 3, 1996, Jon Wiley and Sons, Ins., s 315-339.
2. A. V. Koganov. Faithful Representations of Groups by Automorphisms of Topologies. Russian Journal of Mathematical Physics, vol. 15, No 1, 2008, s. 66-76

ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГРАФОВ И АЛГОРИТМЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В ГРУППАХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

А.А. Кочкаров^{1,2,3}, Л.И. Сенникова⁴

¹ОАО «РТИ», Москва, Россия

²Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия

³Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва,
Россия

⁴Северо-Кавказский социальный институт, Ставрополь, Россия

E-mail: akochkar@gmail.com

Понятие динамических сетей (Dynamic networks) широко используется при изучении сложных структурно-изменяющихся сетей различной природы и происхождения. К динамическим сетям относят и социальные сети, и сети связи и коллективного взаимодействия, и структуры фондовых рынков, и структуры взаимных обязательств межбанковской системы. Несмотря на накопленный эмпирический материал по изучению динамических сетей, пока нет оснований говорить об окончательно сложившейся теории динамических сетей (Dynamic network analysis) или сетевой науки (Network science). Для формирования такой отрасли прикладной науки необходима теоретическая основа. Ее ядром может стать зарождающаяся динамическая теория графов, основным объектом которой является динамический граф – модель динамической сети.

Динамический граф Γ , как модель динамической сети, представляет собой последовательность «классических» графов G_l , не имеющих параллельных ребер и петель, переход между которыми описывается различными теоретико-графовыми операциями $\varphi(G_l) = G_{l+1}$ (удаление/добавление ребра [1], удаление/добавление вершины [1], замена вершины затравкой [2], приоритетное присоединение вершин и ребер [3] и т.д.). Индекс l соответствует своеобразному «топологическому времени», в последующие моменты которого меняется структура графа.

Операции удаления/добавления ребра, удаления/добавления вершины будем называть *простыми* или *базовыми*. Любую другую операцию, которую можно описать чередованием простых операций,

будем называть *сложной*. В общем случае динамический граф представляет собой последовательность конечных невзвешенных (не всегда связных) графов – $G_1, G_2, \dots, G_l, \dots, G_L, \dots$, в которой переход к последующему графу G_{l+1} осуществляется применением операции $\varphi(G_l) = G_{l+1}$. Операция, осуществляющая переход, может быть как простой, так и сложной. Для построения траектории динамического графа могут быть использовано несколько (конечное множество) чередующихся операций $\Phi = \{\varphi^t\}$. Также в операции может быть определен механизм выбора элементов графа (ребра, вершины, подграфы), над которыми совершается заданная операция. Последовательность графов $G_l = (V_l, E_l)$, $l = 1, 2, \dots, L, \dots$, составляющая динамический граф, будем называть *траекторией динамического графа* Γ .

Следующие ниже очевидные утверждения призваны продемонстрировать применение введенных понятий.

Утверждение 1. Траектория динамического графа Γ является бесконечной, если $\varphi(V_l) \neq V_l$, $l = 1, 2, \dots, L, \dots$.

Утверждение 2. На множестве всех полных n -вершинных простых цепей $\{P_n\}$, $n \geq 2$, существует динамический граф Γ с бесконечной траекторией $P_2, P_3, \dots, P_l, \dots, P_L, \dots$, у которого операция $\varphi(P_l) = P_{l+1}$, $l = 2, 3, \dots, L, \dots$, определяется как добавление одной вершины, смежной с одной из висячих вершин графа P_l .

Утверждение 3. На множестве всех полных n -вершинных простых циклов $\{C_n\}$, $n \geq 3$, существует динамический граф Γ с бесконечной траекторией $C_3, C_4, \dots, C_l, \dots, C_L, \dots$, у которого операция $\varphi(C_l) = C_{l+1}$, $l = 3, 4, \dots, L, \dots$, определяется как удаление одного ребра, и последующим добавлением одной вершины, смежной с обеими висячими вершинами графа P_l .

Утверждение 4. На множестве всех полных n -вершинных графов $\{K_n\}$ существует динамический граф Γ с бесконечной траекторией $K_1, K_2, \dots, K_l, \dots, K_L, \dots$, у которого операция $\varphi(K_l) = K_{l+1}$, $l = 1, 2, \dots, L, \dots$, определяется как добавление одной вершины и инцидентных с ней $(l+1)$ -го ребра.

Утверждение 5. Если операции перехода $\varphi(G_l) = G_{l+1}$ динамического графа не использует простую операцию добавления вершины, то динамический граф конечен.

Если в классической теории графов ключевой экстремальной задачей является поиск подграфа (или остова) с заданными характеристиками (например, поиск дерева минимального веса), то для динамической теории

графов основная задача – установление связи между решениями экстремальной задачи на различных «классических» («стационарных») графах, составляющих динамических граф. Если решения на различных графах сопоставимы по заданным критериям, то можно говорить о свойстве *наследственности в классе динамических графов*, объединенных общими правилами перехода в образующих их последовательностях графах. Логичным продолжением этой задачи становится задача установление формализованной связи между свойством наследственности и операциями перехода в траектории, образующими динамический граф. В случае установления такой связи можно говорить о программируемой самоорганизации [4], т.е. получении гарантированных наследственных структурных свойств и характеристик динамических графов.

Напомним, что эксцентриситетом [1] произвольной фиксированной вершины графа называется максимальное из расстояний до всех остальных вершин графа. Наибольший из эксцентриситетов графа равен диаметру графа (по определению). Все вершины графа, эксцентриситеты которых равны диаметру графа, называются периферийными [1].

Лемма 1. Для динамического графа Γ , операция перехода $\varphi(G_l) = G_{l+1}$, $l = 1, 2, \dots, L, \dots$, которого в траектории определена как присоединение единственной вершины к любой непериферийной [1] вершине графа G_l , диаметр $d(G_l) = d(G_1)$ [10] остается неизменным, если в G_1 есть хотя бы одна непериферийная вершина.

Следствие 1.1. Для динамического дерева Γ , операция перехода $\varphi(D_l) = D_{l+1}$, $l = 1, 2, \dots, L, \dots$, которого в траектории определена как присоединение единственной вершины к любой невисячей [1] вершине дерева D_l , диаметр $d(D_l) = d(D_1)$ остается неизменным.

Примечание 1.1. Граф G_1 в траектории динамического графа Γ может быть таковым, что все его вершины будут периферийными. Примером такого графа является полный граф, в котором каждая вершина соединяется с каждой. В такой ситуации применение операции из леммы 1 невозможно.

Теорема 1. Для динамического графа Γ , операция перехода $\varphi(G_l) = G_{l+1}$, $l = 1, 2, \dots, L, \dots$, которого в траектории определена как присоединение новой вершины к любому количеству непериферийных вершин графа G_l , диаметр $d(G_l) \geq d(G_1)$ не увеличивается, если в G_1 есть хотя бы одна непериферийная вершина.

Идеология и методы динамической теории графов особенно полезны при конструировании командно-информационного взаимодействия подвижных абонентов в сетевых системах [4]. Сетевые системы следует понимать как технические системы, в основе функционирования которых

лежат сети. В этом смысле сетевые системы – в большей степени инженерное понятие, чем строгое математическое.

История развития беспроводных сетей показывает, что область применения этого класса телекоммуникационных технологий расширяется. В настоящее время беспроводные сети превосходят проводные аналоги в безопасности, стоимости, устойчивости, функциональности, комфортности применения. Тем не менее, спектр задач, связанный с новыми приложениями беспроводных технологий и беспроводных сетей, устойчиво расширяется. Здесь следует очертить две основные области приложения беспроводных сетей – телекоммуникации и мониторинг. В «больших» системах беспроводные сети могут выполнять одновременно и функции передачи информации, и функции мониторинга.

Особый интерес представляют сети с подвижными абонентами (датчиками, сенсорами). Обеспечение качественной связи в таких сетях – чрезвычайно актуальная задача. Решение этой задачи повысит связность и скорость передачи информации между мобильными абонентами, сократит затраты на наземный сегмент сети за счет маршрутизации и ретрансляции между подвижными узлами. Трудоемкость этой задачи растет с увеличением количества абонентов сети. При этом очевиден тот факт, что наибольшей эффективности работы систем можно добиться при помощи скоординированных действий абонентов сети. В последнее десятилетие в трудах зарубежных и отечественных теоретиков все чаще можно встретить разработки в областях, связанных с совершенно новой концепцией организации действий стай и команд. Вместе с тем подавляющая часть существующих алгоритмов сетевого взаимодействия имеют очень ограниченную область приложения, по сути, представляя собой конкретные инженерные решения.

Зарождающаяся динамическая теория графов может стать теоретической базой для конструирования алгоритмов командно-информационного взаимодействия подвижных абонентов в сетевых системах. Топология сети подвижных абонентов (роботов) не может быть строго фиксированной. Более того, топология вынуждена претерпевать изменения в силу различных обстоятельств, например, увеличения количества абонентов в сети. Поскольку передача информации в сети зависит от длины цепочки абонентов, то разумно при увеличении числа абонентов в сети не допускать увеличения его диаметра при присоединении каждого нового абонента. Это можно сделать, следуя алгоритму, сконструированному в самом тривиальном случае согласно требованиям леммы 1 и теоремы 1.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-01-00617).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. – М.: УРСС, 2009. – 392 с.
2. Кочкаров А.А. Структурная динамика: свойства и количественные характеристики предфрактальных графов. – М.: Вега-Инфо, 2012. – 120 с.
3. Подлазов А.В., Щетинина Д.П. Модель роста социальной сети // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 95. – 16 с.
4. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. – М. : Эдиториал УРСС, 2012.
5. Кочкаров А.А. Моделирование структурно-динамических процессов в сетевых системах мониторинга // Антенны. – 2013. – № 1. – С. 164-168.

ИНТЕРВАЛЬНОЕ ВЗВЕШИВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ГРАФА

Р.А. Кочкаров

*Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва,
Россия*

E-mail: rasul_kochkarov@mail.ru

Интервальный анализ

Основная идея интервального анализа состоит в замене арифметических операций и вещественных функций над вещественными числами интервальными операциями и функциями, преобразующими интервалы, содержащие эти числа. Положительной стороной интервального анализа является возможность полного учета погрешностей, начиная с неточных данных математической модели и кончая ошибками округления на ЭВМ. При точно определенных входных данных задачи получаемые интервалы содержат точное решение исходной задачи, и интервальный метод служит для учета ошибок аппроксимации и округлений.

Интервальный анализ представляет собой относительно молодое и интенсивно развивающееся направление математики. К настоящему времени разработаны приемы интервальных вычислений, пакеты прикладных программ и алгоритмических макроязыков, реализующих элементы интервального анализа на машинном уровне для различных типов ЭВМ. Вместе с тем для сколько-нибудь сложных задач полное применение интервального анализа часто дает неудовлетворительные результаты из-за чрезмерных длин получаемых интервалов. Дело во внутренней установке – пессимистическом подходе, который заключается в прослеживании на каждой элементарной операции всевозможных, в том числе наихудших, сочетаний погрешностей. При обычном ходе

вычислений ошибки могут усредняться, компенсироваться и накапливаться далеко не худшим образом. В конечном итоге пессимистические оценки точности на порядок хуже, чем она есть на самом деле [1, 2].

Вместе с тем статистические и другие регулярные подходы к моделированию погрешностей дают в целом неплохое качественное представление о поведении ошибки, но не влекут гарантированных оценок для конкретных приближенных решений. Для построения итерационных процессов используется принцип сжимающих отображений или более общий подход, основанный на теореме Шаудера о неподвижной точке. Итерационный метод для уточнения границ интервального решения с построением специальной матрицы перехода изложен в работе Д.М. Гея [3].

Первая монография в русскоязычной литературе, посвященная интервальному анализу, была опубликована Ю.И. Шокиным в 1981 г. [3]. Затем в 1982 г. издано учебное пособие Т.И. Назаренко, Л.В. Марченко [4] по интервальным методам, а в 1986 г. – монография С.А. Калмыкова, Ю.И. Шокина, З.Х. Юлдашева [2]. В 2013 г. вышла монография С.П. Шарого по конечномерному интервальному анализу [5]. В этих публикациях имеется обширная и подробная библиография по интервальному анализу.

Интервальный анализ и его специфичные методы имеют наивысшую ценность в задачах, где неопределенности и неоднозначности возникают с самого начала и являются неотъемлемой частью постановки задачи. Хотя это не исключает возможность применения интервального анализа в задачах, формулируемых без привлечения понятия интервала.

В последние десятилетия интервальный анализ получил распространение в качестве основы для так называемых доказательных (достоверных, надежных) вычислений на ЭВМ, вычислений с гарантированной точностью и т.п., несмотря на то, что в этих приложениях интервальные методы являются всего лишь вспомогательным средством для решения задач, неинтервальных по своей природе.

Интервальный анализ и возникшая практически одновременно с ним теория нечетких множеств явились ответом на вызов бурно развивающейся практики, которая требовала развития аппарата для учета неопределенностей нестатистической (или, в общем случае, неизвестной) природы. При этом интервальный анализ оказался способным исследовать содержательные модели, которые основываются на наиболее скудных априорных допущениях о характере неопределенности, когда

относительно рассматриваемых величин ничего не известно, кроме их свойства принимать значения из некоторых ограниченных множеств.

Напротив, в тех работах, где интервальный анализ служит средством для исследования ограниченных неопределенностей, опираться на малость возмущений уже нельзя, размеры «входных» интервалов потенциально могут быть сколь угодно велики, но зато часто предполагается, что все арифметические операции как с точечными (неинтервальными) величинами, так и с интервалами выполняются абсолютно точно. Именно эта модель вычислений рассматривается, в настоящей работе.

Поскольку исторически интервальный анализ возник из необходимости учета ошибок вычислений и задач чувствительности, то на первоначальном этапе своего развития множество решений задачи с интервальными данными понималось как множество всевозможных решений точечных задач с параметрами, которые могут принимать значения из заданных интервалов. Но по мере развития интервальных методов и расширения сферы их приложений обнаружилось, что это простейшее понимание множества решений не отражает существо ряда практически важных интервальных задач. Таковой, является, например, задача о допусках, возникшая в эконометрике и несколько позже в теории автоматического управления для объектов с интервальными неопределенностями в данных. Решение задачи о допусках приводит к необходимости рассмотрения так называемого допускового множества решений интервальных систем уравнений. Эти множества решений естественным образом возникают в ситуациях, когда различные интервальные параметры задачи подвержены влиянию конфликтующих факторов.

Проблемы интервального анализа можно разделить на три группы: исследование самого множества интервальных чисел как некоторой математической структуры, применение интервальных методов к различным задачам прикладной математики (в частности, в последнее время наметились пути использования интервальных методов в задачах управления и экономики) и программирование интервальных методов. В настоящей работе используются интервальные методы из второй группы проблем, частично третьей.

Динамический и предфрактальный графы

Динамический граф Γ , как модель динамической сети, представляет собой последовательность «классических» графов G_l , не имеющих параллельных ребер и петель, переход между которыми описывается различными теоретико-графовыми операциями $\varphi(G_l) = G_{l+1}$

(удаление/ добавление ребра, удаление/ добавление вершины, замена вершины затравкой и т.д.) [6, 7].

Одним из частных случаев динамического графа является фрактальный граф [8, 9]. Определение *фрактального (предфрактального) графа* базируется на сложной операции, называемой *замены вершины затравкой (ЗВЗ)*. Суть операции ЗВЗ заключается в следующем. В данном графе $G = (V, E)$ у намеченной для замещения вершины $\tilde{v} \in V$ выделяется множество $\tilde{V} = \{\tilde{v}_j\} \subseteq V, j = 1, 2, \dots, |\tilde{V}|$, смежных ей вершин. Далее из графа G удаляется вершина \tilde{v} и все инцидентные ей ребра. Затем каждая вершина $\tilde{v}_j \in \tilde{V}, j = 1, 2, \dots, |\tilde{V}|$, соединяется ребром с одной из вершин затравки $H = (W, Q)$. Вершины соединяются произвольно (случайным образом) или по определенному правилу, при необходимости.

Интервальная постановка многокритериальной задачи на предфрактальном графе

Интервальная постановка многокритериальной задачи на предфрактальном графе описывается следующим образом [10]. Рассматривается предфрактальный граф $G_L = (V_L, E_L)$, порожденный затравкой $H = (W, Q)$, у которой $|W| = n, |Q| = q$. Каждому ребру $e^{(l)} \in E_L$ приписано M интервальных чисел $w_i(e^{(l)}) = [\underline{w}, \bar{w}] \subseteq [\theta^{l-1}a, \theta^{l-1}b]$, где $l = \overline{1, L}$ – ранг ребра, $a > 0, b > 0$ и $0 < \theta < \frac{a}{b}$ – коэффициент подобия.

На *множестве допустимых решений (МДР)* $X = X(G_L) = \{x\}$: $x = (V_x, E_x), V_x \subseteq V_L, E_x \subseteq E_L$ при $M \geq 2$ задается *векторно-целевая функция (ВЦФ)*:

$$F(x) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_i(x), \dots, F_M(x)), \quad (1.1)$$

в которой критерии $i = \overline{1, M}$ принимают вид:

$$F_i(x) = \max_{e \in E_x} w_i(e) \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

$$F_i(x) = \min_{e \in E_x} w_i(e) \rightarrow \max, \quad (1.3)$$

$$F_i(x) = \sum_{e \in E_x} w_i(e) \rightarrow \max, \quad (1.4)$$

$$F_i(x) = \sum_{e \in E_x} w_i(e) \rightarrow \min. \quad (1.5)$$

Задача состоит в том, чтобы во множестве X выделить элемент x^0 , который является экстремальным относительно векторной целевой функции F (1.1), или по-другому в x^0 векторная целевая функция F принимает оптимальные значения по критериям $F_i(x)$ для всех $i = \overline{1, M}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добронев Б.С., Шайдуров В.В. Двусторонние численные методы. – Новосибирск: Наука, 1990.
2. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. – Новосибирск: Наука, 1986.
3. Шокин Ю.И. Интервальный анализ. – Новосибирск: Наука, 1981.
4. Назаренко Т.И., Марченко Л.В. Введение в интервальные методы вычислительной математики. – Иркутск: Издательство Иркутского университета, 1982.
5. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. – Новосибирск.: Институт вычислительных технологий СО РАН, 2013.
6. Кочкаров А.А. Структурная динамика: свойства и количественные характеристики предфрактальных графов. – М.: Вега-Инфо, 2012.
7. Кочкаров А.А. Моделирование структурно-динамических процессов в сетевых системах мониторинга // Антенны. – 2013. – № 1. – С. 164-168.
8. Kochkarov A.M., Perepelitsa V.A., Sergienko I.V. Recognition of fractal graphs. Cybernetics and Systems Analysis, T. 35, № 4, 1999, pp. 572-585.
9. Салпагаров С.И., Кочкаров А.М. Распознавание предфрактального графа с полной двудольной затравкой. Депонированная рукопись № 2322-V2003. 31.12.2003.
10. Кочкаров А.А., Салпагаров М.Б., Кочкаров Р.А. Моделирование разрушения сложных систем с ациклической структурой // Управление большими системами: сборник трудов. – 2007. – № 17. – С. 103-120.

КАЛИБРОВОЧНЫЕ УСЛОВИЯ СИСТЕМЫ СФЕРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЙНШТЕЙНА-МАКСВЕЛЛА- КЛЕЙНА-ГОРДОНА

С.Р. Усманов

Тверской государственный университет, Тверь, Россия

E-mail: Usmanov_sergeri@bk.ru

Модели сферически симметричного самогравитирующего комплексного скалярного поля активно изучаются с 60-х годов двадцатого века. Данные модели интерпретируются как гипотетический астрономический объект, называемый бозонной звездой [1]. В данном сообщении рассматривается калибровочная симметрия полной системы уравнений Эйнштейна-Максвелла-Клейна-Гордона для выделения минимальной независимой системы уравнений, что является отправной точкой для аналитического и численного исследования сферически-симметричных бозонных звезд.

Математически, самогравитирующее заряженное комплексное скалярное поле это гладкое одномерное векторное расслоение с калибровочной группой $U(1)$. Моделирование данных конфигураций заключается в построении численного или аналитического решения связанной системы уравнений Эйнштейна и динамического уравнения скалярного поля [2]. При этом учитываются тип симметрии, позволяющий определить общий вид метрики, а также асимптотические и топологические условия. Мы рассматриваем комплексное скалярное поле с минимальной связью. Полное действие такой системы можно записать в виде

$$\Sigma = \frac{1}{8\pi} \int \left(-\frac{S}{2} + \langle D\phi, \overline{D\phi} \rangle - 2V(\phi\overline{\phi}) - \frac{1}{2} \langle F, F \rangle \right) \sqrt{|g|} d^4x, \quad (1)$$

где используется геометрическая система единиц ($G=1, c=1$), S – скалярная кривизна, V – потенциал самодействия, угловые скобки $\langle \cdot \rangle$ обозначают скалярное произведение относительно метрики g , так что

$$\langle D\phi, \overline{D\phi} \rangle = g^{kl} D_k \phi \overline{D_l \phi}, \quad \langle F, F \rangle = F_{kl} F^{kl}.$$

$$D\phi = d\phi + ieA\phi = D_k \phi dx^k, \quad D_k = \partial_k + ieA_k,$$

$$A = A_k dx^k, \quad F = dA = \frac{1}{2} F_{kl} dx^k \wedge dx^l, \quad F_{kl} = \partial_k A_l - \partial_l A_k.$$

Стандартная вариационная процедура дает основополагающие уравнения. Варьируя по комплексному скалярному полю ϕ получим динамическое уравнение для комплексного скалярного поля (уравнения Клейна-Гордона).

$$\frac{1}{\sqrt{|g|}} D_k \left(\sqrt{|g|} g^{kl} D_l \phi \right) + 2 \frac{dV}{d(\phi\overline{\phi})} \phi = 0. \quad (2)$$

Аналогично, только варьированием по $\overline{\phi}$, получается комплексно-сопряженное уравнение.

Варьирование по компонентам электромагнитного поля A дает уравнения Максвелла:

$$\frac{1}{\sqrt{|g|}} \partial_k \left(\sqrt{|g|} F^{kl} \right) = j^l, \quad j^l = \frac{i}{2} eg^{lm} \left(\overline{\phi} D_m \phi + \phi \overline{D_m \phi} \right) \quad (3)$$

где ток j вещественный, так как инвариантен относительно комплексного сопряжения, а его ковариантная дивергенция тождественно равна нулю $j^k_{;k} = 0$.

Уравнения (2), (3) совместно с уравнением Эйнштейна

$$\mathfrak{R}_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} S = T_{ij}, \quad (4)$$

составляют замкнутую систему для рассматриваемой задачи. Тензор энергии-импульса состоит из двух компонент

$$T_{ij}^{(\phi)} = \frac{1}{8\pi} \left\{ D_i \phi \overline{D_j \phi} + D_j \phi \overline{D_i \phi} - g_{ij} \left(g^{kl} D_k \phi \overline{D_l \phi} - 2V(\phi \overline{\phi}) \right) \right\}, \quad (5)$$

$$T_{ij}^{(em)} = \frac{1}{8\pi} \left(-2F_{ik} F_{jl} g^{kl} + \frac{1}{2} F_{ikl} F^{kl} g^{ij} \right), \quad (6)$$

$$T_{ij} = T_{ij}^{(\phi)} + T_{ij}^{(em)}$$

Существует локальная калибровочная свобода, такая что изменение ϕ и A не влияет на изменение действия (1), уравнений поля (2), (3) и компонентов (5) и (6) тензора энергии-импульса. А именно, они инвариантны относительно следующих калибровочных преобразований:

$$\phi \rightarrow \phi \exp(-ie\lambda), \quad A \rightarrow A + d\lambda, \quad (7)$$

где $\lambda = \lambda(x)$ произвольная гладкая функция. В частности это означает что для любого комплексного скалярного поля $\phi = \psi \exp(ie\omega)$, где $\psi(x)$ и $\omega(x)$ функции действительной переменной можно выбрать $\lambda = \omega$, то есть фактически наложить калибровочное условие $\omega = 0$. При таком выборе комплексное скалярное поле будет описываться одной действительной функцией. Стоит отметить, что данные предположения верны еще до наложения какой-либо симметрии, то есть инвариантны относительно метрики. Так же примечательно, что многие исследователи (2),(3),(5) не учитывают данную симметрию.

Проверим данные рассуждения на примере метрики сферически-симметричного пространства-времени

$$g = A^2 dt \otimes dt - B^2 dr \otimes dr - C^2 (d\theta \otimes d\theta + \sin^2 \theta d\varphi \otimes d\varphi) \quad (8)$$

удобно записать, следуя [4] в ортонормированном базисе векторных полей

$$e_0 = \frac{1}{A} \partial_t, \quad e_1 = \frac{1}{B} \partial_r, \quad e_2 = \frac{1}{C} \partial_\theta, \quad e_3 = \frac{1}{C \sin \theta} \partial_\varphi \quad (9)$$

и дуальном базисе 1-форм

$$e^0 = A dt, \quad e^1 = B dr, \quad e^2 = C d\theta, \quad e^3 = C \sin \theta d\varphi \quad (10)$$

где метрические функции A, B, C и поля $\phi, \overline{\phi}$ зависят только от переменных r и t . Используя наиболее общую подстановку

$$\phi = \psi(t, r) \exp(ie\omega(t, r)), \quad A = \sigma(t, r) e^0 + \tau(t, r) e^1, \quad (11)$$

Получим уравнения Максвелла и уравнение скалярного поля

$$\frac{1}{C^2} \left[C^2 \left(\sigma_{(1)} - \tau_{(0)} + \sigma \frac{A_{(1)}}{A} - \tau \frac{B_{(0)}}{B} \right) \right]_{(0)} = e^2 (\omega_{(1)} + \tau) \psi^2, \quad (12)$$

$$\frac{1}{C^2} \left[C^2 \left(\sigma_{(1)} - \tau_{(0)} + \sigma \frac{A_{(1)}}{A} - \tau \frac{B_{(0)}}{B} \right) \right]_{(1)} = e^2 (\omega_{(0)} + \sigma) \psi^2, \quad (13)$$

и

$$\begin{aligned} & \psi_{(0)(0)} - \psi_{(1)(1)} + \psi_{(0)} \frac{(BC^2)_{(0)}}{BC^2} - \psi_{(1)} \frac{(AC^2)_{(1)}}{AC^2} - e^2 \psi \left[(\omega_{(0)} + \sigma)^2 - (\omega_{(1)} + \tau)^2 \right] \\ & + 2 \frac{dV}{d(\psi^2)} \psi + ie \psi \left\{ (\omega_{(0)} + \sigma)_{(0)} - (\omega_{(1)} + \tau)_{(1)} + (\omega_{(0)} + \sigma) \left[\frac{(BC^2)_{(0)}}{BC^2} + 2 \frac{\psi_{(0)}}{\psi} \right] \right. \\ & \left. - (\omega_{(1)} + \tau) \left[\frac{(AC^2)_{(1)}}{AC^2} + 2 \frac{\psi_{(1)}}{\psi} \right] \right\} = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Подставляя выражения (11) в формулу (4) и учитывая симметрию получим три независимых компоненты 00, 11 и 01 уравнения Эйнштейна

$$-2 \frac{C_{(1)(1)}}{C} + 2 \frac{B_{(0)} C_{(0)}}{BC} - \frac{C_{(1)}^2 - C_0^2 - 1}{C^2} = \left(\sigma_{(1)} - \tau_{(0)} + \sigma \frac{A_{(1)}}{A} - \tau \frac{B_{(0)}}{B} \right)^2, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & + \left(\psi_{(0)}^2 + \psi_{(1)}^2 + e^2 \psi^2 \left[(\omega_{(0)} + \sigma)^2 + (\omega_{(1)} + \tau)^2 \right] \right) + 2V \\ & - 2 \frac{C_{(0)(0)}}{C} + 2 \frac{A_{(1)} C_{(1)}}{AC} + \frac{C_{(1)}^2 - C_0^2 - 1}{C^2} = - \left(\sigma_{(1)} - \tau_{(0)} + \sigma \frac{A_{(1)}}{A} - \tau \frac{B_{(0)}}{B} \right)^2, \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + \left(\psi_{(0)}^2 + \psi_{(1)}^2 + e^2 \psi^2 \left[(\omega_{(0)} + \sigma)^2 + (\omega_{(1)} + \tau)^2 \right] \right) - 2V \\ & - 2 \frac{C_{(0)(1)}}{C} + 2 \frac{B_{(0)} C_{(1)}}{BC} \equiv -2 \frac{C_{(1)(0)}}{C} + 2 \frac{A_{(1)} C_{(0)}}{AC} = 2 \left\{ \psi_{(0)} \psi_{(1)} + e^2 \psi^2 (\omega_{(0)} + \sigma) (\omega_{(1)} + \tau) \right\}, \quad (17) \end{aligned}$$

Легко показать, что замена $\tau \rightarrow \omega_{(1)} + \tau$, $\sigma \rightarrow \omega_{(0)} + \sigma$ оставляет левые части уравнений (12), (13) без изменений. Кроме того, компоненты τ и σ в уравнениях (12)-(17) входят только в комбинациях $\omega_{(1)} + \tau$ и $\omega_{(0)} + \sigma$. Таким образом, без потери общности решения мы можем представить ω как произвольную гладкую функцию, или для упрощения выражений принять $\omega = 0$, то есть фактически в данном случае комплексное скалярное поле можно описывать одной действительной функцией $\psi(r, t)$.

В дальнейшем, выполнив редукцию, основанную на введении характеристической функции (6) $f \equiv -\langle dC, dC \rangle = C_{(1)}^2 - C_{(0)}^2$ помогает свести к системе из пяти уравнений с семью неизвестными функциями A, B, C, σ, τ, f и ψ . Для того, чтобы получить конкретное решение нужно наложить два калибровочных условия, например на метрические функции и на электромагнитный потенциал A .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schunck F.E. and Mielke E.W. General relativistic boson stars. *Class. Quant.Grav.* 2003, 20, pp. 301–356, arXiv: astro-ph/0801.0307
2. Bilic N., Tupper G.B., Violier R.D. Unification of dark matter and dark energy: the inhomogeneous Chaplygin gas// *Phys. Lett.* 2002, B535. P. 17-23.
3. Pugliese D, Quevedo H., Jorge A. Rueda J.A. and Ruffini R. On charged boson stars. *Phys. Rev. D* 2013, 88, 024053, 22pp. arXiv: astro-ph/1305.4241
4. Tsirulev A. N. Gravitational fields with Yang-Mills curvature// *Proc. 15th Int. Conf. «High Energy Physics and Quantum Field Theory»*, Moscow, 2001, p. 382-384.
5. Jetzer P. and van der Bij J.J. Charged boson stars. *Phys. Lett. B* 1989, 227, pp. 341–346.
6. Усманов С.Р. Математическое моделирование статических конфигураций гравитирующего комплексного скалярного поля / Синергетика в естественных науках: Седьмые Курдюмовские чтения: Материалы международной междисциплинарной научной конференции / Тверь: ТвГУ, 2011. с. 94-98.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ МОДЕЛЬ СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНОГО ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ГЕОНА

Е.А. Салогуб, Г.Н. Столярова, Ю.В. Чемарина

Тверской государственный университет, Тверь, Россия

tchemarina@mail.ru

Построение и исследование нестационарных моделей астрофизических объектов и объектов микромира на основе самогравитирующего скалярного поля приобретает в наши дни все большую популярность. Одним из актуальных направлений в этих исследованиях является использование скалярного поля для описания частицеподобных конфигураций с нетривиальной топологией пространства-времени, в том числе сферически-симметричных топологических геонов [2,3,4,7]. Стоит отметить, что почти все известные на сегодняшний день модели топологических геонов являются

стационарными и, соответственно, не учитывают динамику такого рода объектов.

Целью данного исследования является обобщение метода построения нестационарных конфигураций сферически-симметричного скалярного поля, предложенного в работе [5], на случай фантомного поля. Переход к фантомному скалярному полю с отрицательным кинетическим членом в лагранжиане является необходимым шагом при построении решений с топологической особенностью. Невозможность существования топологических геонов и кротовых нор без горизонта с положительным кинетическим членом была доказана в работах [1,6]. С помощью предложенного метода будет построено новое точное нестационарное решение в виде топологического геона, размер которого меняется с течением времени.

Мы рассмотрим конфигурации фантомного скалярного поля с действием

$$\Sigma = \frac{1}{8\pi} \int \left(-\frac{S}{2} - \langle d\phi, d\phi \rangle - 2V(\phi) \right) \sqrt{|g|} d^4x$$

и сферически-симметричной метрикой

$$ds^2 = A^2(t,r)dt^2 - B^2(t,r)dr^2 - C^2(t,r)(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2). \quad (1)$$

Следуя работе [5], мы введем характеристическую функцию

$$f = -\langle dC, dC \rangle = \frac{(\partial_r C)^2}{B^2} - \frac{(\partial_t C)^2}{A^2}$$

и с ее помощью выделим из уравнений Эйнштейна $R - 1/2 gS = 8\pi T$ инвариантное уравнение

$$d[C(f(\phi, C) - 1)] = -2C^2 \langle d\phi, dC \rangle d\phi + C^2 (\langle d\phi, d\phi \rangle - 2V(\phi)) dC. \quad (2)$$

Для нестационарной конфигурации радиус сферы C не является функцией скалярного поля, то есть $C \neq C(\phi)$, и, по крайней мере, локально возможен переход к координатам $(\phi, C, \theta, \varphi)$. Тогда из уравнения (2) и определения функции f следует, что

$$g^{CC} = \langle dC, dC \rangle = -f, \quad g^{\phi C} = \langle d\phi, dC \rangle = -\frac{\partial_\phi f}{2C},$$

$$g^{\phi\phi} = \langle d\phi, d\phi \rangle = 2V(\phi) + \frac{\partial_C f}{C} + \frac{f-1}{C^2}.$$

С помощью последних выражений запишем метрику пространства-времени в координатах $(\phi, C, \theta, \varphi)$

$$ds^2 = \frac{1}{\Delta} \left(-f d\phi^2 + \frac{\partial_\phi f}{C} d\phi dC + \left(2V + \frac{\partial_C f}{C} + \frac{f-1}{C^2} \right) dC^2 \right) - C^2 d\Omega^2, \quad (3)$$

$$d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2, \quad \Delta = g^{CC} g^{\phi\phi} - (g^{\phi C})^2 < 0,$$

где последнее неравенство обеспечивает лоренцеву сигнатуру метрики.

Как и для решений с положительным кинетическим членом, входящие в метрику (3) функции $V(\phi)$ и $f(\phi, C)$ оказываются связанными одним единственным уравнением скалярного поля $\square\phi + V'_\phi = 0$, которое принимает вид

$$C^2 V'_\phi \partial_\phi f - 8C^4 V^2 - 2C^2 V (\partial_{\phi\phi}^2 f + 3C \partial_C f + 4f - 4) - \partial_{\phi\phi}^2 f (C \partial_C f + f - 1) + C \partial_\phi f \partial_C^2 f + C^2 f \partial_{CC}^2 f - C^2 (\partial_C f)^2 - 3C \partial_C f (f - 1) - 4f^2 + 6f - 2.$$

Несмотря на громоздкость, это уравнение в ряде случаев позволяет получать точные аналитические решения. Так, выбрав характеристическую функцию в виде $f(\phi, C) = 1 + C^2 h(\phi)$, мы получили явное решение для потенциала поля $V(\phi)$:

$$V(\phi) = -\frac{3h}{2} - \frac{(h'_\phi)^2}{8h} - \frac{e^F (h'_\phi)^2}{8h^2 \int \frac{e^F h'_\phi}{h^2} d\phi}, \quad F(\phi) = -4 \int \frac{h}{h'_\phi} d\phi. \quad (4)$$

Отметим, что такой выбор характеристической функции неслучаен. Он обусловлен возможностью получения точных решений с топологической особенностью. Также заметим, что подобный вид имеет всякая характеристическая функция плоской однородной изотропной модели Фридмана со скалярным полем.

Теперь применим найденное решение для построения конкретной модели нестационарного топологического геона.

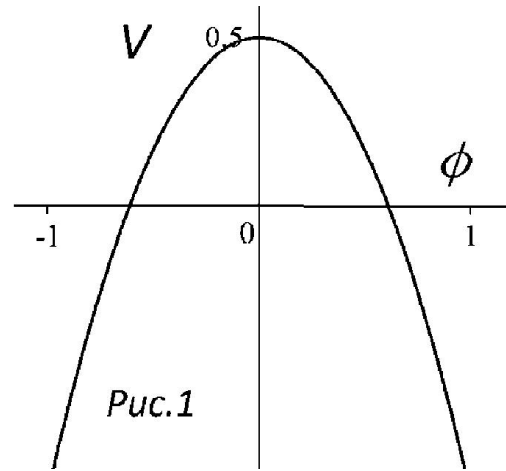
Для этого выберем $h(\phi) = \phi^2 - 1$ и с помощью формул (4) восстановим потенциал поля

$$V(\phi) = 1 - \frac{3}{2}\phi^2 + \frac{1 + \phi^2 - e^{\phi^2}}{2(1 + e^{\phi^2}(\phi^2 - 1))}.$$

График потенциала приведен на Рис.1. Константа интегрирования в (4) была выбрана так, чтобы на поверхности геона ($\phi = 0$) потенциал был регулярной функцией.

Подставляя потенциал и характеристическую функцию в (3), получим точный вид метрики в координатах $(\phi, C, \theta, \varphi)$

$$ds^2 = \frac{1}{\Delta} \left((C^2(1 - \phi^2) - 1) d\phi^2 + 2\phi C d\phi dC + \frac{\phi^2(1 - e^{\phi^2})}{1 + e^{\phi^2}(\phi^2 - 1)} dC^2 \right) - C^2 d\Omega^2,$$



$$\Delta = \frac{\phi^2 (e^{\phi^2} - \phi^2 C^2 - 1)}{1 + e^{\phi^2} (\phi^2 - 1)}.$$

Соответственно, решение определено в области $e^{\phi^2} - \phi^2 C^2 - 1 < 0$.

Далее перейдем к привычным координатам (t, r, θ, φ) путем замены

$$\phi = r, \quad C = \text{cht} \sqrt{\frac{e^{r^2} - 1}{r^2}} = \text{cht} \left(1 + \frac{r^2}{4} + O(r^4) \right), \quad r \rightarrow 0.$$

Эти координаты были выбраны так, чтобы метрика не содержала перекрестного члена $dt dr$ и имела вид (1). Тогда

$$A^2 = \frac{e^{r^2} - 1}{r^2} = 1 + \frac{r^2}{2} + O(r^4), \quad r \rightarrow 0; \quad B^2 = \frac{e^{r^2} (r^2 - 1) + 1}{r^2 (e^{r^2} - 1)} = \frac{1}{2} + \frac{r^2}{12} + O(r^4), \quad r \rightarrow 0.$$

Графики метрических функций $A^2(r)$ и $B^2(r)$ представлены на Рис.2, а двумерная поверхность $C(t, r)$ на Рис.3.

Функции $A^2(r)$, $B^2(r)$ и $C^2(t, r)$ являются регулярными, положительными и четными по r , причем координата r является всюду пространственноподобной. Это дает возможность интерпретировать полученное решение как топологический геон, размер которого $C(t, 0) = \text{cht}$ меняется с течением времени, принимая наименьшее значение $C = 1$ при $t = 0$.

Построенная модель сферически-симметричного топологического геона иллюстрирует применение новых математических методов исследования и решения уравнений Эйнштейна. Она представляет интерес и в качестве самостоятельного результата, как пример нового точного нестационарного решения с топологической особенностью.

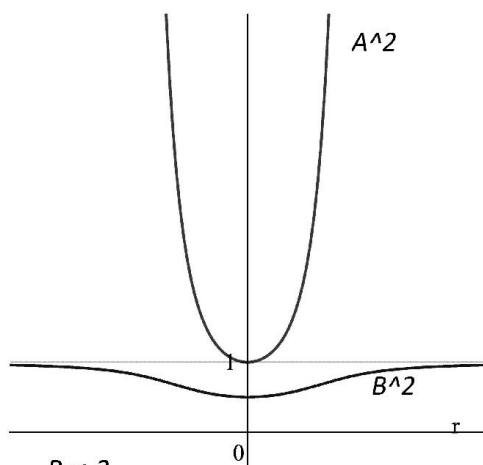


Рис.2

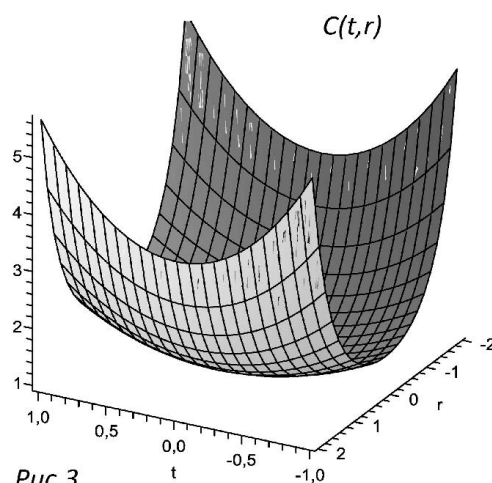


Рис.3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинкина А.Н., Чемарина Ю.В. Фантомное скалярное поле. Кротовые норы и чёрные дыры // Применение функционального анализа в теории приближений. 2012. № 33. С. 75-81.
2. Никонов В.В., Цирулев Ю.В., Чемарина Ю.В. Спектральная краевая задача для гравитирующего скалярного поля в пространстве-времени с топологией $R \times R \# RP^3$ // Вестник ТвГУ. Сер. "Прикладная математика". 2006. №3. С. 106-113.
3. Соловьев Д.А., Цирулев А.Н., Чемарина Ю.В. Математические модели гравитирующих конфигураций с фантомным скалярным полем // Вестник ТвГУ. Сер. "Прикладная математика". 2011. №23. С. 7-18.
4. Цирулев А.Н., Чемарина Ю.В. Сферически-симметричные топологические геоны // Вестник ТвГУ. Сер. "Прикладная математика". 2007. №6. С. 61-70.
5. Чемарина Ю.В. Нестационарные конфигурации гравитирующего скалярного поля // Восьмые Курдюмовские чтения "Синергетика в естественных науках": материалы Международной междисциплинарной научной конференции с элементами научной школы для молодежи. Тверь, 2012. С. 79-82.
6. Bronnikov K.A., Shikin G.N. Spherically symmetric scalar vacuum: no-go theorems, black holes and solitons // Grav. Cosmol. 2002. V.8. P. 107-116.
7. Solov'yev D.A., Tsi'rul'ev A.N. General properties and exact models of static self-gravitating scalar field configurations // Class. Quant. Grav. 2012. V.29. 055013.

ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ СТОХАСТИЧЕСКИЙ БРЮССЕЛЯТОР

С.Е. Курушина^{1,2}, Е.А. Шаповалова¹

¹*Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С.П. Королева (национальный исследовательский университет), Самара, Россия*

E-mail: kurushina72@gmail.com

E-mail: geyn@inbox.ru

²*Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия*

Для модели автокаталитической химической реакции (брюсселятор [1]) с пространственно коррелированным мультипликативным шумом

$$\frac{\partial x_1}{\partial t} = A + x_1^2 x_2 - (B + 1 + \xi_1(\mathbf{r}, t))x_1 + D_1 \nabla^2 x_1,$$

$$\frac{\partial x_2}{\partial t} = -x_1^2 x_2 + (B + \xi_2(\mathbf{r}, t))x_1 + D_2 \nabla^2 x_2,$$

где x_1, x_2 - концентрации промежуточных компонент, D_1, D_2 - их коэффициенты диффузии, A, B_{in} - концентрации исходных веществ, причем $B_{in} = B + \xi_i(\mathbf{r}, t)$ ($\langle \xi_i(\mathbf{r}, t) \rangle = 0$, $K[\xi_i(\mathbf{r}, t), \xi_{i'}(\mathbf{r}', t')] = 2\theta_i \Phi_i(|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|) \delta(t - t') \delta_{ii'}$), в приближении среднего поля [2] получено двумерное одноточечное уравнение Фоккера-Планка в интерпретации Стратоновича:

$$\frac{\partial w(x_1, x_2, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left\{ \left[-A - x_1^2 x_2 + (B + 1 + \theta_1)x_1 - D_1(E(x_1 | x_2) - x_1) \right] w + \theta_1 \Phi_{1,0} x_1^2 \frac{\partial w}{\partial x_1} \right\} + \frac{\partial}{\partial x_2} \left\{ \left[x_1^2 x_2 - Bx_1 - D_2(E(x_2 | x_1) - x_2) \right] w + \theta_2 \Phi_{2,0} x_1^2 \frac{\partial w}{\partial x_2} \right\}, \quad (1)$$

$$E(x_1 | x_2, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1 w(x_1 | x_2, t) dx_1, \quad E(x_2 | x_1, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_2 w(x_2 | x_1, t) dx_2,$$

$$w(x_1 | x_2, t) = \frac{w(x_1, x_2, t)}{\int_{-\infty}^{+\infty} w(x_1, x_2, t) dx_1}, \quad w(x_2 | x_1, t) = \frac{w(x_1, x_2, t)}{\int_{-\infty}^{+\infty} w(x_1, x_2, t) dx_2}.$$

В результате численного моделирования с помощью схемы [3] было обнаружено, что чем больше интенсивность внешнего шума, тем быстрее возрастает дисперсия и тем больше ее значение в стационарном состоянии. Соответствующие зависимости дисперсии концентраций x_1 и x_2 от времени при увеличении интенсивности шума показаны на рис. 1. На рис. 2 изображены зависимости среднего и наиболее вероятного значений от времени при разных интенсивностях шума. Из рисунка видно, что с увеличением интенсивности шума наблюдается скачок наиболее вероятного. При малых интенсивностях шума скачок не наблюдается, а при больших - скачкообразное поведение становится периодическим, что соответствует разным типам решений в области бифуркации Тьюринга при возрастании интенсивности внешнего шума: одномодальное распределение, одномодальное распределение с временной бимодальностью и сложное распределение, при котором происходит чередование одно- и бимодальных распределений. Кроме того, на рисунке 3 показаны срывы с витка кривой наиболее вероятного, т.е. наблюдается «перемежаемость» фаз, которая как бы «раскачивает» упорядоченное состояние. При больших интенсивностях шума этот шумоиндуцированный эффект повторяется многократно и периодически. Срыв с витка кривой соответствует появлению и исчезновению «перекачки» плотности вероятности через бимодальность. Такое поведение плотности вероятности свидетельствует о многократном проявлении в упорядоченной фазе другого состояния (другой фазы), которой соответствует бимодальное распределение. Сначала плотность вероятности дрейфует к границе интегрирования, затем расщепляется, и через бимодальность происходит «перекачка» плотности из одного

максимума в другой. Потом снова происходит дрейф к границе. При малых интенсивностях шума срыва не наблюдается и с течением времени устанавливается стационарное состояние. Распределение остается одномерным.

Таким образом, численное изучение эволюционных решений уравнения (1) показало, что в области бифуркации Тьюринга при возрастании интенсивности внешнего шума могут возникать различные типы решений, которым была дана физическая интерпретация: одномерное распределение, одномерное распределение с временной бимодальностью и сложное распределение, при котором происходит чередование одно- и бимодального распределений до установления стационарного. Кроме того, увеличение интенсивности шума разупорядочивает фазу, то есть упорядоченная фаза переходит в упорядоченную фазу с временной бимодальностью, а с дальнейшим ростом интенсивности в упорядоченную фазу с периодической бимодальностью.

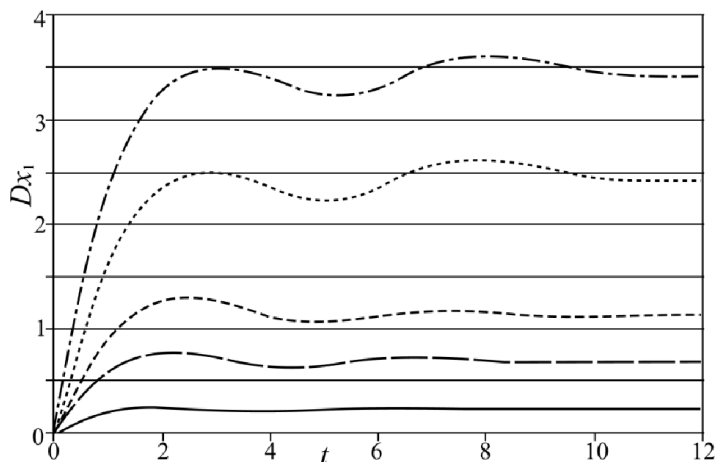
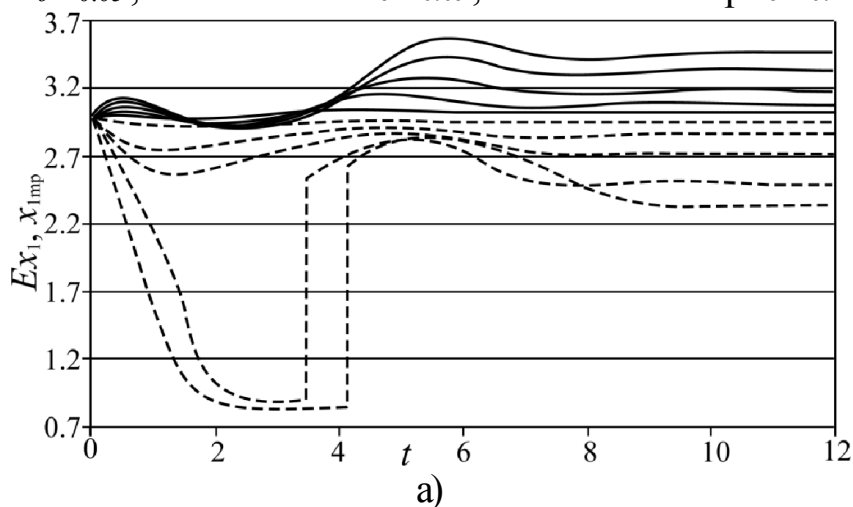


Рис. 1. Зависимости дисперсии Dx_1 концентрации x_1 от времени при увеличении интенсивности шума. Сплошная линия $\theta_1 = \theta_2 = \theta = 0.01$, линия с длинным штрихом $\theta = 0.03$, пунктирная линия $\theta = 0.05$, точечная линия $\theta = 0.09$, линия точка – тире $\theta = 0.12$. $B=6$.



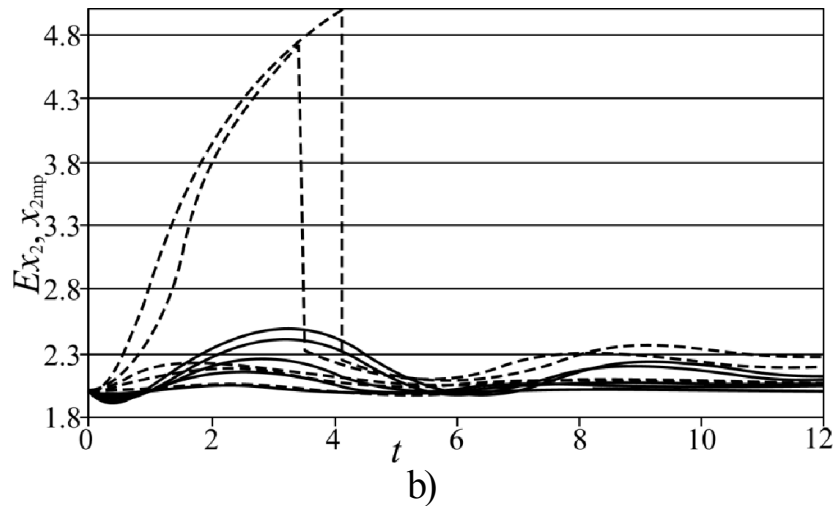


Рис. 2. Зависимости среднего E_x (сплошные линии) и наиболее вероятного x_{mp} (пунктирные линии) значений от времени при увеличении интенсивности шума: а) первого вещества, б) второго вещества. $B=6$. θ_1, θ_2 как на рис.1. Чем больше интенсивность шума, тем больше отклонение значений E_x и x_{mp} от стационарных x_{10} и x_{20} ($t=0$). Исчезновению бимодальности соответствует скачок наиболее вероятного (разрыв первого рода).

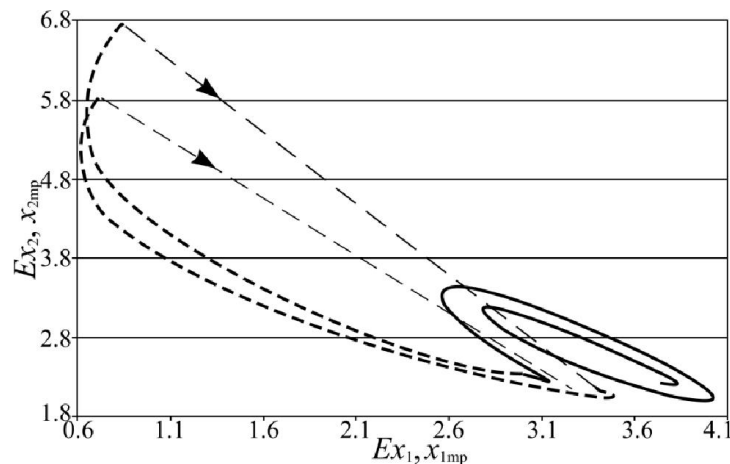


Рис. 3. Изменение среднего (сплошная линия) и наиболее вероятного (пунктирная линия) значений x_1 и x_2 при «перекачке». Представлены два «периода».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prigogine, I. Symmetry breaking instabilities in dissipative systems [Text]/ I. Prigogine, R. Lefever// J. Chem. Phys. 48. –1968.-P. 1696-1697.
2. Kurushina, S.E. Weiss mean-field approximation for multicomponent stochastic spatially extended systems [Text]/ S.E. Kurushina, V.V. Maximov,
3. Samarskii, A.A.. [Text]/ A.A. Samarskii// USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2. –1963.-P. 23. Yu.M. Romanovskii // Phys. Rev. E 90. – 2014.-P. 022135.

ХАОТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ В ТРЕХМОДОВОЙ АППРОКСИМАЦИИ УРАВНЕНИЯ КУРАМОТО – ЦУЗУКИ

Д.С. Фаллер

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва,
Россия*

e-mail: dfaller@keldysh.ru

В настоящей работе была рассмотрена вторая краевая задача для уравнения Курамото – Цузуки:

$$W_t = W + (1 + ic_1)W_x - (1 + ic_2)|W|^2 W,$$

$$W_x(0, t) = W_x(L, t) = 0, \quad W(x, 0) = W_0(x), \quad 0 \leq x \leq L, \quad 0 \leq t \leq \infty$$

Эта задача давно и подробно изучалась многими авторами. Она естественно возникает во множестве различных задач физики, химии, биологии (см., например, [1]). Асимптотический анализ показывает, что это уравнение описывает широкий класс систем типа реакция — диффузия в окрестности (в пространстве параметров) точки бифуркации рождения предельного цикла. Замечательной особенностью этой базовой модели является то, что она описывает неперiodические, хаотические режимы, получившие название «диффузионный хаос» или «химическая турбулентность» [2].

Качественное описание хаотических режимов, возникающих в этой системе, можно получить с помощью перехода к системе обыкновенных дифференциальных уравнений для зависящих от времени амплитуд в схеме Галеркина. В [3] было показано, что двухмодовая система (когда в приближенном решении Галеркина удержаны первые два слагаемых) обладает целым семейством хаотических аттракторов, выяснен сценарий возникновения динамического хаоса при изменении параметров системы, наличие бистабильности и кризисов аттракторов. Целью представляемой работы является исследование тех же вопросов для трехмодовой системы.

Постановка такой задачи диктуется несколькими причинами. Реализация подобной программы для исследования конвективной неустойчивости (приводящего, в частности, к известным уравнениям Лоренца, см., например, [4]) показала, что сами типы аттракторов критическим образом зависят от числа учитываемых галеркинских мод. В частности, было показано, что при увеличении числа гармоник, хаос исчезает. Поэтому важно выяснить, что в нашем случае изменится при увеличении числа гармоник.

До настоящего времени во многом очевидными являются аттракторы, бифуркации и качественные эффекты, связанные с динамическими системами на плоскости (фазовое пространство двумерно). Благодаря ряду исследованных примеров у нас есть ряд интуитивных представлений о

хаотических аттракторах динамических систем в трехмерном фазовом пространстве. Вместе с тем интересно изучить примеры аттракторов в многомерном фазовом пространстве, тем более, что их можно сравнивать с «качественно близким» хаотическим аттрактором в трехмерном пространстве, порождаемым двухмодовой системой. Наконец, как и в большинстве вычислительных экспериментов, в маломодовой хаотической динамике представляет интерес поиск новых качественных эффектов, типов самоорганизации и динамического хаоса. Этот круг вопросов мы и будем рассматривать.

Численный анализ одномерных отображений Пуанкаре и спектров показателей Ляпунова позволили установить ряд характерных особенностей системы. Качественное поведение решений двух- и трехмодовой систем оказались схожими (типы аттракторов, сценарии перехода к хаосу, бистабильность, зависимость ляпуновских показателей от параметров системы). Наиболее чувствительным к изменению числа мод в галеркинской системе оказалось положение поверхностей в пространстве параметров (трехмерном), на которых происходят бифуркации. С этой точки зрения, наличие третьей моды является существенным, хотя ее амплитуда на порядок меньше, чем у первых двух.

В системе существует два различных «типа хаоса». Первый можно назвать «грубым», – его прообразом является отображение $x_{n+1} = \lambda x_n \pmod{1}$, $\lambda > 1$, в котором в малой окрестности (в пространстве параметров) хаотического аттрактора также имеет место хаос (неустойчивость по Ляпунову траекторий на аттракторе), а инвариантная мера, характеризующая хаотические аттракторы, непрерывно зависит от параметров системы. Прообразом второго типа хаоса является хаотический режим, наблюдаемый в логистическом отображении $x_{n+1} = \lambda x_n (1 - x_n)$. В этом случае сколь угодно близко к значению параметра λ_c , при котором имеет место хаос, существуют значения параметра λ_o , при которых аттрактором является цикл. Расчеты показывают, что в нашем случае при разных значениях параметров могут иметь место хаотические аттракторы и того, и другого типа.

Исследование ляпуновских показателей трехмодовой системы показало, что в рассматриваемой области параметров хаотические аттракторы характеризуются одним положительным ляпуновским показателем, хотя в 6-мерном фазовом пространстве трехмодовой системы могли бы быть хаотические аттракторы с двумя положительными ляпуновскими показателями, которые связаны с более сложной хаотической динамикой — гиперхаосом. Вместе с тем расчеты показали необычный эффект — наличие кратных отрицательных ляпуновских

показателей. Возможно, это связано с наличием комплексных решений в системе в вариациях.

Отметим также, что намеченная здесь стратегия исследования динамических режимов, возникающих в системе обыкновенных дифференциальных уравнений, может лечь в основу общей методологии выявления параметров порядка произвольных эволюционных уравнений, т.е. тех параметров, которые фактически определяют поведение всех остальных компонентов диффузионной системы. Построение такой методологии могло бы открыть широкие перспективы в исследовании, проектировании и управлении сложными системами с диффузионным хаосом.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 13-01-00617 и № 14-01-00773).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Структуры и хаос в нелинейных средах. – М.: Физматлит, 2007. – 488 с.
2. Kuramoto Y. Diffusion-induced chaos in reaction systems. *Suppl. Prog. Theor. Phys*, 1978, no. 64, pp. 346-367.
3. Малинецкий Г.Г., Фаллер Д.С. Сценарии перехода к хаосу в двухмодовой системе для моделей «реакция-диффузия» // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2013. – № 67. – 36 с.
4. Странные аттракторы / Ред. Я.Г. Синай, Л.П. Шильников. – М.: Мир, 1981. – 256 с.

СЕКЦИЯ 2. СИНЕРГЕТИКА В ФИЗИКЕ.

СЛОИСТАЯ ПЛАЗМЕННАЯ АНТЕННА

О.Б. Дементьева

*Московский государственный университет технологий и управления,
Москва, Россия*

E-mail: obd_2004@rambler.ru

Во всем мире возрастает интерес к плазменным антеннам. Однако неполнота теории пока не позволяет оптимизировать их конструкции. Исследуем электромагнитные свойства ограниченной холодной плазмы СВЧ разряда на пороге второго ленгмюровского резонанса $\omega_{Le} \rightarrow 2\omega_0$ (субрезонанс). В [1] показано, что самоорганизация в этом режиме приводит к устойчивой пространственно-полевой структуре.

Рассмотрим цилиндрический объем плазмы, созданной СВЧ полем накачки в диэлектрическом баллоне с проницаемостью оболочки ϵ_d .

Плотность электронов максимальна в центре и спадает до нуля на границе с диэлектриком. При этом к нулевому значению n_e подходит плавно, образуя тонкий приграничный слой с малой равновесной плотностью (вакуумная щель). На радиальном профиле $n_e(r)$ найдется интервал, где плазма резонансна для данной частоты внешнего поля. Этот интервал находится на нелинейном участке профиля электронной плотности, который назовем областью трансформации, или волновым слоем. Таким образом, плазма представляет собой систему концентрических слоев с различными значениями ϵ (рис.1).

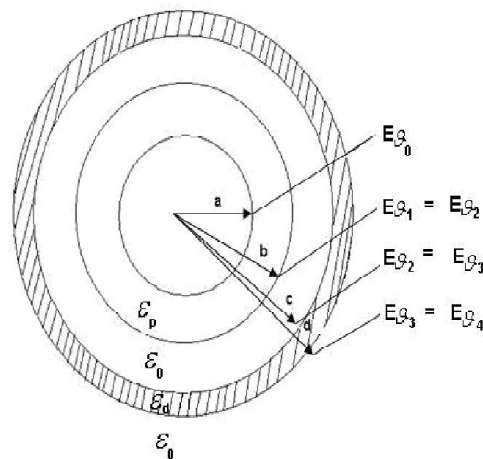


Рис. 1. Сечение баллона с плазмой: а – аксиальная область закритической плазмы, b-a – волновой слой, c-b – вакуумная щель, d-c – диэлектрическая оболочка.

В центральной области, где плотность электронов максимальна, зададим потенциал Φ_0 по дельтаобразному закону, например, с помощью зонда:

$$(E_\theta)_{r=a} = \delta(\cos\theta)\Phi_0/a, \quad (1)$$

Если выполняется условие $\omega_{Le} \rightarrow 2\omega_0$, то, согласно результатам работы [2], мы имеем возможность усиления на частотах ионной ленгмюровской ветви $\omega \sim (10^{-3} - 10^{-4})\omega_{Le}$.

Решение уравнений Максвелла ищем в сферических функциях; на границах слоёв и сред должны выполняться условия непрерывности для тангенциальных компонент полей, вне плазмы – условия Зоммерфельда на излучение [3]. Таким образом, поставлена классическая задача для антенны, окруженной диэлектрическими слоями [4]. Запишем решения типа ТЕМ, разложенные по полиномам Лежандра P_n :

$$(E_\theta)_{r=a} = \frac{\Phi_0}{a} \sum_{n=1,3,5\dots} (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{2n+1}{2^{n+1}} \cdot \frac{(n-1)!}{\left(\frac{n-1}{2}\right)! \left(\frac{n+1}{2}\right)!},$$

$$\begin{aligned}
H_{\varphi i} &= -i\omega\varepsilon_i \sum_n \{A_{in} J_n(k_i r) + B_{in} N_n(k_i r)\} P_n'(\cos\theta), \\
E_{\theta i} &= -\frac{1}{r} \sum_n \{A_{in} \frac{d}{dr}[rJ_n(k_i r)] + B_{in} \frac{d}{dr}[rN_n(k_i r)]\} P_n', \\
E_{r i} &= \frac{2}{r} \sum_n \{A_{in} J_n(k_i r) + B_{in} N_n(k_i r)\} P_n(\cos\theta).
\end{aligned} \tag{2}$$

Во внешней среде ($i = n$) будем иметь:

$$\begin{aligned}
H_{\varphi n} &= -i\omega\varepsilon_0 \sum_n F_n H_n^{(1)}(k_0 r) P_n'(\cos\theta), \\
E_{\theta n} &= -\frac{1}{r} \sum_n F_n \frac{d}{dr}[rH_n^{(1)}(k_0 r)] P_n'(\cos\theta).
\end{aligned} \tag{3}$$

В режиме субрезонанса в СВЧ разряде выполняется условие малой электрической длины во внешней области $k_0 b \lll 1$ и условие существования плазмонов $kr_e \ll 1$ в волновом слое плазмы. Это позволяет ограничиться в разложениях (3) дипольными членами. При этом условия непрерывности упрощаются. Для n -й среды (вакуум) справедливо равенство $A_{i+1} = B_{i+1} = F_n$. Тогда можно получить решение системы (2) – (3) для амплитудного коэффициента полей в дальней зоне F_n :

$$F_n = \frac{27\Phi_0}{k_0 b} \cdot \frac{\left\{ i \frac{3}{4} - \frac{7}{16} \frac{P_3}{P_1} + \frac{11}{32} \frac{P_5}{P_1} \right\}}{\left\{ \frac{a}{b} \left[\left(1 - \frac{b^3}{c^3}\right) \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_p} + \left(2 + \frac{b^3}{a^3}\right) \right] D_I + 3 \frac{c^3}{b^3} D_{II} \right\}}. \tag{4}$$

D_I, D_{II} – функции, характеризующие диэлектрическую оболочку плазмы:

$$D_I = \left(1 - \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_d}\right) \left[2 + \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_0} + 2 \frac{d^3}{c^3} \left(1 - \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_0}\right) \right], \quad D_{II} = \left(1 - \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_d}\right) \left[\left(1 - \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_0}\right) + \frac{d^3}{c^3} \left(1 - 2 \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_0}\right) \right] \tag{5}$$

Из (4) следует, что поле в дальней зоне плазменной антенны резко возрастает при стремлении диэлектрической проницаемости волнового слоя ε_p к малой положительной величине, связанной с диэлектрическими свойствами и геометрией кюветы:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_0} = \frac{\frac{b^3}{a^3} - 1}{\frac{3c^3}{b^3} \frac{b}{a} \frac{D_{II}}{D_I} + \frac{b^3}{a^3} + 2}.$$

Из (4) следует, что в отсутствие вакуумной щели ε_p имеет чисто мнимое значение, пропорциональное диссипативной проводимости, что означает диссипацию поля на электрон - атомных столкновениях.

Отсюда очевидна важность радиального профиля и учета электрострикции.

Мощность излучения найдем по общей формуле [3]:

$$P = \pi \lim_{r \rightarrow \infty} r^2 \int_0^{\pi} E_{\vartheta} H_{\varphi}^* \sin \vartheta d \vartheta.$$

Подставляя сюда выражения для полей в дальней зоне, составим $E_{\vartheta} \times H_{\varphi}$ и, интегрируя с учетом полиномов Лежандра, получим активную мощность излучения:

$$P_a = 2\pi \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \left(\frac{27\Phi_0}{k_0 b} \right)^2 \cdot \frac{1,2432}{\left\{ \left[\left(1 - \frac{b^3}{a^3}\right) \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_p} + \left(2 + \frac{b^3}{a^3}\right) \right] D_I + 3 \frac{c^3}{b^3} D_{II} \right\}^2}.$$

Мы получили для мощности излучения резко возрастающую функцию при малой, но конечной $\varepsilon_p \geq 0$ – проницаемости волнового слоя.

Решение обратной задачи, когда дано внешнее поле (E_n , H_n) и требуется найти наведенный потенциал на внутреннем слое приемной антенны, легко получить из теоремы взаимности. Опуская манипуляции, приведем результат:

$$\operatorname{Re} \frac{\Phi_0}{a} = \frac{F_n}{27} \cdot \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_p} k_0 (b-a) \frac{\left(D_I - 2 \frac{c^3}{d^3} D_{II} \right) \left(-\frac{7}{16} \cdot \frac{P_3}{P_1} + \frac{11}{32} \cdot \frac{P_5}{P_1} \right)}{\left\{ \frac{9}{16} + \left(\frac{7}{16} \cdot \frac{P_3}{P_1} - \frac{11}{32} \cdot \frac{P_5}{P_1} \right) \right\}^2}. \quad (6)$$

Отсюда следует, что наведенный на внутреннем слое СВЧ разряда потенциал Φ_0 пропорционален ширине волнового слоя $b - a$ и обратно пропорционален ε_p . Это обеспечено, прежде всего, параметрами накачки. В выражение для потенциала входит коэффициент усиления по полю G , пропорциональный $\varepsilon_0/\varepsilon_p$. Сопротивление излучения рассчитаем по общей формуле [3]:

$$R_{\Sigma} = P / I_{in}^2, \quad (7)$$

где $I_{in} = 2\pi a H_{\varphi 1}$ – входной ток антенны.

Магнитную компоненту начального поля найдем из уравнения Максвелла

$$-\frac{1}{r} \frac{\partial (r H_{\varphi 1})}{\partial r} = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_0} \frac{\partial E_{g1}}{\partial t}, \quad \text{откуда } H_{\varphi 1} = -i \frac{3\omega \Phi_0}{4} \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_0}. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7), получим выражение для сопротивления излучения:

$$R_{\Sigma} = \frac{2^3 3^4}{\pi a^3} \cdot \frac{1}{k_0 \omega} \cdot \frac{1}{(k_0 b)^2} \cdot \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_p} \frac{2}{\varepsilon_p} \int_0^{\pi} \psi(\vartheta) d(\cos \vartheta) \times f(a, b, c, d, \varepsilon), \quad (9)$$

где

$$f(a, b, c, d, \varepsilon) = \left\{ \frac{a}{b} \left[\left(1 - \frac{b^3}{a^3} \right) \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_p} + \left(2 + \frac{b^3}{a^3} \right) \right] D_I + 3 \frac{c^3}{b^3} D_{II} \right\}^{-2} -$$

– функция, определяющая зависимость от геометрии и диэлектрических свойств кюветы и волнового слоя плазмы. Частотная зависимость $R_{\Sigma}(\omega)$ определяется временной дисперсией ионного звука в волновом слое.

ВЫВОДЫ

Получены решения для слоистой плазменной антенны, связывающие антенные характеристики с параметрами накачки и геометрией кюветы и её диэлектрическими свойствами.

Если параметры накачки обеспечивают слоистую структуру плазмы и в волновом слое выполняются условия возникновения плазмонов, то плазменный объем способен усиливать и излучать поле потенциала, заданного на границе центрального слоя.

При этом важнейшую роль играет волновой слой, где локализируются продольные плазменные волны, а также вакуумная щель между плазмой и диэлектрической стенкой кюветы. Наличие вакуумной щели делает возможным проникновение поля в плазму без отражения на границе.

Решение обратной задачи означает, что такая плазма может усиливать и внешнее электромагнитное поле и, следовательно, выполнять роль приемной антенны.

Условия возникновения плазмонов приводит к тому, что главную роль играют дипольные моды. Это упрощает задачу и позволяет получить решения в аналитическом виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dement'eva O.V. Resonance plasma configuration. Proceedings of the International Conference "Synergetics in the natural sciences", April 2013, Tver (in Russian).
2. Dement'eva O.V. Plasma antennas on subresonant UHF discharge. IEEE Catalog Number CFP2587-CDR. ISBN: 978-1-4673-1941-6, 2012.
3. Кинг З., Смит Г. Антенны в материальных средах, М., МИР, 1984, т.1.

4. Messiaen A.M., Vandenplas P.E. Rayonnement fortement accru présenté par une antenne enrobée d'une gaine diélectrique et d'une couche de plasma. Canadian Journal of Physics, Vol. 45, № 10, p. 3367 - 3380.

ЗАВИСИМОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ САМОГО БЫСТРОГО ПУЛЬСАРА PSR J1748-2446AD С ПОЛИТРОПНЫМ УРАВНЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ ОТ ИНДЕКСА ПОЛИТРОПЫ

В.В. Журавлев, С.А. Михеев, В.П. Цветков

Тверской государственный университет, Тверь, Россия

E-mail: sergjan800@rambler.ru

Наблюдаемые периоды вращения пульсаров колеблются в диапазоне от рекордно низкого 1.39595482(6) мс. у PSR J1748-2446ad [1] до порядка 10 секунд [2].

Минимально возможные периоды вращения пульсаров определяются значениями их центральной плотности ρ_c (массы m) и уравнениями состояния составляющего их вещества.

В нашей работе мы использовали наиболее простое уравнение состояния в виде политропы индекса n [3,4].

Наблюдения за минимально возможными периодами вращения пульсаров T_{min} и их вычисления с использованием различных уравнений состояния позволяют получить уникальную информацию об этих уравнениях.

Обычно считают, что минимально возможному периоду данных конфигураций соответствует момент равенства нулю ускорения свободного падения на экваторе [5]. Это экстремальное состояние соответствует нулевому значению давления в данной области или состоянию невесомости в ней, когда сила тяжести уравновешивается центробежной силой. Самым простым способом оценки минимального периода вращения T_{min} является представление вращающегося пульсара сферически симметричным с радиусом r . Приравняв силу тяготения на единицу массы на его поверхности Gm/r^2 (G - гравитационная постоянная) и величину центробежной силы $(2\pi/T_{min})^2 r^2$, мы получаем оценку:

$$T_{min} = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}} \frac{(r/R)^{3/2}}{(m/M)^{1/2}} = 0.116 \frac{(r/R)^{3/2}}{(m/M)^{1/2}} d, \quad (1)$$

M – масса солнца, R – радиус Солнца.

Существенным недостатком формулы (1) является зависимость T_{min} от двух параметров: r и m . Если масса определяется экспериментально, то радиус должен быть вычислен в рамках какой-либо модели. При получении не учитывается конкретное распределение плотности вращающегося пульсара, которое существенно отличается от однородного и сферически симметричного в случае быстрого вращения.

Оценка по формуле (1) при характерных значениях параметров пульсара $m = M$, $r = 10$ км дает значение $T_{min} = 0.546$ мс. Сравнивая это значения с минимальным периодом наблюдаемого пульсара 1.39595482(6) мы видим, что оно примерно в 2.5 раза меньше.

Расчеты проводились с максимальной погрешностью порядка 10^{-3} на основе разработанного и реализованного авторами комплекса символьно-численных программ в системе символьной математики MAPLE с систематическим использованием полиномов наилучшего приближения в L_2 по степеням координат конфигурации пульсаров [6,7].

Результаты наших расчетов зависимости T_{min} (сек) в зависимости от индекса политропы n и ρ_c / ρ_0 ($\rho_0 = 6.129 \cdot 10^{15}$ г/см³) даны на Рис. 1.

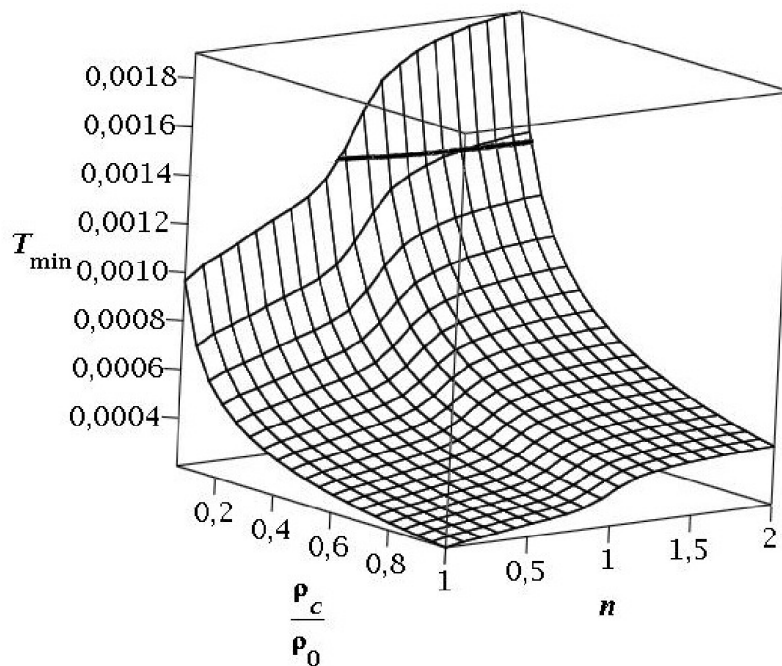


Рис. 1.

Жирной чертой на Рис.1 дано сечение, соответствующее случаю когда значение периода вращения пульсара PSR J1748-2446ad совпадает с $T = T_{min} = 1.39595482(6)$ мс. Этой кривой соответствует график зависимости $\rho_{c\ min}$ от n , представленный на Рис. 2. Так как $T \geq T_{min}$, то $\rho_c \geq \rho_{c\ min}$.

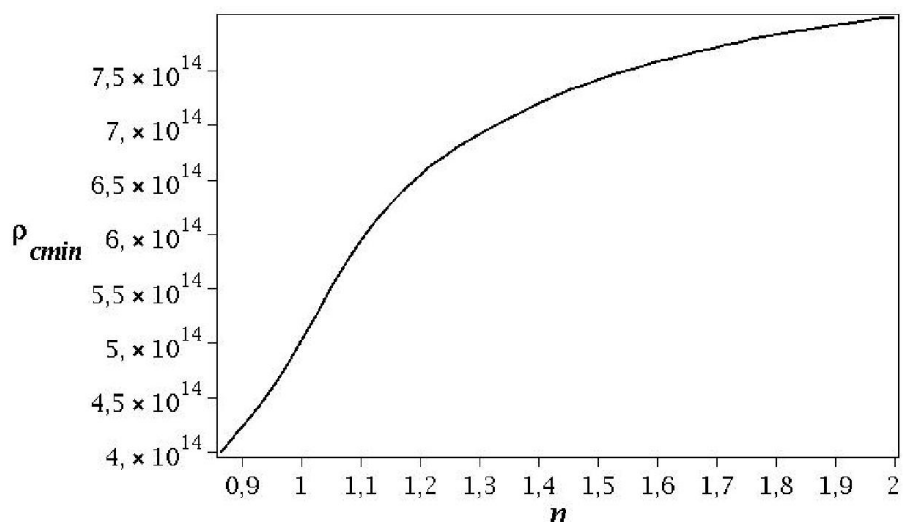


Рис. 2.

Рис. 2 показывает быстрый рост центральной плотности $\rho_{c\min}$ от $3.99 \cdot 10^{14}$ г/см 3 до $6.91 \cdot 10^{14}$ г/см 3 при росте показателя политропы от 1 до 1.3. С дальнейшим ростом индекса n , значение центральной плотности ρ_c асимптотически приближается к значению $7.99 \cdot 10^{14}$ г/см 3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jason W. T. Hessels, Scott M. Ransom, Ingrid H. Stairs, Paulo C. C. Freire, Victoria M. Kaspi, Fernando Camilo. A Radio Pulsar Spinning at 716 Hz // [arXiv:astro-ph/0601337v1](https://arxiv.org/abs/0601337v1), 2006.
2. Taylor J.H., Manchester R.N., and Lyne A.G. Catalog of 558 pulsars // The Astrophysical Journal Supplements Series. 1993 October. v. 88, №2, p. 529-568.
3. Jeans J.H. Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics // Adams Prize Essay for 1917. Cambridge, University Press, 1919, 293 pp.
4. James R.A. The structure and stability of rotating gas masses // The Astrophysical Journal. 1964. v. 140. p. 552-582.
5. Alexander Scholz and Jochen Eislöffel. Rotation and variability of very low mass stars and brown dwarfs near ϵ Ori* // Astronomy & Astrophysics manuscript no.1932, 2008.
6. Беспалько Е.В. и др. Гравитирующая быстро вращающаяся сверхплотная конфигурация с реалистическими уравнениями состояния // Мат. моделирование. 2006. т. 118, №3. с. 103-119.
7. Mikheev S.A., Tsvetkov V.P. Critical points and points of the bifurcation of the rotating magnetized newtonian polytropes with a $1 \leq n \leq 1.6$ index // Physics of Particles and Nuclei Letters. 2013. V. 10, № 3, pp. 234-242.

ОБРАЗОВАНИЕ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩИХСЯ СТРУКТУР В ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ПЛАЗМЕННЫХ СРЕДАХ

^{1,2}Д.И. Завершинский, ^{1,2}Н.Е. Молевич

¹Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П.Королева (национальный исследовательский университет), Самара, Россия

²Самарский филиал Учреждения Российской академии наук Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Самара, Россия

E-mail: dimanzav@mail.ru

В данной работе исследуется вопрос о возможности возникновения самоподдерживающихся структур в плазменных средах, находящихся под действием внешнего магнитного поля, в которых протекают неадиабатические процессы нагрева и охлаждения среды, зависящие от температуры и плотности. Наглядными примерами подобных неадиабатических процессов являются охлаждение оптически тонких сред за счет излучения и нагрев за счет диссипации диамагнитных токов. Наличие процессов такого типа меняет дисперсионные свойства волн в среде и кроме того может приводить к появлению так называемых тепловых неустойчивостей [1]. Тепловые неустойчивости могут существенным образом оказывать влияние на динамику волн в среде. В частности, в газовых средах [2] изоэнтропический тип тепловой неустойчивости может приводить к образованию серии самоподдерживающихся структур.

Исследование динамики волн в плазменных тепловыделяющих средах мы проводили с помощью полной системы магнитогидродинамических уравнений модифицированной с учетом неадиабатических процессов. Эволюция волн изучалась для одномерного случая в декартовой системе координат. В ходе исследования, в линейном приближении были получены дисперсионные уравнения, описывающие альфвеновские волны, быстрые и медленные магнитоакустические волны и тепловые волны. Было показано, что неадиабатические процессы в линейном приближении оказывают влияние только на магнитоакустические и тепловые моды.

Учет лишь диссипативных процессов определяемых теплопроводностью среды, не позволяет описывать устойчивые структуры, которые могут быть реализованы в среде. По этой причине с помощью теории возмущений нами было получено нелинейное эволюционное уравнение с точностью до величин второго порядка малости. Данное уравнение было исследовано аналитически и определены все типы и параметры структур, которые могут существовать в подобных

средах. Наиболее интересным является решение в виде самоподдерживающегося ударноволнового импульса. Данное решение может существовать только в среде в случае отрицательно дисперсии или что то же самое в случае изоэнтропической тепловой неустойчивости. Решение является независимым от начальных условий, единственным ограничением является критическое значение начального возмущения, после которого реализуется другой тип решения, а именно ударная волна с понижением плотности за фронтом. Кроме того, данное решение обладает свойством восстановления формы после взаимодействия.

Указанные выше свойства импульса, так же как и генерация последовательности импульсов были продемонстрированы с помощью численного решения полной системы магнитогидродинамических уравнений по неявной полностью консервативной численной схеме. Реализация других типов решения так же была численно промоделирована.

Работа частично поддержана Минобрнауки РФ в рамках в рамках Программы повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013-2020 гг. и Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проекты № 608, ГР 114091840046, грантом РФФИ 14-02-97030 р_поволжье_a, и стипендией Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики 2013-2015 год

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Field, G.B. Thermal instability [Текст] / G.B.Field // Astrophysical journal. 1965. - V. 142, P. 531-567.
2. Molevich, N.E. Traveling self-sustained structures in interstellar clouds with the isentropic instability [Текст] / N.E. Molevich, D.I. Zavershinsky, R.N.Galimov, V.G. Makaryan // Astrophysics and Space Science. - 2011. - V.334, I.1. – P.35-44.

ВЫЯВЛЕНИЕ ОБЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ

Т. В. Золотова

*Государственное бюджетное профессиональное образовательное
учреждение*

«Нелидовский колледж», Нелидово Тверской области, Россия

e-mail vera572009@rambler.ru

***Всё наблюдаемое нами, всё, в чем сегодня участвуем –
это лишь фрагменты единого синергетического процесса...***

В этом, 2015 г. научная общественность будет отмечать 55-летний юбилей создания лазера. Его изобретение стоит в одном ряду с наиболее выдающимися достижениями XX века: овладением ядерной энергией, освоением космоса, созданием радиолокационных устройств и производством компьютеров.

Первый работающий лазер продемонстрировал сотрудник исследовательской лаборатории крупной американской авиастроительной компании «Hughes Aircraft» (г. Малибу, штат Калифорния) Теодор Мейман. Активным веществом в нем служил рубин – минерал, состоящий из оксида алюминия с небольшой примесью хрома, придающего ему красный цвет. Ученый понял: разделенные большими промежутками атомы хрома могут «светить» не хуже газа. Для получения оптического резонанса он напылил тонкий слой серебра на полированные параллельные торцы небольшого цилиндра из синтетического рубина, изготовленного по специальному заказу фирмой «Union Carbide», и поместил его в спиральную трубку, дающую яркие световые вспышки. 16 мая 1960 г. из такого нехитрого, но изящного и компактного устройства вырвался яркий луч света. С этого события, отмеченного в рабочей тетради Т. Меймана, и начался реальный прорыв человечества в лазерный век.

Лазеры в химии. Широкое использование лазеров в химии началось в конце 60-х годов, когда в руках исследователей появились перестраиваемые по частоте лазеры, которые обеспечили возможность селективного возбуждения любых атомов и молекул.

Монохроматичность лазерного излучения позволяет добиться высокой селективности возбуждения не только определенных атомов или молекул, находящихся в смеси с другими атомами и молекулами, но и высокой селективности возбуждения определенных химических связей в молекуле. Возбужденные атомы, молекулы, химические связи значительно легче вступают в химические реакции, чем невозбужденные, определяя тем самым основные процессы, происходящие в реакционной смеси.

Высокая интенсивность излучения позволяет возбудить значительное число молекул вещества, находящегося в облучаемом объеме. Под воздействием излучения высокой интенсивности могут происходить многофотонные процессы, в результате которых каждая молекула одновременно поглощает не один, а несколько фотонов. Этот процесс может привести к образованию молекулы, энергия возбуждения которой превышает энергию ее диссоциации.

Лазеры в биологии. Применение лазеров в биологии основано на использовании широкого круга явлений, связанных с разнообразными проявлениями взаимодействия света с биологическими объектами. Лазерное излучение, так же как и обычный свет, может отражаться, поглощаться, рассеиваться биологической средой, и каждый из этих процессов несет информацию о микро- и макроструктуре этой среды, движении и форме отдельных ее составляющих. Видимый и ультрафиолетовый свет могут оказывать фотобиохимическое действие. Яркими примерами этого являются фотосинтез растений и бактерий, а также механизм зрения. Высокоинтенсивное световое излучение ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов длин волн оказывает разрушающее действие на биологические объекты.

Лазеры в медицине. Лазеры находят широкое применение в медицинской практике и прежде всего в хирургии, онкологии, офтальмологии, дерматологии, стоматологии и других областях. С помощью лазеров выполняются сложнейшие операции на мозге. Мощный лазерный пучок соответствующего диаметра уничтожает злокачественную опухоль. Мощными лазерными импульсами (длительностью порядка миллисекунды и меньше) «приваривают» отслоившуюся сетчатку. С помощью лазера производят приварку сетчатки глаза. Для микрохирургии по лечению глаукомы служат аргоновые лазеры. Для коррекции зрения давно и успешно используются эксимерные лазеры. В дерматологии с помощью лазерного излучения лечат многие тяжелые и хронические заболевания кожи, а также выводят татуировки. При облучении лазером активируется регенеративный процесс, происходит активация обмена клеточных элементов.

Лазер в информационных технологиях. С появлением полупроводниковых лазеров появилась возможность использования их для записи и чтения информации на информационных носителях – лазерных компакт-дисках. В настоящее время лазерные компакт-диски широко используются как для хранения компьютерной информации, так и для хранения и распространения музыкальных программ, предназначенных для воспроизведения на лазерных проигрывателях.

Лазер в голографии. Голография – объёмная фотография. Использование лазера при фотографировании позволяет получить на фотопластинке или фотобумаге закодированное в виде интерференционной картины трёхмерное изображение объекта, которое проявляется при освещении фотопластинки лучом лазера той же частоты, что использовалась при съёмке. Голография находит широкое применение в различных отраслях науки, техники, метрологии и т.п.

Лазер в термоядерном синтезе. Высокая энергия лазерного излучения позволяет использовать его при термоядерном синтезе. Как известно, такой синтез протекает только при очень высоких температурах порядка 10000 и более градусов. Получить такую температуру при помощи традиционных средств затруднительно. Лазер, а ещё лучше комбинация нескольких лазеров, позволяет достигнуть подобных температур в течение долей секунды.

Лазеры в военном деле. На основе лазеров создаются различные системы распознавания объектов по принципу «свой-чужой», системы самонаведения ракет и бомб. Существуют планы создания космического лазерного оружия. К настоящему времени сложились основные направления, по которым идет внедрение лазерной техники в военное дело. Сейчас получены такие параметры излучения лазеров, которые способны существенно повысить тактико-технические данные различных образцов военной аппаратуры.

Лазерная сварка. Применение лазера в сварке является наиболее перспективной технологией для промышленного использования в связи с разработкой мощных лазеров с непрерывным и импульсно-периодическим действием. Лазерная сварка с глубоким проплавлением позволяет сваривать толстые слои материалов с большой скоростью при минимальном тепловом воздействии на материал, прилегающий к зоне расплава, что улучшает свойства сварного шва и качество сварного соединения.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что выявление и использование общих закономерностей действия лазеров в различных областях, предполагает междисциплинарность. В свою очередь междисциплинарность означает сотрудничество представителей различных научных дисциплин в разработке синергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букина Е.Я. Синергетика и современное научное познание: метод. указания. Новосибирск, 2012
2. Верещагин И.А. Паранаука XX века. Синергетика. Гиперсимметрия. 2014. ISBN: 5 – 89009 – 034
3. Дмитриева В.Ф. Физика. Учебник для профессий и специальностей технического профиля, М., 2011
4. Климонтович Н.Ю. Без формул о синергетике. Минск, 1986
5. Метафизика точных наук, синергетика. Автор: Верещагин И.А. 2012 Издательство: ДС Сфера, 2012. ISBN: 5–9009–007–4
6. Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Физика для профессий и специальностей технического и естественнонаучного профилей. Решения задач. М.: 2013

НЕЛИНЕЙНЫЕ ФАКТОРЫ В КИНЕТИКЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ ОЛИГОМЕРНЫХ СМОЛ

А.В. Косарев

*ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия*

E-mail: aleteia@inbox.ru

Отверждение олигомерных смол является одним из процессов, играющих важную роль в химической технологии полимеров. По механизму отверждения происходит формирование полимерных материалов на основе термореактопластов, при формировании изделий из реактопластов, процессы склеивания, герметизации и формирования лаковых пленок. Нами разработаны математические модели, характеризующие отверждение смол ЭД-20, СФ-342А, ПН-15. Найдены соотношения для объемов глобулярной фазы отвержденных смол как функция молекулярных параметров отверждающейся системы (молекулярного объема, функциональности), определены объемные доли отвержденной фазы. Моделирование процесса отверждения реализовывалось в рамках глобулярного подхода к формированию структуры сетчатого полимера [1]. Общий алгоритм моделирования включал в себя следующие стадии: составление кинетической схемы отверждения; выбор фрагмента молекулярной структуры, отвечающего слою отверждения, нахождения объема формирующейся глобулярной фазы как функции числа ее слоев; нахождение изменения объема полимерной фазы из кинетических данных процесса отверждения, определение максимального количества слоев глобулярной системы в точке гелеобразования, определение объемной доли олигомерной смолы, отвержденной в сетчатый продукт. При рассмотрении отверждения смолы ЭД-20 учитывалось, что этот процесс протекает по механизму поликонденсации с отвердителем ПЭПА, для смолы СФ-342А - по механизму поликонденсации без отвердителя, для смолы ПН-15 - по свободнорадикальному механизму в присутствии стирола.

Рассмотрим процесс отверждения смолы ЭД-20 в присутствии отвердителя ПЭПА. Выражение для объема V_p полимерной фазы, формирующейся в ходе отверждения, имеет вид:

$$V_p = \omega N_h \left[V_h + \varphi_h \left(\sum_i^{n/2} 3^{i-1} V_{ol} + \sum_j^{n/2} 3^{j-1} V_h \right) \right], \quad (1)$$

где ω – мольная доля активированных молекул отвердителя, N_h – общее число молекул отвердителя в системе; V_{ol} и V_h - объемы молекул

олигомера и отвердителя соответственно; ϕ_h – функциональность молекул отвердителя; n – число слоев глобулы отвержденной системы в точке гелеобразования.

С другой стороны, величина объема V_p может быть задана в рамках кинетической модели соотношением:

$$V_p = V_0(1 - e^{-k_p \tau}), \quad (2)$$

где V_0 – объем смолы до отверждения; k_p – константа скорости отверждения; τ – время гелеобразования. Сопоставление уравнений (1) и (2) позволяет найти вид выражения для максимального числа слоев n глобулы в точке гелеобразования:

$$n = 2 \left(1 + \frac{\lg \chi}{\lg 3} \right), \quad (3)$$

где χ – параметр, учитывающий фактор структуры в процессе отверждения:

$$\chi = \frac{2}{(V_{ol} + V_h)\phi_h} \left[\frac{V_0(1 - e^{-k_p \tau})}{\omega N_h} - V_h \right] \quad (4)$$

Величина w_r объемной доли смолы ЭД-20, отвержденной в сетчатый продукт может быть найдена следующим образом:

$$w_r = 1 - e^{-k_p \tau} \quad (5)$$

Рассмотрим теперь процесс отверждения смолы СФ-342А в присутствии отвердителя ПЭПА. Данная реакция протекает без участия отвердителя по механизму поликонденсации, с образованием воды в качестве побочного продукта. Выражение для объема V_p полимерной фазы, формирующейся в ходе отверждения, имеет вид:

$$V_p = 3 \cdot 2^{n-2} V_m \omega N_o, \quad (6)$$

где V_m – объем молекулы олигомерной смолы; ω – мольная доля активированных молекул олигомерной смолы; N_o – общее число молекул олигомерной смолы в системе; n – число олигомерных слоев в глобулярной структуре в точке гелеобразования.

Величина V_p , найденная в рамках кинетической модели, задается выражением (2). Тогда величина n определяется следующим образом:

$$n = 2 + \frac{\lg \chi}{\lg 2}, \quad (7)$$

где фактор структуры χ задается следующим образом:

$$\chi = \frac{V_0(1 - e^{-k_p \tau})}{3V_m \omega N_o} \quad (8)$$

Величина w_r объемной доли смолы СФ-342А, отвержденной в сетчатый продукт задается соотношениям (5).

Рассмотрим теперь процесс отверждения полиэфирной смолы ПН-15. Он осуществляется по свободнорадикальному механизму в присутствии стирола в качестве сшивающего агента. Объем полимерной фазы V_p составит:

$$V_p = 2\omega N\varphi_r(V_1 + V_2)(\varphi_r - 1)^{n-5}, \quad (9)$$

где ω - мольная доля активированных молекул олигомера, N – общее количество молекул олигомера; V_1 – объем структурного элемента молекулы олигомерной смолы; V_2 – объем молекулы стирола соответственно; φ_r – функциональность молекул олигомера; n – максимальное число слоев глобулярной системы в точке гелеобразования [2].

Величина n определяется согласно выражению:

$$n = \frac{\lg V_p - \lg \chi}{\lg((\varphi_r - 1))} + 5, \quad (10)$$

где фактор структуры χ задается следующим образом:

$$\chi = \omega N\varphi_r(V_1 + V_2) \quad (11)$$

С помощью кинетического моделирования нами показано, что объем стирола, израсходованного на отверждение смолы ПН-15 в точке гелеобразования, задается соотношением:

$$V_{s\tau} = v\tau, \quad (12)$$

где v – объемная скорость расходования стирола, τ – время достижения точки гелеобразования.

$$V_r = V_{0r} \exp\left(-k_p v \frac{\tau^2}{2}\right), \quad (13)$$

где V_{0r} – объем исходной (неотвержденной) олигомерной смолы; k_p – константа скорости отверждения.

Величины объемных долей φ_s стирола и φ_r смолы ПН-15, отвержденной в сетчатый продукт определяются следующим образом:

$$\varphi_s = \frac{V_{s\tau}}{V_{s0}} \quad (14); \quad \varphi_r = \frac{V_r}{V_{r0}} \quad (15)$$

Модель позволяет прогнозировать изменение технологических параметров отверждения до точки гелеобразования и актуальна для решения задач химической технологии и полимерного материаловедения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Межиковский С.М. Иржак В.И. Химическая физика отверждения олигомеров.- Ин-т хим. Физики им. Н. Н. Семенова РАН. - М.: Наука, 2008. -269 с.
2. Kosarev A.V., Studentsov V.N. A layered model of the curing kinetics of oligomer resins // International Polymer Science and Technology.-2014,Vol. 41, Issue 8.- P. 49-54

ОБ ОДНОЙ «ВЫРОЖДЕННОЙ» НЕАВТОНОМНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ТРЕНИЕМ НАСЛЕДСТВЕННОГО ТИПА

В.С. Метрикин

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия
E-mail: v.s.metrikin@mail.ru*

В работе Н.В. Бутенина [1] рассмотрены примеры «вырожденных» механических систем с трением типа Кулона – Амонтона, в которых, для разрешения парадокса Пенлеве и обоснования гипотезы «скачка» Прандтля, предложено учитывать упругость элементов системы. Коэффициенты трения скольжения и относительного покоя (КТОП) принималась постоянными. Было показано, что в зависимости от начальных условий и параметров системы возникают периодические движения с определенной частотой и амплитудой.

Однако, согласно гипотезе, выдвинутой в работе академиков А.Ю. Ишлинского и И.В.Крагельского[2], КТОП при взаимодействии двух движущихся тел не является постоянной величиной, а есть монотонно возрастающая функция времени t_k длительного контакта этих тел. В этой связи рассмотрим фрикционные автоколебания динамической системы (рис.1) в предположении, что коэффициент трения скольжения о движущуюся со скоростью V ленту постоянен, а КТОП $f_{оп}$ является монотонно возрастающей функцией $t = t_k$

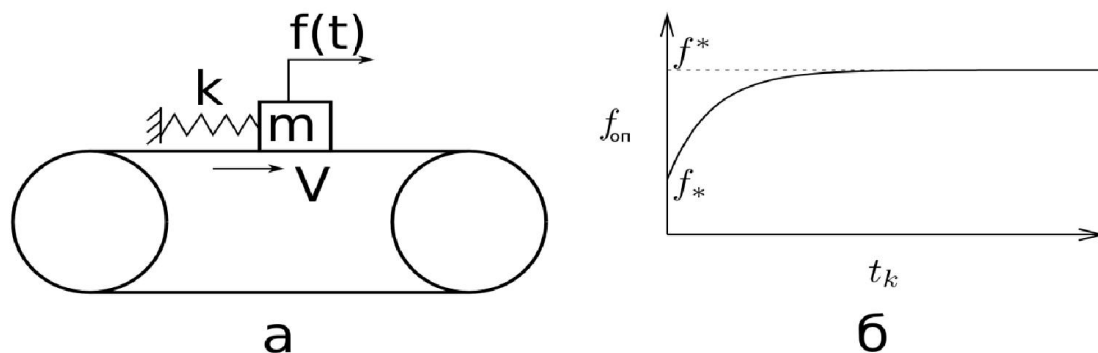


Рис.1

Вводя безразмерные время $\tau = \omega t$, координату $x = f_* p \xi / c$ и параметры $\omega = \sqrt{c/m}$, $\theta = V \sqrt{mc} / (f_* p)$, получим уравнения движения приведенной выше системы в безразмерном виде (случай $f(t) = 0$)

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} + \dot{\xi} &= -\text{sign}(\dot{\xi} - \theta), \dot{\xi} \neq \theta \\ |\dot{\xi}| \leq 1 + \varepsilon_k, \dot{\xi} &= \theta \\ \varepsilon(\tau) &= (f_{\text{оп}} - f_*) / f_*, \varepsilon_k = \varepsilon(\tau_k) \end{aligned} \quad (1)$$

Из структуры системы (1) и проведенного несложного анализа можно установить, что на фазовой плоскости $(\xi, \dot{\xi})$ имеется отрезок $l(-1 \leq \xi \leq 1, \dot{\xi} = \theta)$ стыка фазовых траекторий [3,4]. Попадая на отрезок l изображающая точка движется по нему и, достигнув его правого конца, будет всегда продолжать движение по прямой $L(\xi > 1, \dot{\xi} = \theta)$ до момента, определяемого из второго уравнения системы (1). Движение изображающей точки по прямой l и затем до момента τ_{k+1} соответствует длительному перемещению тела совместно с лентой со скоростью θ . Если изображающая точка попадает на прямую $\dot{\xi} = \theta$ в область $|\xi| > 1, \dot{\xi} = \theta$, то происходит мгновенная смена знака относительной скорости и скорость тела начинает либо опережать скорость ленты, либо отставать от нее.

Неявное соотношение, связывающее продолжительности двух последовательных интервалов длительного контакта τ_k и τ_{k+1} (функция последования [3,4]), можно записать в виде

$$\psi(\tau_{k+1}) = \varphi(\tau_k),$$

где

$$\begin{aligned} \psi(\tau) &= \theta \tau - \varepsilon(\tau) \\ \varphi(\tau) &= 1 - (-1)^j (\varepsilon(\tau) - 2j + 1), 2(j-1) < \varepsilon(\tau) < 2j, j = 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Проследим за поведением фазовых траекторий в зависимости от параметров θ и $\varepsilon_* = (f^* - f_*) / f_*$ в случае кусочно-постоянной формы КТОП.

1. $0 < \varepsilon_* < 2(j=1)$. На рис.2 представлена бифуркационная диаграмма [4,5] для скорости $\theta = 1.7$. По оси абсцисс отложен параметр ε_* , а по оси ординат продолжительность остановки тела. Из этого рисунка следует, что при малых ε_* существуют периодические режимы с одной длительной остановкой, величина которой возрастает с увеличением ε_* . Затем с увеличением параметра ε_* (характеризующего форму и размах КТОП), как и ожидалось, происходят бифуркации удвоения периода Фейгенбаума [4] и в дальнейшем возникают хаотические режимы

движения тела. Движения такого типа, как известно, не обнаруживаются в системах с постоянным КТОП.

2. $2 < \varepsilon_* < 4 (j=2)$. При $\theta > 2$ в системе происходят безостановочные движения тела. Уменьшая θ до тех пор, пока значение функции $\psi(\tau)$ в точке $\tau = \varepsilon_*$, станет равным 2, получим уравнение границы, отделяющей стохастический режим движения от периодических режимов (циклов кратных точек [3-5]). Эта граница $\psi(\varepsilon_*) = 2$ задается уравнением $\theta = (2 + \varepsilon_*) / \varepsilon_*$.

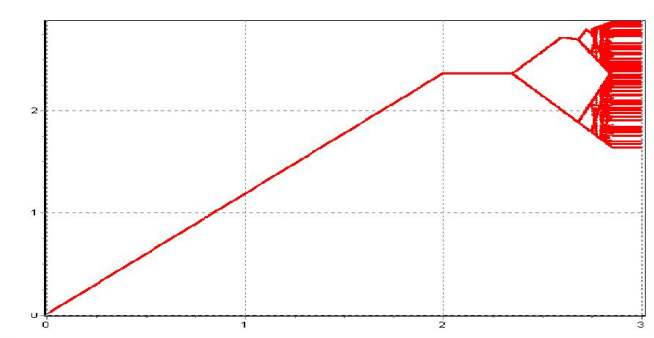


Рис.2

При дальнейшем уменьшении скорости появляется «форточка» в пространстве параметров, определяющая периодические движения с несколькими длительными остановками тела (циклы кратных точек). Уравнение этой границы $\theta = 4 / \varepsilon_*$, которая определяет область значений параметров, при которых существуют периодические движения с произвольным числом n длительных остановок (смотри рисунки 3 и 4)

Таким образом, при $2 < \varepsilon_* < 4$ будем иметь следующее:

- $\theta > 2$ - безостановочное движение;

- $\frac{2 + \varepsilon_*}{\varepsilon_*} < \theta < 2$ - "1-оборотный" стохастический режим.

- $\frac{4}{\varepsilon_*} < \theta < \frac{2 + \varepsilon_*}{\varepsilon_*}$ - циклы кратных точек.

- $0 < \sigma < \frac{4}{\varepsilon_*}$ - "1-оборотный" периодический режим (Рис.5и Рис.6)

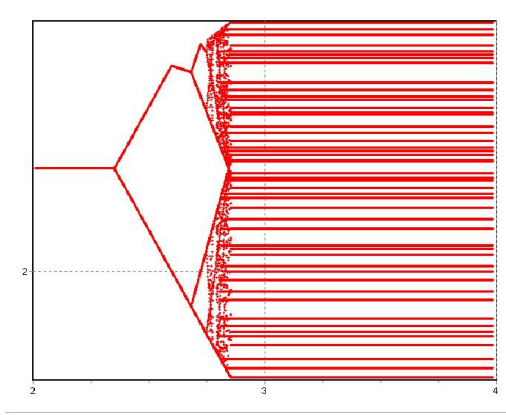


Рис.3

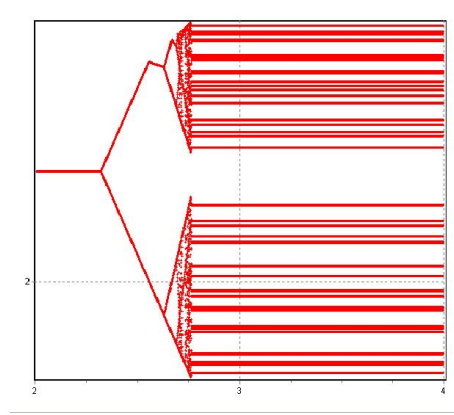


Рис.4

Аналогичные рассуждения для следующих значений ε_* позволяют указать точные границы различных типов движений и выделить области с различным поведением фазовых траекторий.

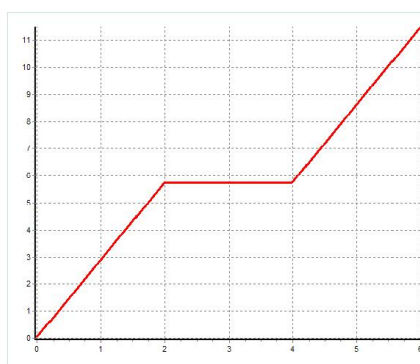


Рис.5

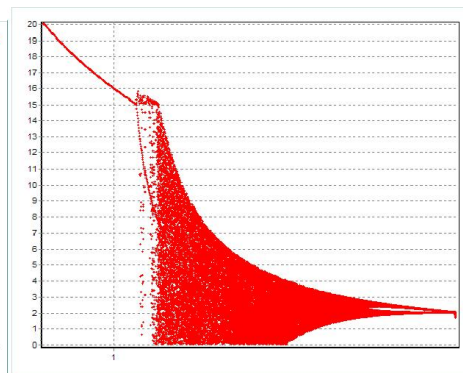


Рис.6

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутенин Н.В. Рассмотрение «вырожденных» динамических систем с помощью гипотезы «скачка» // ПММ. Т.Х11. №1. 1948.
2. Ишлинский А.Ю., Крагельский И.В. О скачках при трении. // Журнал технической физики. 1944. Том 14. Выпуск 4/5. С.276-282.
3. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний.- М.: Физматгиз, 1959.- 915 с.
4. Шустер Г. Детерминированный хаос. М.: Мир, 1988. – 237 с.
5. Метрикин В.С., Нагаев Р.Ф., Степанова В.В. Периодические и стохастические автоколебания в системе с сухим трением наследственного типа // ПММ, 1996.Т.60. Вып. 5. С.859-864.

МИНИМАЛЬНЫЙ ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ С УРАВНЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ВЫРОЖДЕННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА И ОГРАНИЧЕНИЯ НА ЗНАЧЕНИЯ ИХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

С.А. Михеев, В.П. Цветков

Тверской государственный университет, Тверь, Россия

E-mail: sergjan800@rambler.ru

Из наблюдений минимально возможного периода вращения белых карликов T_{min} и их вычислений с использованием различных уравнений состояния можно получить уникальную информацию об этих уравнениях. Использование новых математических подходов в теории вращающихся гравитирующих конфигураций, а именно, методов символьно-численных вычислений, позволяет поднять эту задачу на новый качественный уровень [1,2,3].

Хорошо известно [4], что равновесные конфигурации белых карликов определяются давлением вырожденного электронного газа. В достаточно хорошем приближении этот ферми-газ можно считать идеальным и полностью вырожденным [5].

Минимально возможные периоды вращения белых карликов определяются значениями их плотности в центре ρ_c (массы m) и уравнениями состояния составляющего их вещества. Характерный диапазон плотностей белых карликов имеет порядок $10^6 - 10^9$ г/см³, что соответствует массам $(0.3 - 1.4)m_{\odot}$ [5].

Наблюдаемые периоды вращения белых карликов колеблются в диапазоне от рекордно низкого 13.18 сек. у RX J0648.0-4418 с массой $(1.28 \pm 0.05)m_{\odot}$ [6] до 100 и более часов [7].

В данной работе проведено вычисление минимального периода вращения белых карликов T_{min} с максимальной возможной точностью в математической модели с использованием уравнений состояния идеального вырожденного электронного газа.

При анализе ограничений на значения центральной плотности ρ_c и химический состав белого карлика, характеризуемого параметром $\mu_e = A/Z$ (A - атомный номер элемента, Z - его порядковый номер), мы будем исходить из соотношения $T \geq T_{min}$. Из него следует, что $\mu_e = \mu_e(\rho_c)$ и имеют место соотношения $\mu_{emin} \leq \mu_e \leq \mu_{emax}$, $\rho_{cmin} \leq \rho_c \leq \rho_{cmax}$.

Расчеты проводились с максимальной погрешностью порядка 10^{-3} на основе разработанного и реализованного авторами комплекса символьно-численных программ в системе символьной математики MAPLE с

систематическим использованием полиномов наилучшего приближения в L_2 по степеням координат конфигурации белых карликов.

Для построения математической модели вращающегося белого карлика использовалось интегральное уравнение в R^3 с граничными условиями, которые учитывают сложный характер поверхности конфигурации в виде возмущенной эллипсоидальной поверхности. Решение данной системы позволило построить приближенное аналитическое решение с точностью порядка 10^{-9} в метрике L_2 , описывающее конфигурацию белого карлика. Это дало возможность получить аналитические выражения для минимального периода T_{min} (1) и массы вращающихся белых карликов m (2).

$$T_{min}(k_0) = \mu_e^{-1/2} \tilde{T}_{min}(k_0) = \mu_e^{-1/2} \sqrt{\frac{\pi}{G\rho_0 k_0^{3/2} \varepsilon_{max}(k_0)}}, \quad (1)$$

$k_0 = (\rho_c/\rho_0)^{2/3}$, $\rho_0 = 0.9823 \cdot 10^6$ г/см³, $\varepsilon = \omega^2/(4\pi G\rho_c)$, ω - угловая скорость вращения белого карлика, $\varepsilon_{max}(k_0)$ - максимальное значение параметра быстроты вращения ε при фиксированном значении параметра k_0 (ρ_c).

$$m(e, k_0) = \mu_e^{-2} \tilde{m}(e, k_0) m_{\odot} = \mu_e^{-2} \left(\frac{m_e c^2 k_0^{1/2}}{4\pi m_n G \rho_0^{1/3} K_0} \right)^{3/2} e \int_D \tilde{\rho}(e, k_0) dx_1 dx_2 dx_3, \quad (2)$$

m_e - масса электрона, m_n - масса нейтрона, c - скорость света, $K_0 = g^{(e)} c^2 / (4\pi G \rho_0^{(e)} k_0^{1/2} a_1^2)$, $g^{(e)} = m_e / (\mu_e m_n)$, $x_1 = x/a_1$, $x_2 = y/a_1$, $x_3 = z/a_3$, a_1 , a_3 - соответственно большая и малая полуоси сфероида, аппроксимирующего поверхность конфигурации, $e = a_3/a_1$, $\tilde{\rho} = \rho/\rho_c$, ρ - плотность конфигурации. Область D в (2) определяется условием $\tilde{\rho} \geq 0$.

Показано, что при приближении периода вращения конфигурации T к T_{min} масса белого карлика возрастает почти вдвое по сравнению с отсутствием вращения при фиксированной центральной плотности.

Далее получена система уравнений и неравенств, позволяющая найти ограничения на значения параметров ρ_c и μ_e белого карлика RX J0648.0-4418 с известными значениями периода вращения и массы:

$$\mu_e = \sqrt{\frac{\tilde{m}(e, k_0)}{1.28}},$$

$$\mu_e = \frac{\pi}{T^2 G \rho_0} \frac{1}{\varepsilon(e, k_0) k_0^{3/2}}, \quad (3)$$

$$T \geq T_{min} \approx 39.16 (\mu_e k_0^{3/2})^{-0.496}.$$

Численное решение (3) представлено в виде графика на Рис. 1.

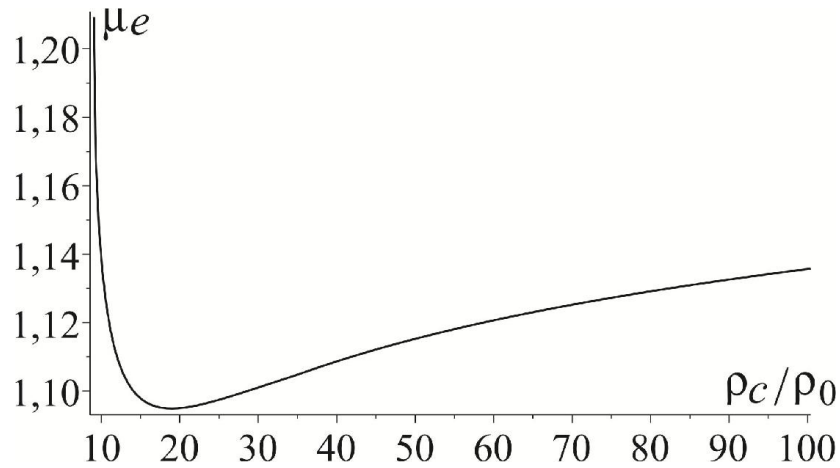


Рис. 1: зависимость μ_e от ρ_c/ρ_0 .

Анализ этого графика показывает, что зависимость μ_e от ρ_c имеет достаточно сложный характер. При этом параметры μ_e и ρ_c изменяются в интервалах: $1.09 \leq \mu_e \leq 1.21$, $9.04 \leq \rho_c/\rho_0 \leq 10^3$ ($\rho_0 = 0.98 \cdot 10^6$ г/см³). Полученный интервал значений параметра μ_e указывает на то, что белый карлик RX J0648.0-4418 не может быть полностью водородным. Он должен содержать не менее 9% и не более 21% тяжелых элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михеев С.А., Цветков В.П. Полиномиальное и политропное приближения в уравнении равновесных постньютоновских вращающихся конфигураций вырожденного нейтронного газа. // Письма в ЭЧАЯ, т. 7, № 1(157), с. 8-13, 2010.
2. Беспалько Е.В. и др. Гравитирующая быстровращающаяся сверхплотная конфигурация с реалистическими уравнениями состояния. // Мат. моделирование. 2006. т. 118, №3. с. 103-119.
3. Mikheev S.A., Tsvetkov V.P. Critical points and points of the bifurcation of the rotating magnetized newtonian polytropes with a $1 \leq n \leq 1.6$ index. // Physics of Particles and Nuclei Letters. 2013. V. 10, № 3, pp. 234-242.
4. Фортов В.Е. Уравнения состояния вещества от идеального газа до кварк-глюонной плазмы. // Физматлит, 2012.

5. Шапиро С., Тюкольский С. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. // Ч.1-2, М.: Мир, 1985.
6. S. Mereghetti. RX J0648.0-4418: the fastest-spinning white dwarf. // Proceedings of 13th Marcel Grossman Meeting (MG13), Stockholm, Sweden, 1-7 July 2012, 2013.
7. Alexander Scholz and Jochen Eislöffel. Rotation and variability of very low mass stars and brown dwarfs near ϵ Ori*. // Astronomy & Astrophysics manuscript no.1932, 2008.

МЕТРИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИЛЛЮЗИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ

Т.А. Ракчеева

Институт машиноведения им А.А.Благонравова РАН

Россия, 117334, Москва, Бардина, 4

rta_ra@list.ru

Оптические иллюзии - объективно существующий механизм зрительного восприятия человека. Они носят устойчивый, систематический характер и проявляются при восприятии любых модальностей даже у людей, знающих об их существовании. Наблюдаемые «ошибочные» образы человек, как правило, не может «откорректировать» по своему желанию, несмотря на ясное представление того, что он должен был бы видеть, если бы его зрение объективно отражало параметры наблюдаемого образа. Для специалистов ряда профессий влияние иллюзий на результат их профессиональной деятельности, основанной на зрительных оценках метрических характеристик, весьма критичен. В связи с этим представляется важным исследовать природу зрительных иллюзий, вариативность их относительно метрических факторов, а также возможность компенсации этих иллюзий, обеспечивающей более адекватное решение профессиональных задач.

Феномен иллюзий является предметом внимания исследователей разных областей знания уже более двух тысяч лет. Систематическое изучение зрительных иллюзий началось примерно с середины 19 века: за это время было создано множество тестовых изображений, демонстрирующих наличие значительных систематических ошибок в оценке размеров и формы геометрических фигур. Все результаты, в основном, сводятся к той или иной классификации известных иллюзий и гипотез о природе их возникновения. Большинство экспериментальных исследований нацелены на подтверждение существования зрительных иллюзий и выявление групп людей, наиболее подверженных этим иллюзиям. Значительно меньше работ

содержит исследования математических закономерностей, обуславливающих количественные характеристики зрительных иллюзий и способы их компенсации.

В основе зрительных иллюзий лежит то обстоятельство, что на формирование видимого образа данного объекта всегда в большей или меньшей степени влияют объекты, располагающиеся по соседству с ним в поле зрения. Иными словами, наше зрительное впечатление о величине и форме объекта зависит от контекста, в котором он рассматривается. Это свойство нашего зрения было замечено давно. В частности, было обнаружено, что на воспринимаемую длину, кривизну и ориентацию линий большое влияние оказывают размеры фигур, в которые они включены, а также наличие прилегающих или пересекающих линий.

Область, где оптическим иллюзиям должно быть уделено большое внимание, — это инженерная психология. Развитие автоматизации, необходимость быстрых оценок ситуации по тем или иным показаниям многочисленных приборов или результатам тестов заставляют обратить внимание на возможную опасность, связанную с точностью зрительных оценок.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию зрительной иллюзии пересечения (Поггендорфа) – иллюзии, возникающей в результате пересечения линией некоторой полосы. При зрительном восприятии наклонной линии, частично проходящей за непрозрачным объектом, возникает ошибка, связанная с неадекватной экстраполяцией продолжения линии после прохождения ее за объектом. Прохождение линией полосы, её продолжение смещается в зрительном восприятии на значительную величину.

Цель работы состояла в исследовании факторов, которые могут влиять на возникновение иллюзии и степень её выраженности, а также в получении количественных оценок величины иллюзии в зависимости от параметров этих факторов.

Структуризация общей постановки задачи разбивает ее на ряд следующих основных вопросов:

- имеет ли место зрительная иллюзия, т.е. обладают ли ошибки восприятия определенной, статистически значимой тенденцией, свидетельствующей о существовании статистически достоверной систематической ошибки;

- зависит ли иллюзия от горизонтально-вертикальной ориентации, как экранирующей полосы в пространстве, так и прямой относительно полосы;

- каков характер зависимости величины иллюзии от параметров основных факторов: ширины экранирующей полосы и угла наклона прямой.

Для выполнения этой работы написано специальное компьютерное программное обеспечение, позволяющее экспериментально исследовать количественные оценки широкого спектра факторов, определяющих механизм иллюзии Поггендорфа. В процессе проведения эксперимента в компьютере автоматически выполнялись все необходимые для каждого испытуемого регистрации персональных данных, результатов его действий, вычисления и сравнения, как длин, так и направлений, обеспечивая возможность точной количественной оценки величины иллюзии.

Для нейтрализации действия случайных факторов, сопровождающих индивидуальные данные, для каждого из значений параметров эксперимента испытуемыми выполнялась серия (от 10 до 20) тестов, данные которых усреднялись.

На рис. 1 представлена зависимость величины иллюзии I (в мм.) от ширины (d) полосы при фиксированном угле (α_0) наклона прямой: $I = f(d, \alpha_0)$.

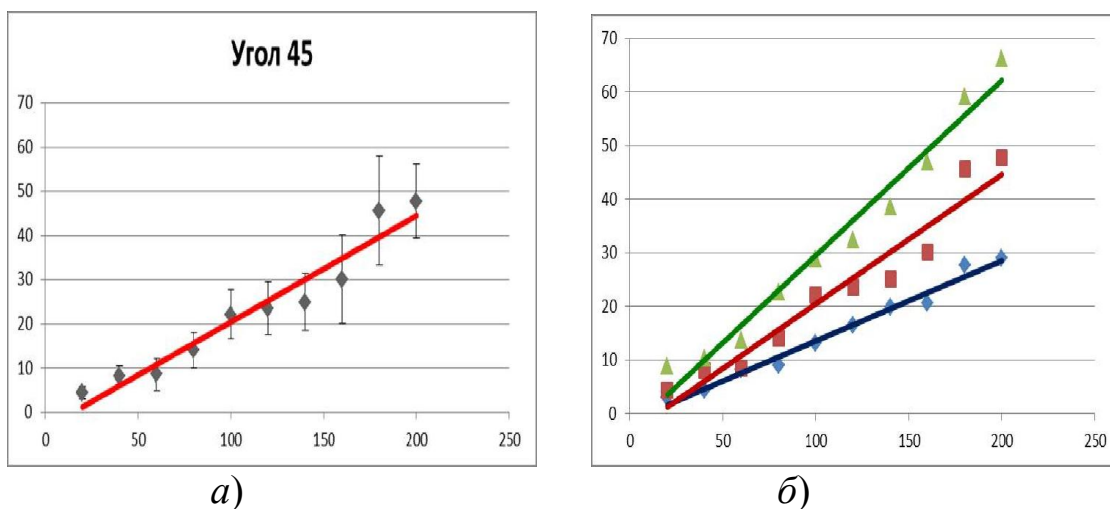


Рис. 1. а) величина иллюзии линейно зависит от ширины полосы d

б) графики иллюзии для разных углов $\alpha_0 = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$

Зависимость величины иллюзии I от угла (α) наклона прямой при фиксированной ширине (d_0) полосы: $I = f(d_0, \alpha)$ представлена на рис. 2.

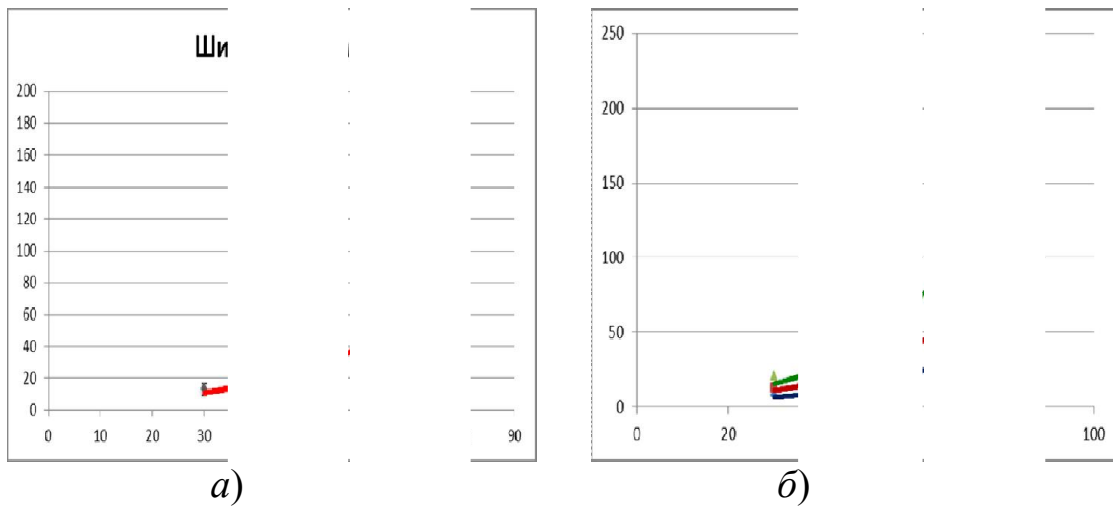


Рис. 2. а) величина иллюзии нелинейно зависит от угла наклона линии

α

б) графики иллюзии для разной ширины полосы d_0 : 16, 27, 34

Разработан также тест с линией, пересекающей несколько параллельных полос, в котором можно управлять независимо всеми фрагментами линии. Эксперимент с этим тестом продемонстрировал аддитивные свойства иллюзии пересечения Поггендорфа.

На рис. 3 приведены графики проявления иллюзии Поггендорфа для прямой, проходящей через три эквидистантных полосы равной ширины в зависимости от ширины полос (рис. 3а) и угла наклона прямой (рис. 3б).

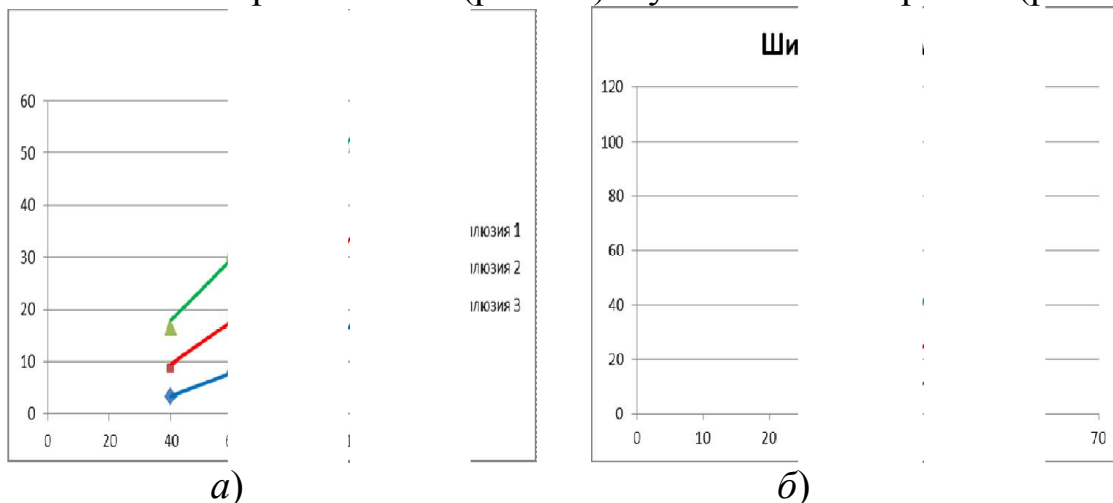


Рис.3. Величина и характер зависимости иллюзии сохраняется:

как от ширины полосы (а), так и от угла наклона линии (б)

Проведенные эксперименты позволяют получить ответы на поставленные вопросы.

Результаты показали, что иллюзия Поггендорфа в виде систематической ошибки смещения линии статистически достоверно фиксируется у всех испытуемых в разных конфигурациях эксперимента. При этом иллюзия не

зависит ни от горизонтально-вертикальной ориентации полосы, ни от вертикальной инверсии линии, а зависит лишь от таких факторов, как ширина полосы, угол наклона прямой и, в какой-то степени, от цветового фактора. Построены регрессионные модели функциональных зависимостей величины иллюзии от этих факторов

Таким образом, иллюзия пересечения Поггендорфа ориентационно инвариантна, симметрична при инверсии линии относительно полосы. Величина иллюзии при фиксированном α_0 линейно зависит от ширины полосы d , коэффициент линейности зависит от α_0 . При фиксированной ширине полосы d_0 величина иллюзии нелинейно зависит от угла наклона линии α , «степень» нелинейности зависит от d_0 . Иллюзия Поггендорфа обладает свойством аддитивности – она накапливается при пересечении нескольких полос, сохраняя характер зависимости для каждой из полос.

Проведенные исследования также подтвердили базовую гипотезу о том, что иллюзия Поггендорфа имеет определенную тенденцию сокращать расстояние между «входом» линии - концом видимой части первого фрагмента - и ее «выходом» - началом видимой части второго фрагмента, т.е. *испытываемые стремятся сблизить точки «входа» и «выхода» линии.*

Тенденция сохраняется в условиях инверсии прямой, изменении ориентации полосы и цвета, а также композиции полос.

Полученные результаты могут иметь практическое применение, например, в диагностических целях или для корректировки метрических оценок в работе человека-оператора, где точность визуальных оценок сопряжена с высокими рисками.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО НЕОДНОРОДНО НАГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ

Редчиц В.П.

Тверской государственный университет, Тверь, Россия

E-mail: v.redchits@mail.ru

Термофорезом называется движение включения относительно жидкости или газа, вызванное неоднородным распределением температуры. Математическое описание движения частицы в неоднородно нагретой неограниченной жидкости различается в зависимости от числа Кнудсена $Kn = \frac{L}{D}$, определяемого как отношение средней длины свободного пробега L молекул жидкости к характерному размеру D включения. При произвольных числах Кнудсена используется теоретико-вероятностный подход, в основу которого положено понятие

функции распределения молекул по координатам и скоростям [1]. При малых числах Кнудсена жидкость рассматривается, как сплошная среда или континуум с условием теплового “проскальзывания” на поверхности частицы.

Целью предлагаемой работы является вычисление вклада в скорость термофореза, связанного с наличием температурной зависимости поверхностного натяжения на границе раздела фаз [2]. Жидкость моделируется сплошной средой, движение которой описывается классическими уравнениями тепломассопереноса при малых числах Рейнольдса и Пекле с граничным условием “полного прилипания” на поверхности частицы.

Сила \vec{F} , действующая на тело со стороны движущейся жидкости, вычисляется по формуле [3]

$$\vec{F} = \int_s (\vec{\sigma} \cdot \vec{n} + \nabla \alpha) ds = \int_s (\vec{\sigma} \cdot \vec{n} + \frac{d\alpha}{dT} \nabla T_s) ds, \quad (1)$$

в которой

$$\vec{\sigma} = -p\vec{I} + \eta((\nabla \vec{V})^* + \nabla \vec{V}) - \quad (2)$$

–тензор напряжения в несжимаемой жидкости ; η - динамическая вязкость; \vec{V} - скорость жидкой частицы, p – давление; $\alpha = \alpha(T_s)$ - коэффициент поверхностного натяжения, T_s - температура в точках границы раздела фаз; \vec{n} - единичная внешняя нормаль к поверхности частицы, dS - элемент поверхности; \vec{I} - единичный тензор. В частности, при стационарном обтекании изотропного шара в отсутствие внешних массовых сил $\vec{F} = \vec{0}$, откуда можно вычислить скорость термофореза $\vec{u}^{(T)}$. Таким образом, для вычисления скорости термофореза необходимо знать поля температур, скоростей и давлений.

Рассмотрим твердый шар радиуса R , движущийся с постоянной скоростью $\vec{u}^{(T)}$ в неоднородно нагретой несжимаемой жидкости плотности ρ , покоящейся на “бесконечности”. Задача об определении полей температур, скоростей и давлений вокруг движущейся частицы при малых числах Рейнольдса и Пекле эквивалентна задаче об определении тех же полей вокруг неподвижной частицы, обтекаемой потоком жидкости, имеющей на “бесконечности” заданную постоянную скорость $\vec{u} = -\vec{u}^{(T)}$.

Стационарное поле температуры T подчиняется уравнению Лапласа [4]

$$\Delta T = 0 \quad (3)$$

с дополнительными условиями

$$T_-|_S = T_+|_S, \quad (4)$$

$$-k_- (\nabla T_-|_S \cdot \vec{n}) = -k_+ (\nabla T_+|_S \cdot \vec{n}) \quad (5)$$

на поверхности S сферического включения и условием на “бесконечности”

$$T(\vec{r}) \rightarrow T_0^{(\infty)} + (\nabla T^{(\infty)})_0 \cdot \vec{r}, \quad \vec{r} \rightarrow \infty. \quad (6)$$

В формулах (3)-(6) и далее \vec{r} - радиус-вектор произвольной точки относительно полюса O , совпадающего с центром сферического включения, $r = \|\vec{r}\|$; индексами “-” и “+” отмечаются величины,

относящиеся к внутренности и внешности сферического включения соответственно; T_0 и $(\nabla T)_0$ - температура и градиент температуры в точке $\vec{r} = 0$; $T^{(\infty)} = T_0^{(\infty)} + (\nabla T^{(\infty)})_0 \cdot \vec{r}$ - температура жидкости при

отсутствии включения; $Re = \frac{R u^{(T)} \rho}{\eta}$ - число Рейнольдса,

$Pe = \frac{|\nabla T^{(\infty)}|_0 R}{T^{(\infty)}}$ - число Пекле; E^3 - евклидово пространство, $G \subset E^3$ -

область, ограниченная поверхностью S ;

$$k = \begin{cases} \text{const} = k_-, \vec{r} \in G; \\ \text{const} = k_+, \vec{r} \in E^3 \setminus G \end{cases} \quad - \text{коэффициент теплопроводности.}$$

Движение жидкости при малых числах Рейнольдса описывается системой уравнений Стокса [5]

$$\eta \Delta \vec{V} - \nabla p = 0 \quad (7)$$

и непрерывности

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (8)$$

совместно с граничными условиями

$$\vec{V}|_S = 0 \quad (9)$$

на поверхности S и условиями на “бесконечности”

$$\vec{V}(\vec{r}) \rightarrow \vec{u}, \quad p(\vec{r}) \rightarrow p_0, \quad \vec{r} \rightarrow \infty. \quad (10)$$

В результате решения системы (1)-(10) находим скорость термофореза

$$\vec{u}^{(T)} = -\vec{u} = \frac{4k_+ R}{3\eta(2k_+ + k_-)} \frac{d\alpha}{dT} |(\nabla T^{(\infty)})_0|, \quad (11)$$

а также термофоретическую силу

$$\overline{F^{(T)}} = \frac{8\pi k_+ R^2}{2k_+ + k_-} \frac{d\alpha}{dT} (\nabla T^{(\infty)})_0. \quad (12)$$

Таким образом, температурная неоднородность в окружающей жидкости через зависимость поверхностного натяжения от температуры приводит к движению включения. При этом, в отличие от результатов предыдущих работ, скорость термофореза не становится исчезающе малой с увеличением размера включения. Как представляется, использование понятия поверхностного натяжения позволяет дать более естественное описание термофоретического движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ферцигер Дж., Капер Г.. Математическая теория процессов переноса в газах, изд. “Мир”, М. 1976.
2. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления, изд. “Химия” ленинградское отделение 1967.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика, изд. “Наука”, М.,1988.
4. Курант Р. Уравнения с частными производными, изд. “Мир”, М.,1976.
5. Хаппель Дж., Бреннер Г.. Гидродинамика при малых числах Рейнолдса, изд. “Мир”, М.,1976.

ВКЛАД ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ В СКОРОСТЬ ТЕРМОФЕРЕЗА

Редчиц В.П.

Тверской государственный университет, Тверь, Россия

E-mail: v.redchits@mail.ru

Движение включения относительно жидкой или газообразной матрицы, вызванное неоднородным распределением температуры, называется термофорезом. Как известно, попытка описать термофорез в рамках гидродинамики с граничным условием “полного прилипания” на поверхности включения приводит к скорости термофореза, равной нулю [1]. Ненулевая термофоретическая скорость получается только при замене граничного условия “полного прилипания” граничным условием “теплового скольжения”, в котором присутствует зависимость от температуры. В предлагаемой работе показывается, что термофоретическое движение может возникать из-за температурной зависимости поверхностного натяжения на границе раздела фаз [2]. При этом жидкость моделируется сплошной средой, движение которой описывается уравнениями гидродинамики при малых числах Рейнольдса и

Пекле. На поверхности включения используется условие “полного прилипания”.

Сила \vec{F} , действующая на тело со стороны движущейся жидкости, вычисляется по формуле [3]

$$\vec{F} = \int_S (\vec{\sigma} \cdot \vec{n} + \nabla \alpha) ds = \int_S (\vec{\sigma} \cdot \vec{n} + \frac{d\alpha}{dT} \nabla T_s) ds, \quad (1)$$

в которой

$$\vec{\sigma} = -p\vec{I} + \eta((\nabla \vec{V})^* + \nabla \vec{V}) \quad (2)$$

–тензор напряжений в несжимаемой жидкости; η - динамическая вязкость; \vec{V} скорость жидкой материальной точки; p -давление; $\alpha = \alpha(T_s)$ - коэффициент поверхностного натяжения, T_s - температура в точках границы раздела фаз; \vec{n} - единичная внешняя нормаль к поверхности включения, ds - элемент поверхности; \vec{I} - единичный тензор.

В случае стационарного обтекания жидкого включения неоднородно нагретой неограниченной жидкостью при малых числах Рейнольдса и Пекле будем считать, что из-за действия поверхностного натяжения сохраняется сферическая форма включения. При этом в отсутствие внешних массовых сил полная сила $\vec{F} = 0$, откуда можно вычислить скорость термофореза $\vec{u}^{(T)}$. Таким образом, для вычисления скорости термофореза и термофоретической силы необходимо знать поля температур, скоростей и давлений.

Рассмотрим жидкий шар радиуса R , движущийся с постоянной скоростью $\vec{u}^{(T)}$ в неоднородно нагретой несжимаемой жидкости плотности ρ , покоящейся на “бесконечности”. Задача об определении полей температур, скоростей и давлений вокруг движущейся частицы при малых числах Рейнольдса и Пекле эквивалентна задаче об определении тех же полей вокруг неподвижной частицы, обтекаемой потоком жидкости с постоянной скоростью $\vec{u} = -\vec{u}^{(T)}$ на “бесконечности”.

Стационарное поле температуры T подчиняется уравнению Лапласа [4]

$$\Delta T = 0 \quad (3)$$

с дополнительными условиями

$$T_-|_s = T_+|_s, \quad (4)$$

$$-k_- (\nabla T_-|_s \cdot \vec{n}) = -k_+ (\nabla T_+|_s \cdot \vec{n}) \quad (5)$$

на поверхности S сферического включения и условием на “бесконечности”

$$T(\vec{r}) \rightarrow T_0^{(\infty)} + (\nabla T^{(\infty)})_0 \cdot \vec{r}, \vec{r} \rightarrow \infty. \quad (6)$$

В формулах (3)-(6) и далее \vec{r} - радиус-вектор произвольной точки относительно полюса O , совпадающего с центром сферического включения, $r = \|\vec{r}\|$; индексами “-” и “+” отмечаются величины, относящиеся к внутренности и внешности сферического включения соответственно; T_0 и $(\nabla T)_0$ - температура и градиент температуры в точке $\vec{r} = 0$; $T^{(\infty)} = T_0^{(\infty)} + (\nabla T^{(\infty)})_0 \cdot \vec{r}$ - температура жидкости при отсутствии включения; $Re = \frac{Ru^{(T)} \rho}{\eta}$ - число Рейнолдса,

$Pe = \frac{|(\nabla T^{(\infty)})_0| R}{T^{(\infty)}}$ - число Пекле; E^3 - евклидово пространство, $G \subset E^3$ - область, ограниченная поверхностью S ;

$$k = \begin{cases} \text{const} = k_-, \vec{r} \in G; \\ \text{const} = k_+, \vec{r} \in E^3 \setminus G \end{cases} \quad - \text{коэффициент теплопроводности.}$$

Стационарное течение несжимаемой жидкости при малых числах Рейнолдса описывается системой уравнений Стокса [5]

$$\eta \Delta \vec{V} - \nabla p = 0 \quad (7)$$

и непрерывности

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (8)$$

совместно с граничными условиями

$$\vec{V}_-|_S = \vec{V}_+|_S, \quad (9)$$

$$\vec{\sigma}_-|_S \cdot \vec{n} = \vec{\sigma}_+|_S \cdot \vec{n} - \frac{2\alpha}{R} \vec{n} + \nabla \alpha|_S \quad (10)$$

на поверхности S и условиями на “бесконечности”

$$\vec{V}(\vec{r}) \rightarrow \vec{u} = -\vec{u}^T, p \rightarrow p_0, \vec{r} \rightarrow \infty. \quad (11)$$

Совместное решение системы (1)-(11) приводит к скорости термофореза

$$\vec{u}^{(T)} = -\vec{u} = 2R\eta_+ \frac{2\eta_- + 3\eta_+}{3\eta_- + 2\eta_+} \frac{k_+}{2k_+ + k_-} \frac{d\alpha}{dT} (\nabla T^{(\infty)})_0. \quad (12)$$

Термофоретическая сила, действующая на включение, даётся выражением

$$\overline{F^{(T)}} = 4\pi R^2 \frac{2\eta_- + 3\eta_+}{\eta_- + \eta_+} \frac{k_+}{2k_+ + k_-} \frac{d\alpha}{dT} (\nabla T^{(\infty)})_0. (13)$$

Таким образом, температурная неоднородность окружающей жидкости через зависимость поверхностного натяжения от температуры приводит к движению включения. При этом в отличие от предыдущих работ по термофорезу показано, что скорость термофореза не стремится к нулю с увеличением размера включения. Кроме того, использование понятия поверхностного натяжения позволяет дать более естественное описание термофоретического движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reprinted from Journal of Colloid Science, Volume 20, No. 6, August 1965. Copyright 1965 by Academic Press Inc. Printed in U.S.A.
2. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления, изд. "Химия" ленинградское отделение 1967.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика, изд. "Наука", М., 1988.
4. Курант Р. Уравнения с частными производными, изд. "Мир", М., 1976.
5. Хаппель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнолдса, изд. "Мир", М., 1976.

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОЛЯ

С.П. Русин

Объединённый институт высоких температур РАН, Москва, Россия
E-mail: sprusin@yandex.ru

«Природа щедра на многообразие,
но крайне скупа на нововведения.»

Мильн Эдвардс (Milne Edwards)
(цитируется по книге Ч. Дарвина [1], стр.165)

Рассматриваются потенциально активные среды, которые не обладают организующим звеном. Однако, как известно, под влиянием поля система может перейти в новое состояние [2]. До появления нового состояния в такой системе возникает переходная область, в которой появляются новые степени свободы. Образуется пространство выбора, или бифуркационное пространство, определяемое каскадом бифуркаций (ветвлений). Именно здесь возникает будущее, причём, строительство идёт не только из элементов прошлого, но и из подходящих элементов окружающей среды и «персонального пространства» системы. Кроме того, система творит новые элементы. Чем примитивнее система, тем

меньше она помнит о прошлом, тем беднее её персональное пространство элементами и тем меньше вариантов выбора. Так, например, пространство выбора человека, помимо всего прочего, может содержать информацию об опыте исторических личностей, литературных персонажей, и т. п. Чем больше альтернативных вариантов, тем «демократичнее» процесс выбора. Во времени «демократия» выбора сменяется «диктатурой» действия. Число возможных степеней свободы сокращается и возникают параметры порядка. В следующей точке бифуркации снова выбор, потом действие и так далее. Вследствие этого число степеней свободы системы периодически меняется.

В своей книге «Алхимия финансов» Дж. Сорос для выявления предпочтений участников финансового рынка предлагает использовать *cognitive* функцию, которая характеризует обдумывание и выбор варианта действия каждого из участников, и *participating* функцию, которая характеризует действие участника в соответствии со сделанным выбором [3]. Поскольку участников рынка много, то их действия, как правило, изменяют информационное поле рынка. Поэтому через некоторое время каждый из участников должен снова выбрать вариант действия.

В данном сообщении рассматривается процесс выбора под влиянием полей той или иной природы. Полагается, что геометрия элементов системы и их распределение в пространстве заданы. Сами элементы обладают определённым энергетическим или информационным потенциалом, причём, в процессе самоорганизации не влияют друг на друга непосредственно, а только через соответствующее поле. В этом случае поле является активным посредником между всеми элементами системы, «невидимой рукой». Действия каждого элемента системы имеют пороговый характер и являются результатом взаимодействия внешнего стимула (поля) и внутреннего состояния. Для каждого элемента при определённом сочетании этих двух факторов данный элемент системы высвобождает часть своей энергии и переходит в новое состояние. При предельной величине накопленной энергии «пассионарный» элемент системы высвобождает часть этой энергии и переходит в новое состояние в результате действия флуктуаций внешней среды. Высвобожденная энергия поступает активному посреднику, т.е. полю. Это поле (организующее звено), возникающее в результате малого воздействия извне, с течением времени, превращается в мощный самоорганизующийся центр со своими энергетическими источниками, вне зависимости от присутствия или отсутствия малых внешних воздействий. Малое воздействие извне здесь играет роль пускового механизма.

Сначала рассмотрим теплоперенос излучением в системе из n изотермических элементов. Близкая ситуация возможна в процессе

возгорания горючих материалов на воздухе. Поверхность F_i каждого i -го элемента непрозрачная и серая, т.е. оптические свойства не зависят от длины волны излучения. Элементы могут излучать, поглощать и отражать потоки излучения. Оптические параметры A_i , ε_i и R_i обозначают поглощательную, излучательную и отражательную способность i -го элемента соответственно. Сами элементы находятся в лучепрозрачной среде и не контактируют друг с другом, а обмениваются излучением только через поле. Поскольку система открытая, то на i -ый элемент падает излучение извне. Поверхностная плотность $E_{out,i}$ от этого излучения для каждого элемента задана. Кроме того, на i -ый элемент падает излучение от всех остальных элементов и, в результате многократных отражений в системе, от самого себя тоже. Поверхностную плотность от этих элементов обозначим как $E_{\Sigma,i}$. Для упрощения изложения будем полагать, что $F_i = F$ для всех элементов. При необходимости это ограничение может быть легко снято. Поскольку каждый i -ый элемент способен излучать, поглощать и отражать излучение, то в любой момент времени существует результирующий поток

$$E_{net,i} = A_i(E_{\Sigma,i} + E_{out,i}) - E_{c,i}. \quad (1)$$

Здесь все исходные величины, кроме $E_{net,i}$ и $E_{\Sigma,i}$, должны быть заданы. Если процессы поглощения энергии преобладают над процессами собственного излучения, то $E_{net,i} > 0$, i -ый элемент приобретает тепло и нагревается, если же $E_{net,i} < 0$, то i -ый элемент теряет тепло и охлаждается. Как известно, что при относительно низких температурах в природе не возникает горения. Необходимо, чтобы температура, хотя бы одного элемента превысила температуру T_i^* горения для данных условий. Это возможно, когда i -ый элемент в процессе нагрева достигает эту температуру, воспламеняется и уже сам становится источником излучения, т.е. он включается.

Записывая тепловой баланс (1) для i -ого элемента более подробно (см., например, [4]), получаем

$$E_{net,i} = A_i(\sum_{j=1}^n \Phi_{ij}\theta\{\alpha_j\}E_{c,j} + E_{out,i}) - \theta\{\alpha_i\}E_{c,i}, \quad (2)$$

где Φ_{ij} - коэффициенты переноса от i -ого элемента к j -ому элементу непосредственно и в результате многократных отражений в системе; $\alpha_i = T_i - T_i^*$; функция θ равна 1, если $\alpha_i > 0$, и равна 0, если $\alpha_i < 0$ или $\alpha_i = 0$. По существу θ - это единичная функция Хевисайда,

доопределённая нулём при $\alpha_i = 0$. Исходные величины $E_{c,i}$, A_i , ε_i , R_i и $E_{out,i}$ заданы, коэффициенты Φ_{ij} могут быть найдены расчётным или экспериментальным путём [4] (в теории теплообмена излучением они называются разрешающими угловыми коэффициентами).

Отметим, что соотношение (2) получено на основании решения линейного интегрального уравнения Фредгольма второго рода в резольвентной форме [4]. В соотношение (2) не входит время, хотя предполагается, что процесс самоорганизации развивается во времени. Сначала загорается один элемент, например, спичка, затем второй и так далее. Чтобы рассчитать время возгорания нужно ещё знать теплоёмкость материала и его теплотворную способность для каждого элемента системы. Для объекта, свободно излучающего в окружающее пространство, такой подход представлен в [5]. Тогда поставленную задачу можно решить как последовательность линейных задач. В данном сообщении соотношение (2) используется для качественного анализа ситуации в фиксированный момент времени.

Если следовать терминологии Дж. Сороса, то функции «обдумывания и выбора» будет соответствовать процесс формирования поля излучения до величины, достаточной для возгорания какого-либо из n элементов системы, а функции «действия» будет соответствовать возникновение нового энергетического источника горения под влиянием этого поля.

В общественной жизни различные информационные поля и фильтры могут создаваться, например, с помощью общественного мнения, господствующей морали, законодательным путём и т. п. Ложные информационные поля и фильтры в обществе очень часто создаются с помощью слухов.

Так, например, в 1815 году во время битвы при Ватерлоо из-за шторма связь с Англией была временно потеряна. Лондонский банкир Натан Ротшильд первый на бирже узнал, что Наполеон проиграл битву. Сначала он начал продавать в больших объёмах облигации английского государственного займа и другие акции, как если бы Наполеон выиграл битву при Ватерлоо. Это вызвало панику на лондонской бирже и падение в цене соответствующих ценных бумаг. Затем он скупил эти ценные бумаги, фактически, за бесценок. Через несколько часов пришло официальное сообщение о том, что Наполеон проиграл битву, но дело было сделано, и Натан Ротшильд успел преумножить своё состояние.

В наше время влияние крупных военных и политических событий в мире на котировки ценных бумаг огромно. Именно этим объясняется стремление биржевых игроков первыми получить соответствующую (часто конфиденциальную) информацию о политических и военных событиях, как в мире, так и в той или иной конкретной стране.

Если сопоставить этот случай с соотношением (2), то первоначально все величины $E_{c,i}$ были равны нулю. Всё решила внешняя ложная информация с плотностью $E_{out,i}$ (информационная бомба). Разумеется, эта ложная информация вызвала ложные действия большинства биржевых игроков, кроме, конечно, Натана Ротшильда и его доверенных лиц.

Один из примеров самоорганизации приводит П. Хейне в своей книге «Экономический образ мышления» [6]. Каждое утро многие тысячи людей выходят из дома, садятся в свои автомобили и едут на работу. На основании визуальной информации они управляют автомобилем так, чтобы избежать столкновения и вовремя доехать до работы. Водители автомобилей не общаются друг с другом, однако действуют согласованно, как будто их ведёт «невидимая рука», в роли которой выступает информационное поле. Здесь уже изначально $E_{c,i} > 0$, а в качестве $E_{out,i}$ используются сигналы светофоров.

Во всех приведённых примерах имеет место круговая причинность: все элементы взаимодействуют и обуславливают друг друга (все влияют на всех). В этом случае предлагается использовать аппарат интегральных уравнений теплопереноса излучением, записанных в резольвентной форме. Здесь также все элементы влияют на каждый элемент системы и наоборот. Вместе с тем, для описания процесса самоорганизации во времени эти уравнения должны быть дополнены соответствующими уравнениями переноса энергии и информации во времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ч. Дарвин. Происхождение видов путём естественного отбора или сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь.
2. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основы синергетики: режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры. СПб: Алетейя, 2002.
3. Сорос Дж. Алхимия финансов. М.: ИНФРА-М, 1996.
4. Русин С.П., Пелецкий В.Э. Тепловое излучение полостей. М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Rusin S.P. Intensive Thermal Fluxes Interaction with Dispersion Materials: Computer Modeling / Physics of Extreme States of Matter – 2011. Ed. by V.E. Fortov etc. Chernogolovka: Institute of Problems of Chemical Physics, RAS, 2011. P. 133-135.
6. П. Хейне. Экономический образ мышления. М.: Каталаксия, 1997.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ МНОГОЧАСТОТНЫХ ТОРОВ В МОДЕЛИ ШИРОКАПЕРТУРНОГО ЛАЗЕРА

А.Р. Шакиров^{1,2}, Д. Анчиков¹, А.А. Кренц^{1,2}

¹Самарский государственный аэрокосмический университет, Самара,
Россия

²Самарский филиал Физического института РАН, Самара, Россия
E-mail: York.s163@gmail.com

Давно известно, что в лазерах, а также в других сложных нелинейных динамических системах (например, химических и гидродинамических), возможно наблюдение сложного нерегулярного поведения. В первую очередь, это проявляется в пространственно-распределенных системах, т.е. в системах, обладающих большими поперечными размерами. В таком случае лазерное поле формируется в результате нелинейного взаимодействия большого числа поперечных оптических мод. Это может приводить к появлению нестационарных структур в сечении пучка, которые в большинстве приложений лазеров являются нежелательными. В связи с этим, динамика оптического поля в широкоапертурных лазерах являлась предметом активного теоретического изучения в последние 20 лет.

В качестве математической модели традиционно рассматриваются несколько близких систем: уравнения Максвелла-Блоха (МБ), комплексное уравнение Гинзбурга-Ландау и уравнение Свифта-Хохенберга. Система уравнений Максвелла-Блоха является наиболее полным и общим вариантом, и из неё с помощью адиабатического исключения переменных поляризации и инверсии населенностей могут быть выведены остальные.

Одним из интересных направлений теории нелинейных динамических систем является исследование сценариев эволюции поведения в сложных системах, таких как лазеры. В работе [2] детально исследовался сценарий перехода к хаосу через каскад бифуркаций удвоения. В качестве модели использовалась система уравнений МБ с адиабатически исключенной поляризацией. Кроме того, в работах [3, 4] исследовалось формирование спиральных волн в распределенной системе МБ. Однако ранее не сообщалось о бифуркациях квазипериодических режимов в лазерах, и сценарии эволюции системы через квазипериодические режимы, безусловно, представляют исследовательский интерес.

В настоящей работе мы наблюдали формирование аттракторов в виде многочастотного тора в модели широкоапертурного лазера, а также его разрушение при увеличении параметра накачки.

В качестве математической модели широкоапертурного лазера использовалась полная полуклассическая система уравнений Максвелла-Блоха. Она описывает динамику оптического поля во времени в поперечном сечении выходного пучка с учётом отстройки частоты генерации от центра линии усиления для лазера, работающего на одной продольной моде плоскопараллельного резонатора и имеющего однородно уширенную линию:

$$\begin{cases} \frac{\partial E}{\partial t} = ia\Delta_{\perp}E + \sigma(P - E), \\ \frac{\partial P}{\partial t} = -(1 + i\delta)P + DE, \\ \frac{\partial D}{\partial t} = -\gamma \left[D - r + \frac{1}{2}(E^*P + EP^*) \right], \end{cases} \quad (1)$$

где E, P, D - безразмерные огибающие электрического поля, поляризации и инверсии населённости соответственно; $\gamma = \gamma_{II} / \gamma_{\perp}$ и $\sigma = k / \gamma_{\perp}$, где γ_{\perp} , γ_{II} и k - скорости релаксации поляризации, инверсии населённости и коэффициент затухания электрического поля соответственно; $\delta = (\omega_{21} - \omega) / \gamma_{\perp}$ - отстройка частоты генерации ω от центральной частоты линии усиления ω_{21} линии усиления активной среды, обезразмеренная на ширину линии; $a = c^2 / (2\omega\gamma_{\perp}d^2)$ - дифракционный параметр, где d - ширина апертуры; r - накачка, нормированная на пороговое значение. Данная нелинейная система описывает динамику генерации лазера с учётом поперечного распределения электромагнитного поля в резонаторе.

Мы рассматривали процессы в области нулевой отстройкой в одномерном приближении. Для численного моделирования системы (1) использовался псевдоспектральный Фурье-метод расщепления по физическим факторам. Для анализа получаемых режимов мы строили аттрактор в фазовом пространстве, сечения Пуанкаре, а также спектр колебаний интенсивности в произвольной локальной точке.

При значениях накачки немного выше порога генерации в системе реализуется однородное по пространству стационарное решение. Однако при достижении второго лазерного порога стационарное решение теряет устойчивость по отношению к малым возмущениям с некоторым ненулевым волновым числом.

В таком случае система переходит в режим периодических колебаний (рис. 1, верхний ряд). В профиле интенсивности наблюдается модуляция с определенным волновым числом. С помощью линейного анализа можно показать, что это волновое число равно тому, для которого инкремент нарастания возмущения был максимальным при рассмотрении

устойчивости однородного решения. В дальнейшем поле можно увидеть два максимума, один из них располагается на оси, а другой - вне. В трехмерном фазовом пространстве ($|E|$, $|P|$ и dI , где dI – это производная интенсивности) в этом режиме будет наблюдаться предельный цикл. Дополнительным подтверждением тому является сечение Пуанкаре для аттрактора, которое при данных параметрах представляет собой точку. Спектр колебаний состоит из одной основной гармоники и одной побочной.

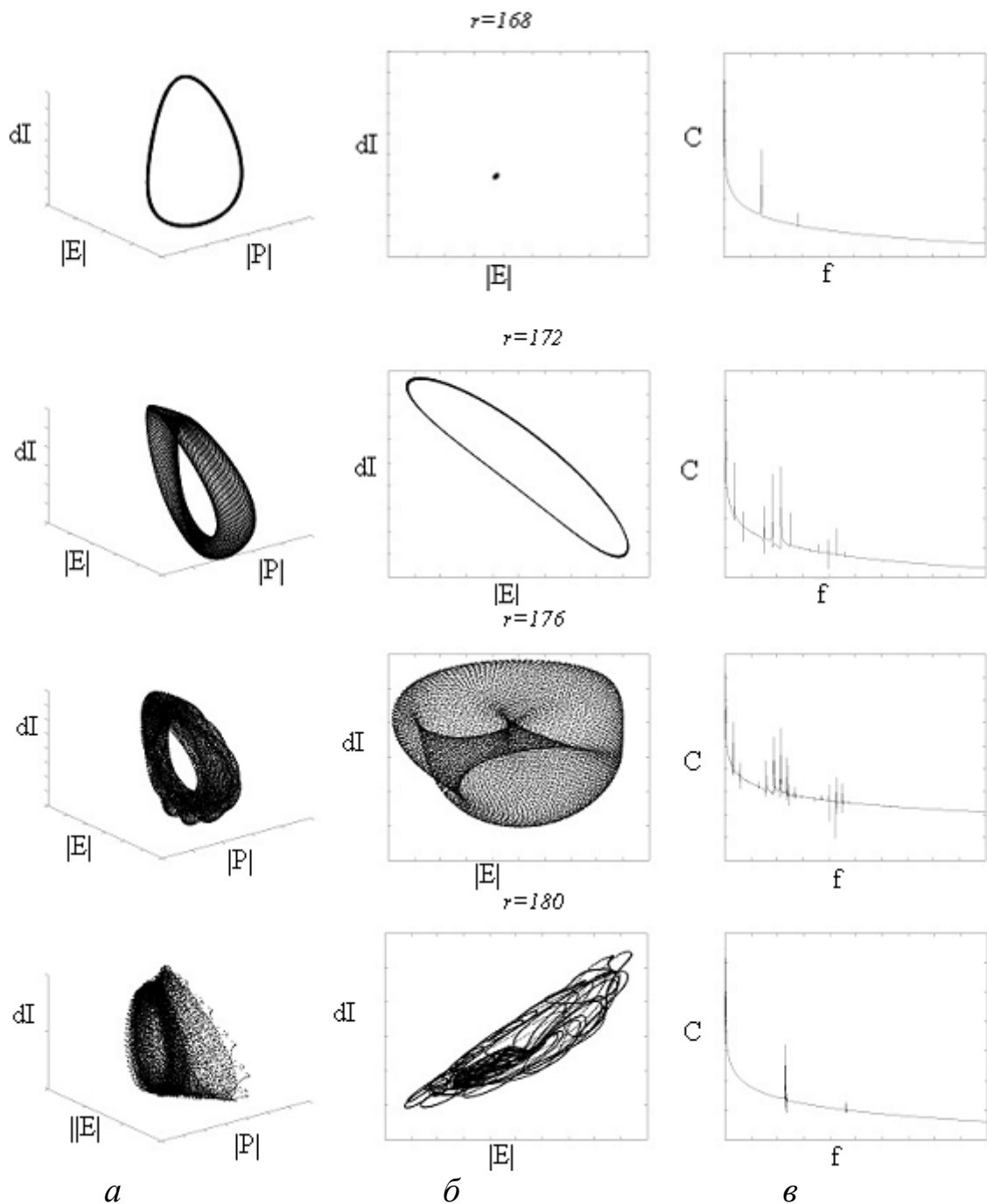


Рис. 1. Последовательность бифуркаций квазипериодических решений при изменении параметра накачки r : а) фазовый объем, б) сечения Пуанкаре, в) спектр колебаний, где dI – производная

интенсивности, S – спектр мощности, f – частота. Остальные параметры системы: $\sigma=1$, $\gamma=2.2$, $\delta=0$, $a=0.01$.

Приблизительно при значении накачки $r=168.9$ в системе происходит бифуркация, и аттрактор обретает форму трехмерного тора (рис. 1, второй ряд сверху). Колебания интенсивности в локальных точках становятся двухчастотными. В сечениях Пуанкаре можно увидеть замкнутые кривые, напоминающие деформированные окружности. В спектре колебаний появляется вторая основная гармоника, а также множество побочных.

При дальнейшем увеличении накачки в области значений $r=172.1$ в системе происходит следующая бифуркация. На сечениях Пуанкаре наблюдаются изображения в виде двумерных проекций трехмерного тора. Это означает что, аттрактор представляет собой трехчастотный тор. Это подтверждается тем, что в спектре колебаний наблюдается появление третьей основной гармоники.

В области накачек $r=177.5$ происходит еще одна бифуркация, и в фазовом пространстве аттрактор обретает более сложную форму. На сечениях Пуанкаре наблюдаются запутанные кривые. Спектр колебаний при этом меняет структуру. На нем появляются узкие участки с густо расположенными пиками, сами такие участки располагаются друг от друга на значительном расстоянии.

Таким образом, в данной работе хотя и не полностью охвачена и раскрыта тема, тем не менее, показано, что в модели широкоапертурного лазера возможно наблюдение аттракторов в виде трехчастотных торов.

Работа частично поддержана Минобрнауки РФ в рамках Программы повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013–2020 гг. и Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проект 1451, НИР №ГР 114091840046, грантом РФФИ 14-02-31419 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кренц А.А., Молевич Н.Е. Каскад бифуркаций удвоения тора в лазере с отстройкой частоты // Квантовая электроника, 2009, т. 39, 751-756.
2. M. Berre et al. Spiral patterns, spiral breakup, and zigzag spirals in an optical device // Phys. Rev. E, 2005, 71, 036224.
3. D. Yu, W. Lu, R.G. Harrison Dynamic bistability and spiral waves in a laser // J. Opt. B: Quantum Semiclass. Opt., 1999, 1, 25-30.

СЕКЦИЯ 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКАХ О ЖИВОМ

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДВУХПОЛОСНОГО ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА.

А.О. Агибалов

*Московский физико-технический институт, ИПМ РАН им.Келдыша,
Москва, Россия*

E-mail: qweex172@yandex.ru

Данная работа посвящена получению фундаментальной диаграммы транспортного потока. Транспортные модели условно можно разделить на три класса:

- прогнозные модели;
- имитационные модели;
- оптимизационные модели.

Клеточный автомат (Cellular Automata, CA) — это идеализированное представление физических систем. Фон Нейман в 50-х годах впервые ввел концепцию CA. Клеточный автомат как способ моделирования транспортного потока был предложен впервые в работе [2]. Все элементы системы в этом представлении имеют дискретное множество возможных состояний.

Полоса дороги (или дорога) при моделировании клеточным автоматом разбивается на «ячейки» одинаковой длины. На каждом временном шаге $t = t+1$ состояние всех ячеек обновляется параллельно (одновременно). Ячейка либо пуста, либо занята единственным «автомобилем» в каждый момент. Все разнообразие вариантов CA определяется выбором того или иного набора правил. Работы Нагеля и Шрекенберга [4] - начало активных исследований и разработок CA в области транспорта.

При моделировании был использован алгоритм, включающий 4 шага. Шаг 1 - стремление водителей двигаться максимально быстро в рамках скоростных ограничений. Шаг 2 - торможение для отсутствия столкновений. Шаг 3 - отвечает за различное поведение водителей. Это может быть чрезмерное торможение. Шаг 3 также отвечает за возникновение заторов. Шаг 4 — обновление координат [1].

Типичная длина ячейки выбирается 7 - 7,5 метра. Столько места занимает один автомобиль в заторе. Шаг по времени - 1 с. Максимальная скорость равна 5. Для движения по магистрали вероятность случайного возмущения составляет 0,5, для уличного - 0.2 и максимальная скорость – 2 [3]. Модели клеточных автоматов обладают высокой вычислительной

эффективностью. Устойчивость наблюдается при малых плотностях. При больших - возникает неустойчивость.

Фундаментальная диаграмма была получена путем программного моделирования, произведенного автором доклада на основе кода в общем большом временном цикле:

Выдается вероятность. На ее основе появляется машина в нижнем левом углу и задается скорость.

```
if (road[1][0] == 0)
    {
        sum++;
        switch(probabil)
        {
            case 0:
                road[1][0] = 2;
                break;
            case 1:
                road[1][0] = 2;
```

Машина при препятствии с вероятностью 0.5 выезжает на боковую полосу (боковая ячейка и одна боковая вперед должны быть свободны)

```
while (n>=0) {
    while (m<2) {
        distance = 100;
        if (road[m][n] != 0){
            road[m][n] = 1 + min((road[m][n]), v_max - 1);
            for (int p=1; p<500; p++) {
                if ((road[m][p] != 0)&&(p != n)) {
                    distance = p-n;
                    if (distance >= 0) {
                        break;
                    }
                }
            }
        }
        if (distance <= 0) {
            distance = 100;
        }
        if ((distance - 1) < (road[m][n] - 1))
        {
            if ((road[1-m][n] == 0)&&(road[1-m][n+1] == 0))
```

Снижение скорости (не произойдет столкновения).

```
if ((distance - 1) < (road[1-m][n] - 1)) {
    if (distance == 1) {
```

```

road[1-m][n] = 1;
}
if (distance == 2) {
road[1-m][n] = 2;

```

Стохастический член (снижение скорости):

```

if (road[m][n] >= 1) {
    probabil3 = rand()%10;
    if (probabil3 < 5) {
        if (road[m][n] == 1) {
            road[m][n] = 1;
        }
        if (road[m][n] == 2) {
            road[m][n] = 1;
        }
        if (road[m][n] == 3) {
            road[m][n] = 2;
        }
        if (road[m][n] == 4) {
            road[m][n] = 3;

```

(повтор еще раз внутри для снижения на единицу)

Одновременное передвижение всех автомобилей

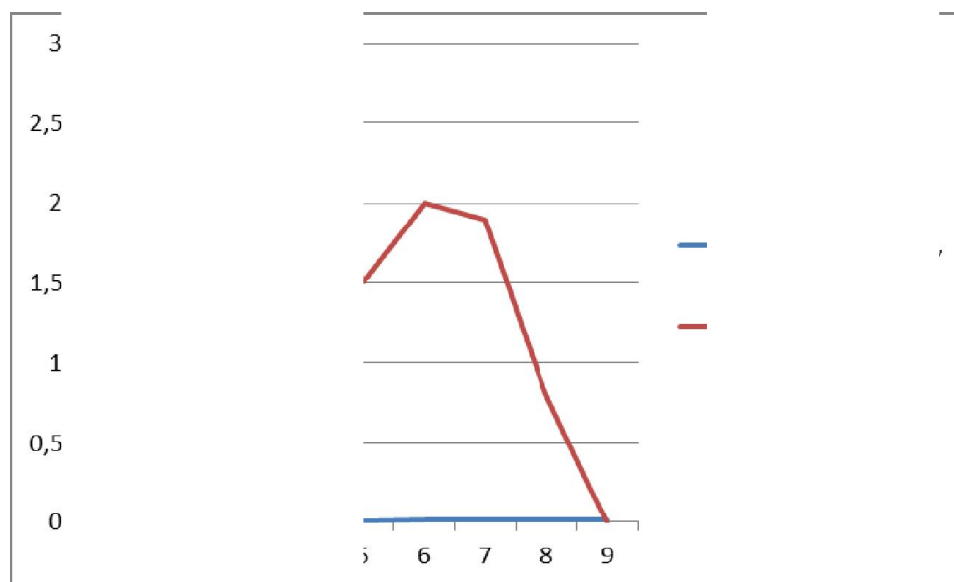
```

while (w>=0) {
    while (u<2) {
        if (road[u][w] !=0)
        {
            f = w + road[u][w] - 1;
            cout << f << endl;
            intensivity += (road[u][w] - 1);
            road[u][f] = road[u][w];
            zamen = w;
            if (f != zamen) {
                road[u][zamen] = 0;
            }
        }
    }
    u++;
}
u = 0;
w--;
}

```

Результаты моделирования отражают зависимость интенсивности от плотности потока и представлены в сводной таблице:

Плотность потока, авт./дл.пути	0,002	0,004	0,006	0,008	0,01	0,012	0,014	0,016	0,018
Интенсивность, авт./такт.	0,0833	0,285714	0,666667	2,51429	1,5	2	1,9	0,8	0



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгушин Д. Ю., Мызникова Т. А. Применение клеточных автоматов к моделированию автотранспортных потоков. - Омск, СибАДИ, 2012. - 116 с.
2. Cremer M., Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations //Math.Comp. Simul.1986. V. 28. P.297-303.
3. Esser J., Schreckenberg M. Microscopic simulation of urban traffic based on cellular automata //Int. J. Mod. Phys. C. 1997. V 8 P. 1025 — 1036
4. Nagel K., Schreckenberg M. A cellula automaton model for freeway traffic // J. Phys. I France. 1992. V. 2. P. 2221-2229.

ДИАГРАММА ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ КАК БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА

В.А. Брынцев

Московский государственный университет леса, Мытищи Московской обл., Россия

E-mail: bryntsev@mail.ru

Эволюция – многосистемный процесс, который редуционно нельзя свести к одному элементарному процессу на одном уровне организации. Проблема построения единой теории эволюции состоит в том, как изучать сложные эволюционирующие системы и на каких основаниях строить

синтез, если метод редукции показал свою несостоятельность. Основой должен стать междисциплинарный подход (синергетика, системно-динамический подход, теории сложных систем, бифуркаций, катастроф).

В настоящее время можно обозначить ряд вопросов, ответы на которые для теории эволюции могут быть получены на основе применения междисциплинарных методов (Брынцев, 2013, 2014 а, б):

1. Вопросы самоорганизации в эволюции. Это создание моделей крупнейших эволюционных процессов: появление жизни, эукариот, многоклеточных организмов. Это и описание более локальных процессов, в ходе которых в живой природе появляется нечто совершенно новое – эволюционно-перспективное.

2. Вопросы системно-динамического взаимодействия систем, *взаимодействия между системами* одного и разных уровней, которые реализуются *в процессе развития*.

3. Динамические системы разных уровней редукционно не сводятся друг к другу. Вместе с тем предполагается наличие инвариантности процессов развития систем разного уровня. Инварианты развития могут описываться базовыми моделями.

Теоретически процесс эволюции можно свести к вопросам самоорганизации систем, саморазвития систем и взаимодействия систем в процессе их развития-эволюции. От междисциплинарного подхода можно ожидать создания базовых моделей самоорганизации, саморазвития и взаимодействия систем, инвариантных для широкого круга развивающихся систем.

Примером базовой модели, которая отражает процессы саморазвития и эволюции, на разных уровнях организации, может стать логистическое отображение, представляемое на графике логистической – S-образной кривой.

Может показаться, что для моделирования процессов развития и эволюции S-образная кривая слишком консервативна. В том, что это не так, можно убедиться, исследуя логистическое отображение.

Логистическое отображение (или отображение Ферхюльса) одно из возможных дискретных представлений S-образного процесса:

$$X_{n+1} = \lambda X_n (A - X_n); \quad 0 < X_n \leq A$$

В данном отображении можно выделить два члена X_n и $(A - X_n)$, один из которых разгоняет процесс, а другой тормозит. A – некий предел устремления, от него зависит расположение асимптоты, к которой стремится процесс, он может быть связан с внешней целевой причиной и модифицироваться (настраиваться) системой более высокого уровня. X_n – некоторое значение уже реально достигнутое процессом. Разность $(A - X_n)$ показывает, насколько текущее состояние далеко от конечной цели, чем

оно дальше, тем сильнее ее влияние. λ отражает эволюционную составляющую процесса от цикла к циклу, что будет рассмотрено далее. В пределах реализации одного цикла она является константой.

Устойчивые однозначные результаты логистического отображения имеет только при определенных значениях λ . Есть значения λ , при которых S-образная кривая не заканчивается однозначным результатом, а колеблется между несколькими устойчивыми вариантами или переходит в динамический хаос.

Представим себе множество систем, развивающихся по законам логистического отображения с определенной λ и образующих в конце своего развития фиксированные жесткие структуры. Если кривая заканчивается однозначным результатом, то все сформировавшиеся структуры будут одинаковые. Если это популяция, то в ней будет полное единообразие по данному признаку.

При изменении λ конечные результаты будут фиксироваться в одном из двух возможных значений. Это можно сравнить с дивергенцией признаков, когда в популяции появляются два альтернативных признака – фена. При дальнейшем изменении λ сначала таких альтернативных признаков – фенов – будет уже четыре, потом восемь и т.д. и система переходит в динамический хаос или сложный порядок. Изменчивость в популяции очень большая, однако, некоторые значения здесь будут встречаться чаще, чем остальные. В данной модели последовательное изменение λ ведет к эволюции разнообразия того или иного подсистемного множества. Данные изменения можно рассматривать как модель роста разнообразия форм внутри вида в процессе микроэволюции. Это можно сравнить с тем, что А.Н.Северцев в своих классических трудах по эволюции называл идиоадаптацией. По этой схеме может изменяться разнообразие видов в пределе рода, или родов в семействе.

Если проследить, как значения логистического отображения изменяются в зависимости от значения λ , то получится бифуркационная диаграмма, описание которой часто встречается в литературе по синергетике (например, Малинецкий, 2015). График этот иллюстрирует переход от порядка к хаосу и строится до значения $\lambda=4$. Далее, как описывается в литературе, идет переход в полный хаос, поскольку X_n становится больше чем A , и график уходит как в отрицательные, так и в очень большие положительные значения. Однако по условию $0 < X_n \leq A$ и ставить в логистическое отображение $X_n > A$ нельзя.

Для того, чтобы проследить логистическое отображение для значений $\lambda > 4$, нами была принята так называемая «цилиндрическая модель», где A ассоциируется с длиной окружности цилиндра. Доходя до значения $X_n = A$, мы переходим на новый оборот окружности цилиндра и в уравнении

вместо X_n ставим значение $(X_n - A)$. Поэтому, отображая на графике X_n , если оно больше A , для расчета следующего значения X_{n+1} мы вместо значения X_n ставим значение $(X_n - A)$. Это позволяет продлить график диаграммы логистического отображения далее $\lambda=4$ и получить полную диаграмму логистического отображения (рис.).

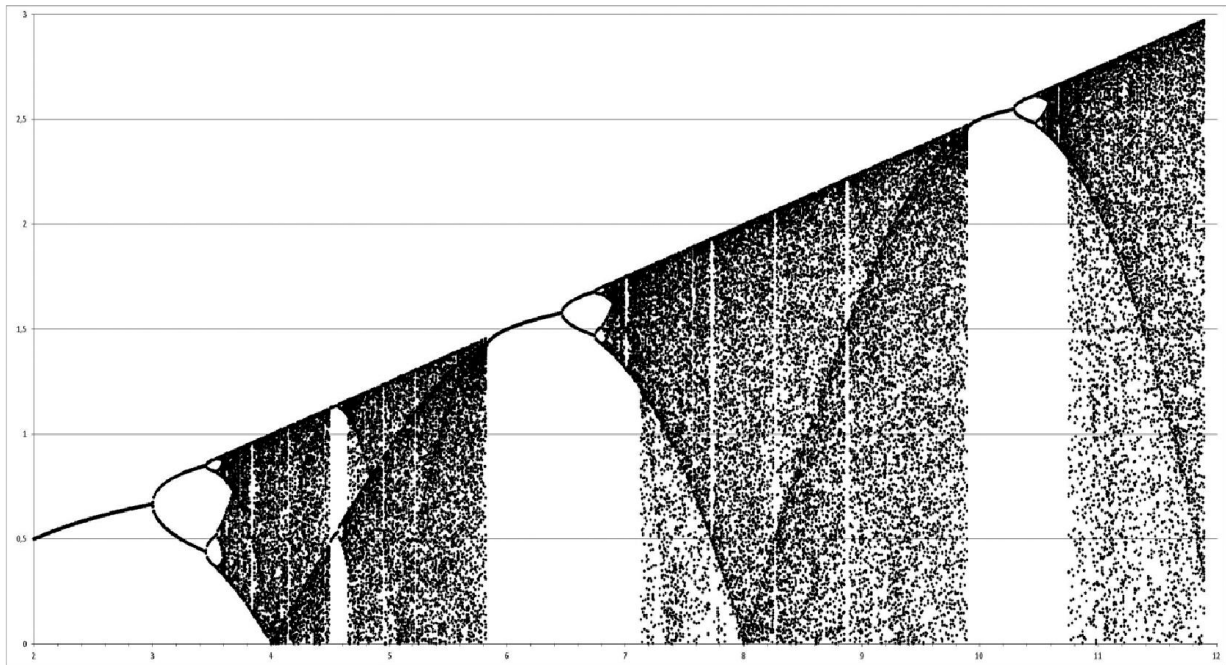


Рис. Полная диаграмма для логистического отображения. По оси абсцисс – значение λ , по оси ординат значение X_n от 600-го до 700-го значения

Полная диаграмма для логистического отображения (рис.) показывает не только переход порядка в хаос, но и обратный переход динамического хаоса в порядок, т.е. отображает полный эволюционный цикл (или цикл развития). Причем такие циклы повторяются, переходя один в другой. При прохождении цикла вначале идет увеличение разнообразия, а потом при переходе на новый цикл резкое его сужение. Сходную картину можно получить и на математической модели двух связанных нелинейных уравнений с постоянным запаздыванием (Солодова, Антонов, 2006).

Так называемому динамическому хаосу предшествует череда бифуркаций. Возникший хаос чередуется с короткими промежутками порядка. В динамическом хаосе разнообразие очень велико, однако имеются тренды, сходимость которых и определяет переход к новому порядку. Расположение трендов достаточно закономерно, все они являются продолжением возникших при бифуркации аттракторов. Чем раньше возник аттрактор, тем он будет иметь более четкий тренд (паттерн) на этапе динамического хаоса.

Сходная картина распределения разнообразия во времени наблюдается при эволюции крупных таксонов (Северцов, 2005).

Динамический хаос – это не только период роста разнообразия, это еще и период массового смешения и внутреннего обмена в системе. В биологии это имеет ключевое эволюционное значение (Кунин, 2014). Горизонтальный перенос (непосредственный перенос генов, а также гибридизация, хемеризация, а на биоценотическом уровне организации симбиоз), по всей видимости, важнейший фактор любого эволюционного процесса реализуется в полной мере именно в периоды динамического хаоса. Таким образом, динамический хаос становится необходимым этапом общего эволюционного процесса и условием появления нового порядка. Именно в условиях динамического хаоса формируется то новое, что впоследствии определяет будущее системы.

В целом можно заключить, что достаточно простые модели, какой в частности является логистическое отображение, могут быть использованы для моделирования достаточно сложных циклических эволюционных процессов у систем разного уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брынцев В.А. Этапы жизненных циклов динамических систем. // Сложные системы, № 2 (7), 2013. – С. 40 – 48.
2. Брынцев В.А. Анализ и перспективы развития эволюционной теории с позиций системно-динамического подхода. // Современные проблемы биологической эволюции: материалы II Международной конференции. – М.: ГДМ, 2014 а, С. 423 – 426
3. Брынцев В.А. Вопросы эмерджентной эволюции. Роль самоорганизации в процессе эволюции. / Современные проблемы эволюции и экологии / XXVIII Люблинские чтения. Ульяновск: УлГПУ, 2014 б, С. 17 – 23
4. Кунин Е.В. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М.: ЗАО Издательство Центрполиграф, 2014. – 527 с.
5. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. – М.: КомКнига, 2005. – 312с.
6. Северцов А.С. Теория эволюции: учебник для студентов вузов. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2005. – 380 с.
7. Солодова Е.А., Антонов Ю.П. Хаос в нелинейных уравнениях с запаздыванием. // Синергетика. Труды семинара. Том 8. Материалы конференции «Самоорганизация и синергетика». М.: МГУ, 2006. С. 286 – 293.

ИНФОРМАЦИОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФЕРМЕНТОВ. ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ

Л.Ю. Васильева¹, Л.А. Уварова², Е.Ю. Романова³

¹ФГБОУ ВПО Московская государственная академия водного транспорта, Москва, Россия

²ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

³Филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)» в г. Твери, Тверь, Россия

E-mail: kati-v@yandex.ru

Ферменты – макромолекулы, которые можно рассматривать как молекулярные примеры, т.е. запоминающие устройства, являющиеся элементами информационных систем [3]. Живой организм - информационная система, в которой самосогласованно происходят ферментативные реакции и гиббсовская свободная энергия (термодинамическая информация) передаётся от одной структуры к другой, преобразуясь в другие формы информации [7]. Вероятностная модель описывает эту информационную схему функционирования ферментов.

Для каждого фермента характерны специфическая последовательность аминокислотных остатков, пространственная конформация. Активность ферментов в клетках строго контролируется как на генетическом уровне, так и посредством субстратов и продуктов реакций [1].

До установления химической природы ферментов гипотезы о механизме действия ферментов опирались на исследования кинетики и на модельные опыты гомогенного химического катализа. Повышение скорости химических реакций под действием ферментов объясняли активированием субстрата в результате образования адсорбционных или молекулярных, обратимо диссоциирующих фермент-субстратных комплексов, и за счет цепных механизмов реакций с участием радикалов или возбужденных молекул. После установления химической природы ферментов подтвердилось представление о том, что при ферментативном катализе фермент (E) соединяется с субстратом (S), образуя нестойкий промежуточный фермент-субстратный (ES) комплекс, распадающийся затем с освобождением фермента и продуктов реакции [2, 4]. В процессе реакции различают несколько стадий: присоединение молекулы субстрата к ферменту, преобразование промежуточного соединения в один или несколько последовательных комплексов и протекающее в одну или несколько стадий, отделение конечных продуктов реакции от фермента.

Фермент-субстратный комплекс при присоединении субстрата к активному центру претерпевает конформационные изменения, т.е. перемещение атомов или групп атомов, повороты групп атомов вокруг связей. Эти процессы сопровождаются химическими изменениями субстрата. Таким образом, элементарный акт ферментативной реакции заключается в конформационном изменении макромолекулы – фермент-субстратного комплекса, и скорость превращения «субстрат-продукт» определяется скоростью этого конформационного изменения [2, 4].

Переходы системы из одного конформационного состояния в другое зависят от высот активационных барьеров, их снижение происходит за счёт запасания энергии в белковой глобуле и концентрации на атакуемой связи в субстрате. Если предположить, что молекула белка упругая конструкция, то в ней будет запасаться энергия в виде энергии упругой деформации [4].

Схему взаимодействия фермента с субстратом можно представить следующим образом [2, 5]:

1. *Первая стадия* – присоединение субстрата к ферменту, образование фермент-субстратного комплекса. Происходит с выделением свободной энергии ΔF_1 ;

2. *Вторая стадия* – переход фермент-субстратного комплекса в активное состояние. Свободная энергия понижается на величину ΔF_2 ;

3. *Переход из второй стадии в третью* – активированный комплекс распадается, образуется фермент и продукт (продукты), но фермент ещё не успевает перестроиться и остаётся в напряжённом состоянии, что сопровождается изменением свободной энергии ΔF_3 ;

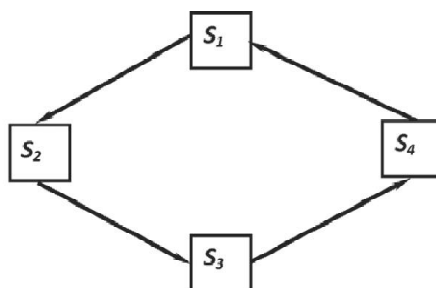
4. *Четвёртая стадия* – субстрат изменяется химически и фермент-конформационно. Процесс сопровождается изменением свободной энергии ΔF_4 .

На четвёртой стадии $E^* \rightarrow E$ свободная энергия представляет сумму химической, электрической и механической энергий: $F = F_{хим} + F_{эл} + F_{мех}$.

При переходах не меняется свободная суммарная энергия, то есть $\Delta F = 0$, меняются отдельные вклады, т.е. идёт превращение одного вида энергии в другой.

Модель функционирования фермента можно представить в виде марковского процесса [6], т.е. случайного процесса, протекающего в системе таким образом, что для любого момента времени t вероятность любого состояния системы в будущем зависит только от её состояния в настоящем, и не зависит от того, когда и каким образом система S пришла в это состояние.

Марковский процесс с дискретным состоянием удобно представить с помощью графа состояний:



Для рассмотренной схемы имеем 4 состояния S_i ($i = 1, 2, 3, 4$). Моменты времени t_1, t_2, t_3, t_4 , когда система меняет своё состояние, рассматриваем как последовательные шаги процесса и в качестве аргумента, от которого зависит процесс, выбираем номер шага k . Событие, состоящее в том, что после k -го шага система будет находиться в S_i состоянии, считаем случайным событием, и тогда последовательность состояний $S(0), S(1), S(2), S(3), S(4)$ рассматриваем как последовательность случайных событий, т.е. марковскую цепь. Исходное состояние системы, то есть активного центра белка-фермента, считаем заданным.

Вероятностями состояний такой цепи Маркова $P_i(k)$ считаются вероятностями того, что после k -го шага система находится в состоянии S_i . Следовательно, считая начальное состояние системы при $k = 0$ заданным, можно начальную вероятность считать равной 1: $P_i(0) = 1$, тогда все остальные равны 0. Далее составляется матрица переходных состояний. Вероятностью перехода из состояния S_i в S_j на каждом шаге называют условную вероятность того, что система после k -го шага окажется в состоянии S_j при условии, что после $(k - 1)$ -шага она находилась в состоянии S_i . В такой матрице строка характеризует вероятность перехода системы из состояния, а столбец – состояния.

Переходы представляют полную группу несовместных событий, т.е. $\sum P_{ij} = 1$. По главной диагонали переходной матрицы расположены вероятности P_{ij} того, что система останется в состоянии S_i . Полагаем, что процесс описывается однородной марковской цепью, т.е. вероятности перехода не зависят от номера шага, а зависят только от того, из какого состояния в какое осуществляется переход. Для однородной марковской цепи, зная начальное распределение вероятностей и матрицу переходных вероятностей, можно по рекуррентной формуле получить вероятность состояния системы $P_i(k)$:

$$P_i(k) = \sum_{j=1}^i P_j(k-1) P_{ij} \quad (n = 1) \quad (1)$$

Скорость ферментативных реакций зависит от вероятности переходов P_{ij} , которые зависят от высоты активационных барьеров. Вероятности можно рассчитать по формуле:

$$P_{ij} = \frac{k_0}{\omega_0} \exp \frac{-\Delta F_{ij}}{kT}, \quad (2)$$

где $k_0 = kT/h = 0,625 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$ – частота тепловых флуктуаций; $\Delta F_{ij} = F_{ij} - F_i$ – минимальная свободная энергия флуктуаций, где F_{ij} – свободная энергия того неравновесного состояния, которое образуется в результате флуктуаций, достаточная для преодоления барьера, характеризует переходное состояние; F_i – свободная энергия состояния из которого система переходит; ω_0 – собственная частота молекулярной конструкции, $\omega_0 \approx 10^{13} \text{ с}^{-1}$ при 300 К [4].

В литературе обсуждается информационное содержание свободной энергии, которую называют термодинамической информацией, используемой для стабилизации или построения структуры в рассматриваемом процессе на различных этапах [7]. В работе [8] рассчитывалась вероятность переходов и составлялась матрица переходных состояний для фермента фумаразы и на основе полученных результатов строилась схема функционирования фермента. Имея численные данные для расчёта вероятностей переходов, можно получать схемы функционирования любого фермента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф. «Биологическая химия». – М.: Медицина, 1983.
2. Волькенштейн М.В. Молекулярная биофизика. – М.: Наука, 1975.
3. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: динамическая теория информации. – М.: Наука, 2001.
4. Чернавский Д.С., Чернавская Н.М. «Белок – машина». Биологические макромолекулярные конструкции. – М.: Янус-К, 1999.
5. Волькенштейн М.В. «Физика ферментов». М.: Наука, 1967.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. «Теория вероятностей». – М.: Наука, 1975.
7. Эвери Д. Теория информации и эволюция. – М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2006.
8. Васильева Л.Ю., Уварова Л.А., Романова Е.Ю. Моделирование мезо- и нанообъектов в различных средах и полях. . – Тверь: ООО «Лаборатория деловой графики», 2010.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ГОВЯДИНЫ ТУШЕНОЙ ВЫСШЕГО СОРТА

Ю.И. Воласевич, Руководитель: В.А. Сорокина

*ФГБУ Колледж Росрезерва, Торжокский политехнический колледж,
Россия*

E-mail: valsorokina@inbox.ru

Консервы стали для нас необходимым продуктом и прочно заняли место в повседневном меню. Поэтому темой своей исследовательской работы стало исследования качества мясных консерв на соответствии ГОСТ 54033-2010.

Исследования проводились по органолептическим и физико-химическим показателям.

Все исследования проводились с учетом возможности лаборатории ТПК.

Говядина тушеная ООО «БОРИСОГЛЕБСКИЙ
МЯСОКОНСЕРВНЫЙ КОМБИНАТ»

Наименование показателей	Требования по ГОСТ54033-2010	Фактические данные	Вывод
Вкус и запах	Свойственный соответствующему тушеному мясу с пряностями, без посторонних запаха и привкуса.	Свойственный с привкусом пряностей лаврового листа, запах свойственный тушеному мясу без посторонних.	Соответствует ГОСТ54033-2010
Внешний вид	В разогретом состоянии - мясо кусочками произвольной формы массой не менее 30 г, без грубой соединительной ткани, крупных кровеносных сосудов и лимфатических узлов, в бульоне. При извлечении из банки кусочки сохраняют свою форму, возможно частичное распадание кусочков. Кусочки массой менее 30 г не должны составлять более 10% общей массы мяса.	В разогретом состоянии кусочки произвольной формы с наличием грубой соединительной ткани и хрящей, без кровеносных сосудов. Имеется наличие лука. При извлечения из банки кусочки частично распались, кусочки мяса менее 30г. составляют менее 10% общей массы.	Не соответствует ГОСТ54033-2010 по наличию грубой соединительной ткани в значительном количестве.
Консистенция мяса	Мясо сочное, непереваренное.	Не сочное, суховатое.	Не соответствует ГОСТ54033-2010
Внешний вид бульона	В нагретом состоянии цвет от желтоватого до светло-коричневого, с наличием взвешенных	Светло – коричневого цвета с наличием белковых хлопьев слегка мутноватый	Соответствует ГОСТ54033-2010

	белковых веществ в виде хлопьев. Допускается незначительная мутноватость бульона.		
Посторонние примеси	Не допускается.	Не обнаружено.	Соответствует ГОСТ54033-2010
Массовая доля мяса и жира, % не менее	58,0	55,19	Не соответствует ГОСТ54033-2010
Массовая доля жира, % не более	17,0	9,65	Соответствует ГОСТ54033-2010
Массовая доля поваренной соли, %	От 1 до 1,5	1,9	Не соответствует ГОСТ54033-2010

Вывод: говядина тушеная высший сорт «БОРИСОГЛЕБСКИЙ МЯСОКОНСЕРВНЫЙ КОМБИНАТ» не соответствует ГОСТ54033-2010 по внешнему виду и по консистенции мяса.

Говядина тушеная сорт «БАЛТКОМ»

Наименование показателей	Требования по ГОСТ54033-2010	Фактические данные	Вывод
Вкус и запах	Свойственный соответствующему тушеному мясу с пряностями, без посторонних запаха и привкуса.	Свойственный с привкусом пряностей лаврового листа, запах свойственный тушеному мясу без посторонних.	Соответствует ГОСТ54033-2010
Внешний вид	В разогретом состоянии - мясо кусочками произвольной формы массой не менее 30 г, без грубой соединительной ткани, крупных кровеносных сосудов и лимфатических узлов, в бульоне. При извлечении из банки кусочки сохраняют свою форму, возможно частичное распадание кусочков. Кусочки массой менее 30 г не должны составлять более 10% общей массы мяса.	В разогретом состоянии кусочки произвольной формы без грубой соединительной ткани и хрящей, без кровеносных сосудов. При извлечении из банки кусочки сохраняют свою форму.	Соответствует ГОСТ54033-2010
Консистенция мяса	Мясо сочное, непереваренное.	Мясо сочное не переваренное.	Соответствует ГОСТ54033-2010
Внешний вид бульона	В нагретом состоянии цвет от желтоватого до светло-коричневого, с	Светло – коричневого цвета с наличием белковых хлопьев	Соответствует ГОСТ54033-2010

	наличием взвешенных белковых веществ в виде хлопьев. Допускается незначительная мутноватость бульона.	слегка мутноватый	
Посторонние примеси	Не допускается.	Не обнаружено.	Соответствует ГОСТ54033-2010
Массовая доля мяса и жира, % не менее	58,0	56,7	Не соответствует ГОСТ54033-2010
Массовая доля жира, % не более	17,0	11,3	Соответствует ГОСТ54033-2010
Массовая доля поваренной соли, %	От 1 до 1,5	2,34	Не соответствует ГОСТ54033-2010

Вывод: говядина тушеная высший ООО «БАЛТКОМ» соответствует ГОСТ54033-2010 по всем органолептическим показателям.

Говядина тушеная ООО КМПЗ «БАЛТПРОММЯСО»

Наименование показателей	Требования по ГОСТ54033-2010	Фактические данные	Вывод
Вкус и запах	Свойственный соответствующему тушеному мясу с пряностями, без посторонних запаха и привкуса.	Вкус не свойственный данному мясу запах не приятный.	Не соответствует ГОСТ54033-2010
Внешний вид	В разогретом состоянии - мясо кусочками произвольной формы массой не менее 30 г, без грубой соединительной ткани, крупных кровеносных сосудов и лимфатических узлов, в бульоне. При извлечении из банки кусочки сохраняют свою форму, возможно частичное распадание кусочков. Кусочки массой менее 30 г не должны составлять более 10% общей массы мяса.	Мясо одним куском видны жилы, присутствует грубая соединительная ткань, кровеносные сосуды, при извлечении из банки сохраняет форму и не распадается на кусочки	Не соответствует ГОСТ54033-2010
Консистенция мяса	Мясо сочное, непереваренное.	Мясо сочное не переваренное.	Соответствует ГОСТ54033-2010
Внешний вид бульона	В нагретом состоянии цвет от желтоватого до	Темно – коричневого цвета с наличием	Не соответствует ГОСТ54033-2010

	светло-коричневого, с наличием взвешенных белковых веществ в виде хлопьев. Допускается незначительная мутноватость бульона.	белковых хлопьев слегка мутноватый	
Посторонние примеси	Не допускается.	Не обнаружено.	Соответствует ГОСТ54033-2010
Массовая доля мяса и жира, % не менее	58,0	43,2	Не соответствует ГОСТ54033-2010
Массовая доля жира, % не более	17,0	11,8	Соответствует ГОСТ54033-2010
Массовая доля поваренной соли, %	От 1 до 1,5	1,9	Не соответствует ГОСТ54033-2010

Вывод: говядина тушеная высший ООО КМПЗ «БАЛТПРОММЯСО» не соответствует ГОСТ54033-2010 по в органолептическим показателям.

При исследованиях оказалось что консервы говядина тушеная не соответствуют показателям ГОСТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) ГОСТ Р54033-2010 Консервы мясные. Мясо тушеное. Технические условия;
- 2) ГОСТ 8756.1-79 Продукты пищевые консервированные. Методы определения органолептических показателей, массы нетто или объема и массовой доли составных частей
- 3) И.А. Рогов, А.И. Жариков Технология и оборудования мясоконсервного производства М – 1978;
- 4) А.Г. Елисеева Товароведенье и экспертиза продовольственных товаров М – 2006;
- 5) В.М. Позняковский Экспертиза мясо и мясопродуктов Новосибирск – 2002;
- 6) З.Л. Матюхина Товароведенье пищевых продуктов М – 2003;

СИНЕРГИЗМ И АНТАГОНИЗМ АНТИОКСИДАНТОВ

В.А. Волков

*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,
Россия*

E-mail: vl.volkov@mail.ru

Антиоксиданты (АО), как вещества, в малых концентрациях замедляющие окисление органических веществ по различным механизмам [1], не только присутствуют в любых живых организмах и защищают

клеточные структуры от окислительной деструкции, но и используются в химической промышленности для стабилизации полимеров, в пищевой и косметической промышленности для стабилизации жиров и жиросодержащих продуктов. Большая часть представленных на рынке биологически активных добавок – добавки антиоксидантного действия.

Во всех живых объектах содержится набор различных по химическому строению АО: фенольные (простые фенолы, фенолкарбоновые и оксикоричные кислоты, флавоноиды, стильбены, лигнаны), каротиноиды, глутатион, ферменты (каталаза, пероксидаза, супероксиддисмутаза). При этом возможно как аддитивное их действие, так и нелинейное взаимодействие (синергизм либо антагонизм).

При введении экзогенных АО в организм человека и животных, а также в пищевые продукты с целью их стабилизации также может наблюдаться их нелинейное взаимодействие с эндогенными АО, что важно учитывать при выборе экзогенного АО. Эффект синергизма может быть использован с целью усиления эффекта стабилизации полимеров путем введения двух АО, усиливающих действие друг друга.

В связи с изложенным выше, важно знать механизмы взаимодействия АО и учитывать их при выборе ингибиторов окисления в производстве полимеров, пищевой промышленности и фармацевтике.

Явление синергизма было достаточно подробно рассмотрено в [2]. Рассмотрим следующие механизмы взаимодействия антиоксидантов, обуславливающие эффект синергизма.

1. Совместное присутствие в реакционной системе антирадикального ингибитора и разрушителя перекисей. Так, при совместном присутствии *n*-оксифенил- β -нафтиламина и меркаптобензимидазола максимальный период индукции окисления полипропилена втрое превышает период индукции в присутствии только одного из компонентов этой смеси АО в той же концентрации [3]. Фенолы обнаруживают синергизм с диалкилсульфитами и органическими фосфитами. На этом основано создание бифункциональных АО, таких, как тиофаны (рис. 1).

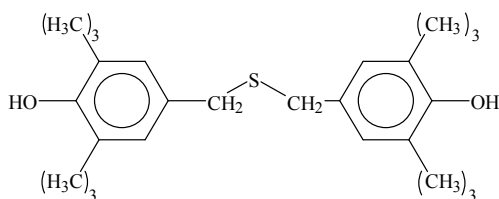
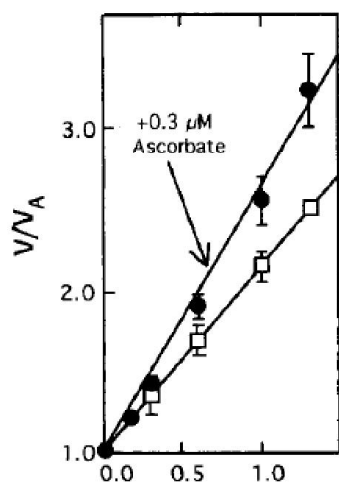


Рис. 1. Структурная формула тиофана.

Выраженный синергизм смесей АО, действующих на разных этапах СРО обусловлен тем, что антирадикальные АО, уменьшая среднюю длину цепи, уменьшают образование перекисей, а разрушитель перекисей уменьшает число цепей окисления в реакционной системе. Таким образом, два антиоксиданта предохраняют друг друга от быстрого расходования.

2. Совместное присутствие активного антирадикального АО и восстановителя (который может являться менее активным АО либо вообще не проявлять антиокислительных свойств). При этом происходит восстановление быстрее расходующегося более активного АО менее активным, что снижает скорость окисления и повышает период индукции. Классическим примером синергиста АО является аскорбиновая кислота, которая сама по себе не тормозит окисление органических веществ, но при совместном присутствии усиливает ингибирующее действие рутина, α -токоферола, пробуккола [4-6] и других антиоксидантов (рис. 2, [7]). В [8] показано, что лимонная кислота не обладает собственной антиоксидантной активностью, а играет роль синергиста α -токоферола (рис. 3). Синергизм обнаружен при совместном присутствии ряда флавоноидов (кверцетин, рутин, лютеин) и α -токоферола; оксикоричных



токоферол, мкМ

Рис. 2. Эффект синергизма α -токоферола и аскорбиновой кислоты при ингибировании окисления фенилпропеновой кислоты. По оси ординат – относительное уменьшение интенсивности флуоресценции реакционной системы.

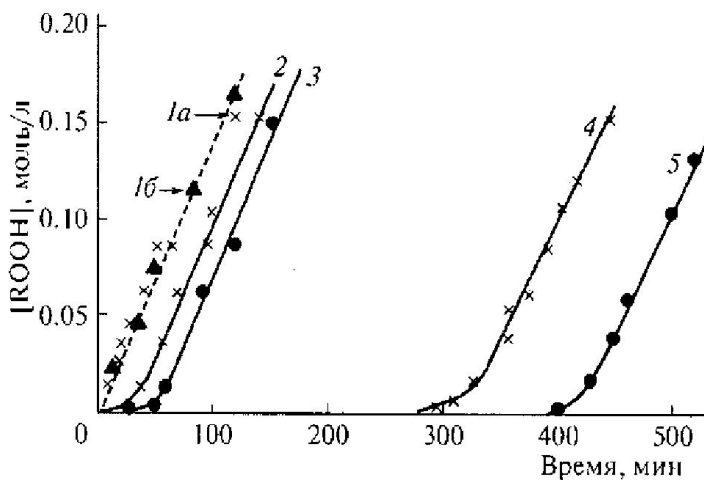
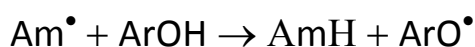
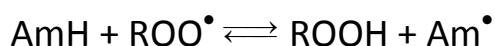


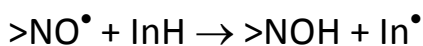
Рис. 3. Эффект синергизма α -токоферола и лимонной кислоты при торможении накопления перекисей в растительном масле: 1а – рафинированное масло; 1б - рафинированное масло + лимонная кислота; 2 – рафинированное масло + токоферол; 3 – нерафинированное масло; 4 - рафинированное масло + токоферол + лимонная кислота; 5 - нерафинированное масло + лимонная кислота

кислот (феруловой, синаповой кислот) и α -токоферола, флавоноидов (физетин, нарингенин, 7-моногидроксиэтилрутозид) и глутатиона [9-10]. В живых организмах классической синергической антиоксидантной системой является α -токоферол – аскорбиновая кислота – глутатион, среди которых α -токоферол обладает наибольшей активностью в отношении радикалов, а аскорбиновая кислота и глутатион по цепочке восстанавливают его. В модельной системе анализа АО, основанной на окислении кумола, образуется в результате его распада фенол, который может играть роль синергиста исследуемых АО, что может влиять на результаты измерений.

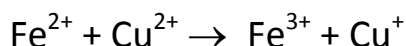
3. *Синергизм АО фенольного и аминного типа.* Обусловлен не только восстановлением фенольным АО аминильного радикала до амина, более активного, чем фенол, но и большей реакционной способностью образующихся способностью феноксильных радикалов по отношению к алкилпероксидным, чем аминильных. Восстанавливая аминильные радикалы, фенол уменьшает скорость их взаимодействия с пероксидами, являющегося причиной снижения эффективной константы скорости реакции аминов с пероксирадикалами:



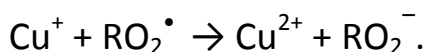
4. *Совместное присутствие иминоксильного радикала либо хинона и восстановителя (фенола либо амина).* Нитроксильные радикалы и хиноны в кислородсодержащих системах малоэффективны как АО, поскольку не взаимодействуют с пероксирадикалами, однако их восстановление до соответствующего гидроксилamina или семихинонного радикала приводит к образованию весьма реакционноспособного ингибитора:



5. Металлы переменной валентности являются катализаторами радикального распада пероксидов. Тем не менее, *при взаимодействии солей двухвалентных железа и меди* последняя окисляет железо, переводя его в каталитически малоактивную форму и далее взаимодействуя с пероксильными и алкильными радикалами



Cu^+ далее взаимодействует с пероксильными радикалами:



6. Образование смешанных мицелл с гидроперекисями, в которых концентрируются полярные АО. Это сопровождается повышением эффективности антирадикального ингибитора. Примером такого синергиста является фосфатидилхолин [11].

Комплексообразование между АО может приводить как к синергизму, так и антагонизму.

Эффекты синергизма и антагонизма антиоксидантов при их совместном присутствии нуждаются в дальнейшем систематическом детальном исследовании с использованием различных модельных систем анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Halliwell B, Gutteridge JMC. Free radicals in biology and medicine: Oxford University Pres. 1999.
2. Карпухина Г.В., Эмануэль Н.М. Классификация синергических смесей антиоксидантов и механизмов синергизма // Докл. АН СССР. 1984. -Т.276. - № 5. - С. 1163-1167.
3. Левин П.И., Луковников А.Ф., Нейман М.Б., Хлопьянкина М.С. // Высокомолекулярные соединения, 1961. – Т. 3, С. 1243.
4. Galey J.-B. In: Antioxidants in Disease. Mechanisms and Therapy. H Sies (ed.), Academic Press, San Diego. 1997. P. 167 – 203.
5. Negre-Salvayre A., Affany A., Hariton C., et al. Additional antilipoperoxidant activities of alpha-tocopherol and ascorbic acid on membrane-like systems are potentiated by rutin // Pharmacology. 1991.V. 42. P. 262 – 272.
6. Kalyanaraman B., Darley-Usmar V.M., Wood J., et al. Synergistic interaction between the probucol phenoxyl radical and ascorbic acid in inhibiting the oxidation of low density lipoprotein // *J. Biol. Chem.* 1992. V. 267. P. 6789 – 6795.
7. Tsuchiya M., Kagan V.E., Freisleben H.-J., et al. Antioxidant Activity of Tocopherol, *l*-Carotene and Ubiquinol in Membranes: *cis*-Parinaric Acid Incorporated Liposomes // *Methods in enzymology.* V. 234. P. 371 – 383.
8. Эмануэль Н.М. Торможение процессов окисления жиров. М: Пищепромиздат, 1961. 359 с.
9. Kancheva V.D.. Phenolic antioxidants of natural origin – structure activity relationship and their beneficial effect on human health. In: *Phytochemicals and Human Health: Pharmacological and Molecular Aspects*, Nova Science Publishers Inc., USA, Ed. A. A. Farooqui, 2012, Chapter I, P. 1 – 45.

10. Kancheva V.D. Antioxidants. Structure - activity relationship. In: “Antioxidants -Prevention and Healthy Aging”, Ed. by F. Ribarova, SIMELPRESS Publ., Sofia, Bulgaria, 2010, Chapter 1, P. 56 – 72.

11. Mengele E.A., Kartasheva Z.S., Plashchina I.G., et al. [Specific features of lecithin oxidation in organic solvents](#).

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ВЫПУСКАЕМЫХ “ЗАО ТОРЖОКСКИМ ХЛЕБОЗАВОДОМ”

О.А Жарковская, руководитель: В.А. Сорокина

*ФГБУ Колледж Росрезрва, Торжокский политехнический колледж,
Россия*

E-mail: valsorokina@inbox.ru

Производство хлеба, как и до нашей эры на сегодняшний день является актуальной темой, так как хлеб и продукты хлебопекарной промышленности играют огромную роль в жизни людей. Поэтому темой своей исследовательской работы я решила взять “Исследование качества хлебобулочных изделий ЗАО Торжокского хлебозавода”. На рынках нашего города продается широкий ассортимент хлебобулочных изделий “ЗАО г.Торжок”. Для этого была проведена товароведная характеристика по изучению поставки хлебобулочных изделий “ЗАО Торжокского хлебозавода” и изучение ассортимента. Большим спросом у населения пользуются следующие виды хлебобулочных изделий: Хлеб Дарницкий, хлеб Казацкий, Донецкий, батон нарезной, столовый. Продукция Торжокского хлебозавода в полном ассортименте продается не во всех магазинах; так например магазин “Гулливвер”, “Ленинградский” продает только один вид хлеба – “Дарницкий” формовой; Хлеб “Дарницкий” и батон “Нарезной” продает вся сеть магазинов “Магнит” в городе Торжке , а так же “Сударушка ” и “Верба” на Ильинской площади. 4 вида хлебобулочных изделий продаются в ларьке ОАО “Торжокского хлебозавода” на улице Калининское шоссе, на Ильинской площади в магазине ОАО “Торжокского хлебозавода” и в магазине “Пирамида” на улице Мира, а 12 видов хлебобулочных изделий продаются в магазинах ОАО Торжокский хлебозавод на улице Пролетарской, в ларьке ОАО Торжокского хлебозавода на улице Луначарского, в магазине ОАО Торжокского хлебозавода на Ильинской площади. В связи с этим изучение ассортимента и цен на хлеб я провела в этих магазинах.

По данному виду хлебобулочных изделий я провела исследования по органолептическим показателям и физико-химическим показателям. Внешний вид: форма, поверхность, цвет, пористость, определение влажности и кислотности. Состояние мякиша определяла описательным

методом: пропеченность, пористость, промес, а так же вкус и запах. При выполнении физико-химических исследований использовались методы количественного анализа гравиметрический и титриметрический. Все исследования проводились с учетом возможности лаборатории ТПК.

Образец №1. Хлеб “Дарницкий”

Наименование показателя.	Требования по ГОСТ 26983-86.	Фактическая характеристика.	Вывод.
Внешний вид: Форма Формового			Соответствует.
Поверхность	Соотв. хлебной форме в которой выпекание без боковых выливов.	Правильная, прямоугольная, без боковых выплывов.	Соответствует.
Цвет	Шероховатая, без крупных трещин и подрывов. Наличие шва от делителя-укладчика. От светло-коричневого до темно-коричневого.	Слегка шероховатая, имеются мелкие боковые трещины под верхней корки. Светло-коричневый. Верхняя корка темно-коричневая, без подгорелости.	Соответствует.
Состояние мякиша: Пропеченность	Пропеченый, не липкий, не влажный, эластичный. После надавливания пальцем должен принимать первоначальную форму.	Пропеченый, мягкий, не увлажненный, не липкий, эластичный. При надавливании быстро принял первоначальное положение.	Соответствует.
Промес	Без комочков и следов непромеса.	Следы непромеса не обнаружены.	Соответствует.
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений, не допускается отслоение корки от мякиша.	Боковые и верхняя корка не отстают от мякиша, пористость развитая, без пустот.	Соответствует.
Вкус	Свойственный данному виду хлеба без посторонних.	Вкус приятный, слегка кисловатый, свойственный данному виду хлеба без посторонних.	Соответствует.
Запах	Свойственный данному виду изделия без посторонних.	Запах свойственный печеному хлебу, без посторонних запахов.	Соответствует.

Вывод: Хлеб “Дарницкий” по всем органолептическим показателям соответствует требованиям ГОСТ 26983-86. Дефектов не обнаружено.

Образец №2. Батон нарезной “Торжокский”

Наименование показателя.	Требования по ГОСТ 52462-05.	Фактическая характеристика.	Вывод.
Внешний вид: Форма	Продолговато-овальная.	Правильная продолговато-овальная.	Соответствует.
Поверхность	С косыми надрезами.	Надрезы косые, без трещин.	Соответствует.
Цвет	От светло-желтого до коричневого.	Верхняя корка коричневая, без подгорелостей.	Соответствует.
Состояние мякиша: Пропеченность	Пропеченный, не влажный на ощупь. Эластичный. После легкого надавливания пальцами мякиш должен принимать первоначальную форму.	Не пропеченный, мягкий, липкий. При надавливании пальцами не принимает первоначальное положение.	Не соответствует.
Промес	Без комочков и следов непромеса.	Следы непромеса не обнаружены.	Соответствует.
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений.	С пустотами	Не соответствует.
Вкус	Свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса.	Вкус приятный, слегка сладковатый, свойственный, без посторонних.	Соответствует.
Запах	Свойственный данному виду изделий, без постороннего запаха.	Запах свойственный батону, без посторонних запахов.	Соответствует.

Вывод: Батон нарезной “Торжокский” по всем органолептическим показателям не соответствует требованиям ГОСТ 27844-88. Обнаружены дефекты по показателям пропеченности и пористости.

По физико-химическим показателям было исследовано: пористость, определение влажности, определение кислотности.

Образец №1. Хлеб “Дарницкий”

1. Определение пористости в соответствии с ГОСТ 5669-96

$M = 128,8$ (вес всех 4 кусков), Диаметр = 3,0 см, R (Радиус) = 1,5, H (длина) = 12 см Q (плотность) дана по ГОСТу в соответствии с видом хлеба = 1,22

По расчетным данным пористость равна 68,8%.

Вывод: По ГОСТу пористость не менее 47%. Соответствует ГОСТ 5669-96.

2. Определение влажности в соответствии с ГОСТ 21094-75

По расчетным данным двух параллельных определений влажность составила 14,275%

Вывод: По ГОСТу от 19-50%

3. Определение кислотности в соответствии с ГОСТ 5670-96

По результатам двух параллельных определений кислотность составила 9°Т

Вывод: По ГОСТу не более 11 °Т. Соответствует ГОСТ 5670-96.

Образец №2. Батон нарезной “Торжокский”

1. Определение пористости в соответствии с ГОСТ 5669-96

Исследовать пористость не удалось, так как были обнаружены дефекты, которые не позволили выполнить данный анализ.

2. Определение влажности в соответствии с ГОСТ 21094-75

По расчетным данным двух параллельных определений влажность составила 20,32%

Вывод: По ГОСТу от 19-48%

3. Определение кислотности в соответствии с ГОСТ 5670-96

По результатам двух параллельных определений кислотность составила 1,6°Т

Вывод: По ГОСТу не более 4,0 °Т. Соответствует ГОСТ 12584-67.

Вывод: При исследовании хлеба “Дарницкого” выявлено, что он по всем показателям соответствует ГОСТу. Батон “Нарезной” не соответствует нормативно-технической документации ГОСТу 52462-05.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1) Н. В Коник – Товароведение прод. товаров.М-Альфа 2009г.

2) В.А Тимофеева – Товароведение прод. товаров.Ростов на дону – Феникс 2009г.

3) А.Т Елисеева – Товароведение и экспертиза прод. товаров.М-2006г.

4) Т.И Иванова – Товароведение и экспертиза зерно-мучных товаров.Ростов на дону 2002г.

5) Э.П Королькова, З.П Матюхина – Товароведение пищевых продуктов.М-Академия 2007г.

ГОСТ Р 53076-08: Определение соответствия упаковки и маркировки.

ГОСТ 5667-65: Определение качества хлебобулочных изделий.

РЯД ПРИБЛИЖЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА И ВЛАГИ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ С УЧЕТОМ БАЛАНСА ЭНЕРГИИ

А.В. Воротынцев

Вычислительный Центр РАН, Москва, Россия

E-mail: avv_alexv@mail.ru

Моделирование переноса тепла и влаги в системе почва-растение – одна из базовых задач описания роста растений и их урожайности. Представляет практический интерес описание переноса с помощью приближенных моделей с идентифицируемыми параметрами.

1. Система уравнений модели переноса тепла и влаги

На рис. 1 представлена схема потоков тепла и влаги в системе почва-растение. Зигзагами изображены сопротивления, которые испытывают потоки тепла и влаги.

В слое $(0 \leq x \leq H_l)$ растительного покрова (РП) и корнеобитаемом слое почвы $-H_s \leq x \leq 0$ рассмотрим четыре сопряженные системы уравнений, [1]: две системы уравнений (1)–(4) для температуры воздуха T_a , листьев T_l , концентрации водяного пара в межлистном воздухе q_a , в устьичных полостях листьев q_l для $(0 \leq x \leq H_l)$

$$J_{Ta} = -c_p k_a \partial T_a / \partial x, \quad J_{qa} = -k_a \partial q_a / \partial x, \quad (1)$$

$$c_p \partial T_a / \partial t = -\partial J_{Ta} / \partial x + f_{Tl}, \quad \partial q_a / \partial t = -\partial J_{qa} / \partial x + f_{ql}, \quad (2)$$

$$f_{Tl} = c_p D_T S_l (T_l - T_a) p_l, \quad f_{ql} = D_q S_l (q_l - q_a) p_l, \quad (3)$$

$$f_{Tl} + \chi f_{ql} = \partial R_{ll} / \partial x; \quad (4)$$

и две системы (5-7) для температуры T_s и водного потенциала $\psi_s < 0$ почвы

$$J_{Ts} = -c_p k_{Ts} \partial T_s / \partial x, \quad J_{\psi_s} = -k_{\psi_s} \partial \psi_s / \partial x, \quad (5)$$

$$c_s \partial T_s / \partial t = -\partial J_{Ts} / \partial x, \quad c_{\psi} \partial \psi_s / \partial t = -\partial J_{\psi_s} / \partial x - f_{\psi_s}, \quad (6)$$

$$f_{\psi_s} = J_{ql} p_k + D_k S_k (\psi_s - \bar{\psi}_s) p_k; \quad (7)$$

с краевыми условиями:

$$J_{Ta} = c_p D_a (T_a - T_a^0), \quad J_{qa} = D_a (q_a - q_a^0), \quad x = H_l, \quad (8)$$

$$J_{Ts} = c_p D_{Ts} (T_s - T_a), \quad J_{qs} = D_{qs} (q_s - q_a), \quad x = 0$$

$$\begin{aligned}
 J_{T_a} + \chi J_{q_a} - J_{T_s} &= R(0, t), & -J_{\psi_s} + J_{q_a} &= Q(t), & x=0 & \quad (9) \\
 T_s = T_s^0, & & \psi_s = \psi_s^0, & & x=-H & \quad (10) \\
 & & & & & \quad (11)
 \end{aligned}$$

Ассимиляция CO_2 , испарение воды J_{ql} и в целом транспорт воды в растениях регулируются проводимостью устьиц D_q , водным потенциалом листьев ψ_l , $\psi_m \leq \psi_l < 0$, устьичным сопротивлением r_{st} листьев и описывается нелинейными выражениями, [1]:

$$\begin{aligned}
 J_{ql} &= \int_0^{H_1} f_{ql} dx, \quad J_{ql} = D'_k (\bar{\psi}_s - \psi_l), \quad \text{при } \psi_m < \psi_l < \bar{\psi}_s < 0; \text{ иначе } J_{ql} = 0, \\
 \text{при } \bar{\psi}_s \leq \psi_m < 0, \quad \text{где } \bar{\psi}_s &= \int_{-H_k}^0 \psi_s p_k dx; \quad r_{st}(\mu_l) = r_{s0}(1 - \delta_l \mu_l)(1 - \mu_l)^{-1}, \\
 1/D_q &= 1/D_T + r_{st}, \quad 1/D'_k = r_{kc} + 1/(D_k S_k); \quad 0 < \mu_l \equiv \psi_l / \psi_m < 1; & (12)
 \end{aligned}$$

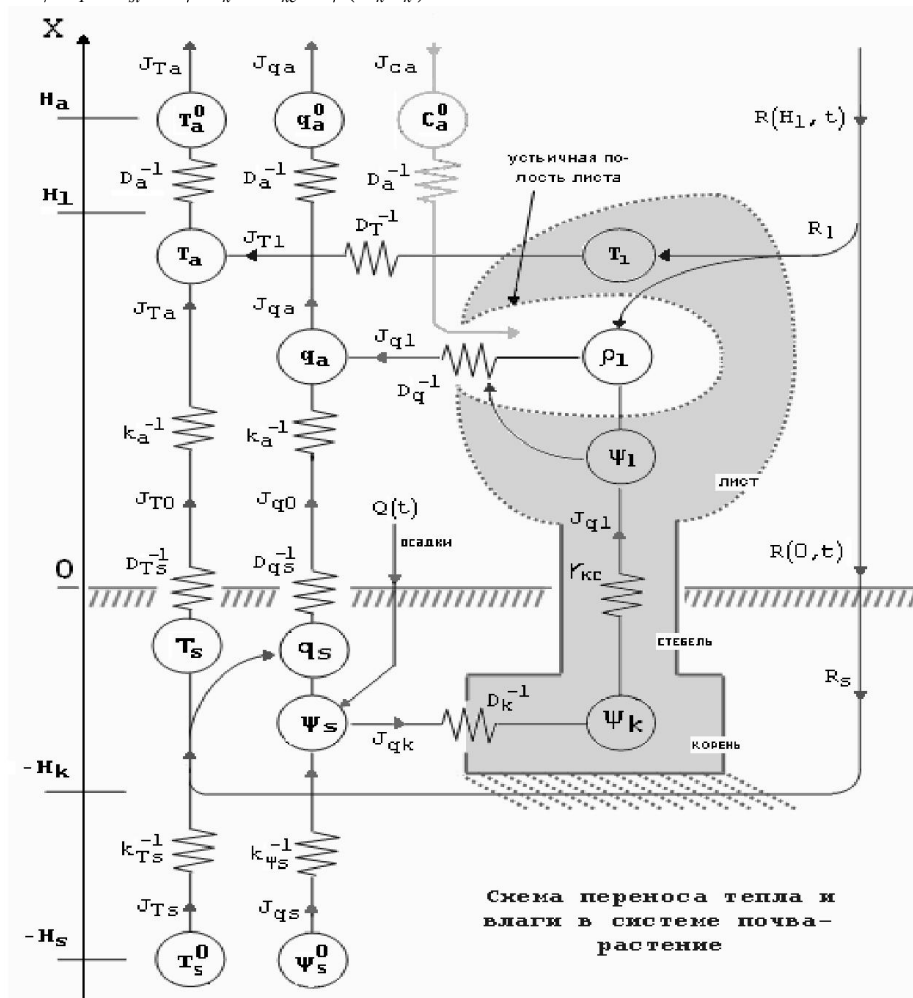


Рис. 1. Схема переноса тепла и влаги в системе почва-растение.

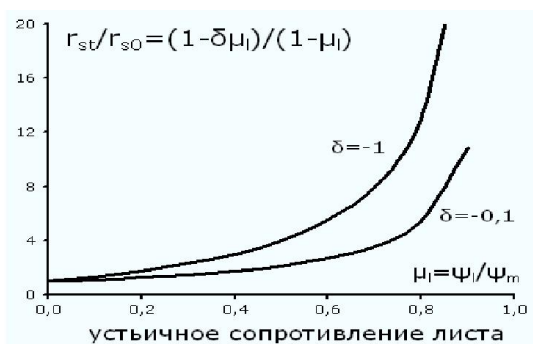


Рис. 2. Зависимость устьичного сопротивления от потенциала листа.

Здесь J_{Ta} , J_{qa} – потоки тепла и водяного пара в воздухе; J_{Ts} , $J_{\psi s}$ – потоки тепла и воды в почве; $R_{ll}(x,t)$ – заданная поглощенная слоем $(0,x)$ длинноволновая и коротковолновая радиация, $R(0,t)$ – радиационный баланс у поверхности почвы; $R_s = R(0,t) + J_{Ts}$ – энергия, поглощенная верхним слоем почвы; S_l , S_k – поверхности листьев и корней на единицу поверхности почвы; $S_l p_l(x)$, $S_k p_k(x)$ – плотность листовой и всасывающей корневой поверхности. T_a^0 , q_a^0 , $Q(t)$ и T_s^0 , ψ_s^0 – заданные функции времени, измеряемые на высоте H_a метеобудки над покровом и на глубине $-H_s$ почвы; остальное – заданные константы. Здесь c_p , c_s – теплоемкость воздуха и почвы, $k_a(x)$ – турбулентный коэффициент проводимости воздуха и k_{Ts} – коэффициент теплопроводности почвы; $k_{\psi s}$ – коэффициент влагопроводности почвы; χ – теплота парообразования; D_T , D_q , D_k , D_a , D_{Ts} , D_{qs} – проводимости, см. рис. 1; $\bar{\psi}_s$ – усредненный водный потенциал корнеобитаемого слоя почвы.

Потоки являются величинами, имеющими знак. Направления положительных потоков указаны на рис. 1 стрелками. Дифференциальные уравнения систем (1)-(11) связаны алгебраическими выражениями (4) и (10), описывающими балансы энергии в межлистном воздухе и на поверхности почвы.

Модель (1)-(12) позволяет рассчитать влияние внешних условий на величину устьичного сопротивления r_{st} , с помощью которого растение балансирует свой температурный режим T_l , тургор листьев и поглощение CO_2 , затрачиваемое на рост биомассы. Рост внутрилистного давления (тургора), растягивающего лист, способствует росту биомассы листа за счет поступающих продуктов фотосинтеза. Полагают, что величина сопротивления r_{st} определяется водным потенциалом $\psi_l < 0$ листа и его потенциалом завядания ψ_m , как показано на рисунке. Эта зависимость существенно нелинейна. Чем ближе ψ_l к ψ_m , $\psi_m < \psi_l \leq 0$, тем больше

сопротивление r_{st} и тем меньше вынос тепла и воды транспирацией J_{qt} листьев, тем больше T_l и больше тургор, но меньше поглощение CO_2 листьями и соответственно наоборот.

Турбулентные течения в растительном покрове появляются потому, что днем почва нагревается больше, чем надпочвенный воздух. Поэтому верхние более тяжелые массы воздуха опускаются вниз, выталкивая вверх нижние более теплые и поэтому легкие массы воздуха, которые затем охлаждаются и вновь опускаются вниз. При этом на границах лист воздух и почва-воздух водяной пар распространяется диффузией молекул воды, а тепло - столкновениями молекул воздуха, т.е. быстрее.

Обозначим:

$$\begin{aligned} d_a(x,t) &= \rho(T_a) - q_a, \quad d_s(t) = \rho(T_s(0,t)) - q_s(t), \quad d_a^0 = \rho(T_a^0) - q_a^0(t); \\ \rho(T) &= \rho(T_1) + \delta(T - T_1); \\ k(x) &= \frac{k_a(x)}{1 + \delta\chi/c_p}, \quad G = \frac{1}{1 + c_p/(\delta\chi)}, \quad G_l = G(1 - b_l), \quad G_s = G(1 - b_s); \\ \frac{1}{D_{ak}} &= \int_0^{H_l} \frac{d\xi}{k_a(x)}, \quad \frac{1}{D'_{ak}} = \frac{\delta\chi}{c_p D_{ak}}, \quad \frac{1}{D'_{Hk}} = \frac{1}{D_{ak}} + \frac{1}{D'_{ak}} = \int_0^{H_l} \frac{d\xi}{k(\xi)}, \quad \frac{1}{D'_{Ta}} = \frac{\delta\chi}{c_p D_a}, \\ \frac{1}{D'_a} &= \frac{1}{D_a} + \frac{1}{D'_{Ta}}, \quad \frac{1}{D'_{Ts}} = \frac{\delta\chi}{c_p D_{Ts}}, \quad \frac{1}{D'_T} = \frac{\delta\chi}{c_p D_T S_l}, \quad \frac{1}{D'_q} = \frac{1}{D_q S_l}, \quad \frac{1}{D'_l} = \frac{1}{D'_q} + \frac{1}{D'_T}, \\ \frac{1}{D'_s} &= \frac{1}{D_{qs}} + \frac{1}{D'_{Ts}}; \quad b_l = G^{-1} \frac{D'_l}{D'_T}, \quad b_s = G^{-1} \frac{D'_s}{D'_{Ts}}, \quad D'_\Sigma = D'_a + D'_l + D'_s. \end{aligned} \quad (13)$$

2. Квазистационарная приближенная модель переноса в РП

Для $\partial q_a/\partial t \rightarrow 0$, $\partial q_s/\partial t \rightarrow 0$ получена в [2] квазистационарная модель переноса тепла и влаги в растительном покрове, определяющая все потоки и переменные РП системы (1)-(4), например,

$$J_{qa} = \chi^{-1} G R_a^0 + D'_a (d_a^0 - y), \quad x = H_l; \quad (14)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} J_{qa} = \chi^{-1} D'_l \left\{ \frac{R'_{ll}}{D'_T} + \chi p_l y \right\}, \quad 0 \leq x \leq H_l; \quad (15)$$

$$J_{qa} = \chi^{-1} D'_s \left\{ \frac{R_s}{D'_{Ts}} + \chi (y - d_s) \right\}, \quad x = 0; \quad (16)$$

и т.д. через одну функцию $y(t,x)$ – функцию дефицита влажности воздуха в растительном покрове. При этом функция $y(t,x)$ оказывается решением следующего интегрального уравнения, полученного в [2]:

$$\begin{aligned} y &= \bar{d}_a(t) + Y(x,t) - \frac{D'_l}{D'_\Sigma} \int_0^{H_l} Y(\xi,t) p_l d\xi - \frac{D'_s}{D'_\Sigma} Y(0,t), \\ Y(x,t) &= D'_l \int_x^{H_l} \frac{d\xi}{k(\xi)} \int_0^\xi y(\zeta,t) p_l d\zeta + D'_s \left\{ y(0,t) - d_s \right\} \int_0^{H_l} \frac{d\xi}{k(\xi)} - \chi^{-1} \int_0^{H_l} \frac{G_l R'_{ll}(\xi,t) + G_s R_s}{k(\xi)} d\xi. \end{aligned} \quad (17)$$

Вследствие ограниченности объема настоящей публикации автор предполагает в других сборниках этой серии опубликовать последующие приближения ряда моделей переноса тепла и влаги в растительном покрове с учетом баланса энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 312 с.
2. Воротынцев А.В. Исследование модели переноса тепла и влаги в системе почва-растение // Математическая биология и биоинформатика. Спецвыпуск по итогам конференции ЭкоМатМод-2011. – 2012. - Т. 7, № 1. - С. 45-53.
3. Воротынцев А.В. Приближенная модель переноса тепла и влаги в системе почва-растение с учетом баланса энергии. // Вестник БГУ. Математика, Информатика. 2014. Вып. 9. № 1. С. 22-26.

ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В ПАРАДИГМЕ БИОСФЕРОСОВМЕСТИМОГО ГОРОДА

П.А. Ермаченко

*Южно-Российский государственный политехнический университет
(Новочеркасский политехнический институт) имени М.И. Платова,
Новочеркасск, Россия*

E-mail: neo-ecology@mail.ru , Web-site: www.neo-ecology.net

Согласно опубликованным докладам «Всемирной программы оценки водных ресурсов» (WWAP) [1], сейчас более 1,2 млрд. людей живут в условиях постоянного дефицита пресной воды. Продолжающаяся урбанизация усугубляет ситуацию. В следующие несколько десятилетий ожидается, что городское население вырастет на 1,8 миллиарда человек и около 95% роста придётся на развивающиеся страны. В данной работе представлен альтернативный подход создания локальных энергонезависимых фотобиологических очистных сооружений, интегрированных в городскую среду [2].

Первый в мире жилой дом с фотобиореакторами, установленными на фасаде, уже построен. По заверению разработчиков, он на 50% покрывает энергопотребление за счёт микроводорослей [3]. А в рамках Milan Design Week 2014 были представлены модульные строительные блоки Urban Algae Copore, изготовленные из прозрачной тефлоновой плёнки (ETFE) с интегрированными фотобиореакторами. В данной работе рассмотрен пример интеграции подобных сооружений в плотную застройку методами параметрической оптимизации.

Фотобиологические очистные сооружения позволяют: получать биотопливо третьего поколения, утилизировать диоксид углерода, очищать и обеззараживать сточные воды, рационально перерабатывать соединения фосфора, использовать солнечную радиацию в системах отопления и адаптивного освещения. Данное инженерное решение может быть интегрировано в жилой квартал, поскольку за счёт рекуперации диоксида углерода и изготовления герметичной светопроницаемой архитектурной оболочки санитарная зона вокруг сооружений значительно сокращается.

Архитектурные мембраны из ETFE не теряют своих химических свойств в течение 25 лет. Благодаря очень гладкой поверхности мембран, они самоочищаются под действием дождя и снега. Это особенно ценно, учитывая склонность фотобиореакторов к биообрастанию. На рисунке 1 показан возможный вариант конструкционного решения для фотобиологических очистных сооружений.

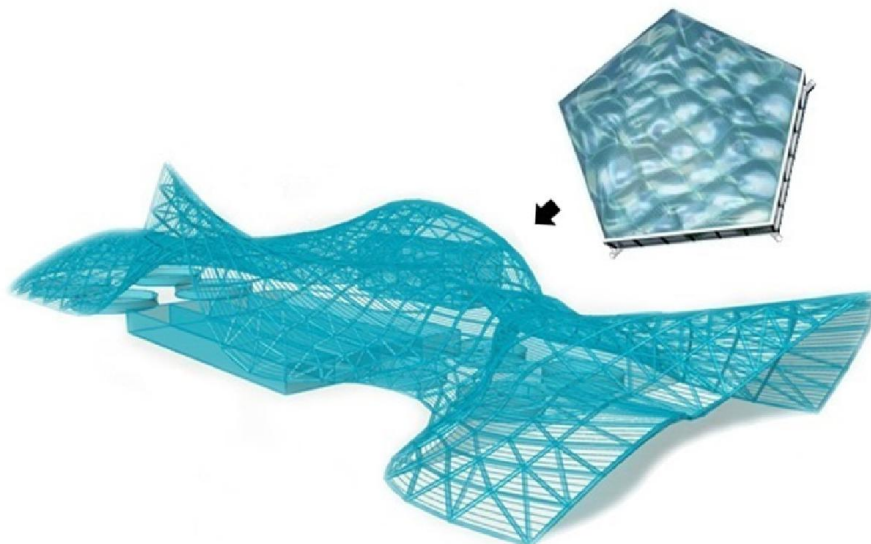


Рисунок 1. Архитектурная оболочка с фотобиореакторами.

Задача привязки проектируемых сооружений к существующей городской застройке в данном исследовании решена посредством использования подвижных клеточных автоматов [4]. Для этого сделана попытка описания алгоритма кластеризации закономерностями,

характерными для природных экологических ниш, что позволяет им концентрироваться в областях, где факторы среды оптимально сочетаются.

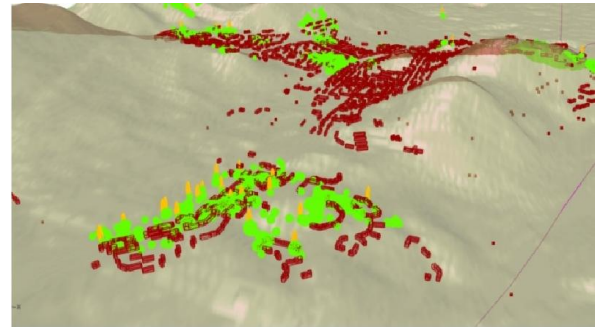
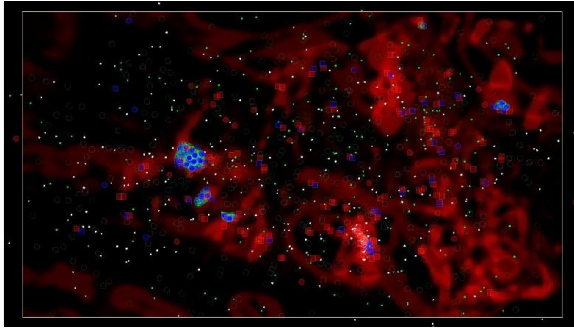


Рисунок 2. Кластеризация подвижных клеточных автоматов.

Далее форма архитектурной оболочки очистных сооружений оптимизирована с учётом затенения от существующей застройки. На рисунке 3 представлен вариант расчёта инсоляции для фотобиологической архитектурной оболочки после оптимизации. В качестве целевой функции в генетическом алгоритме был использован удельный прирост биомассы в течение суток, учитывающий изменение суточной и годовой инсоляции. Скорость роста микроводорослей в данном расчёте зависела от внутренних концентраций биогенных элементов (модель Друпа), освещенности и температуры. Следует отметить, что чрезмерный перегрев фотобиореакторов также негативно сказывается на скорости роста, как и не достаток света.

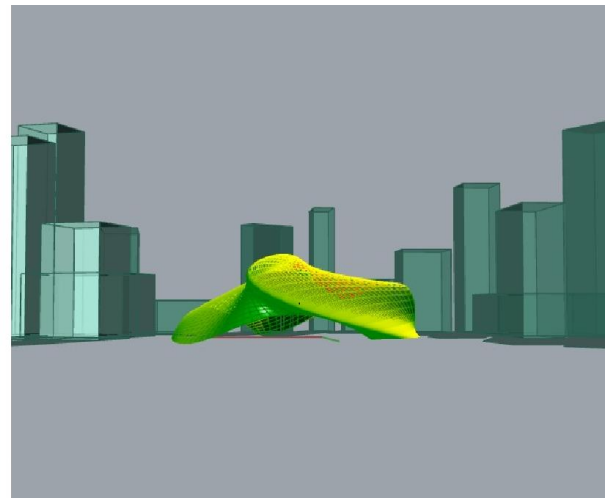
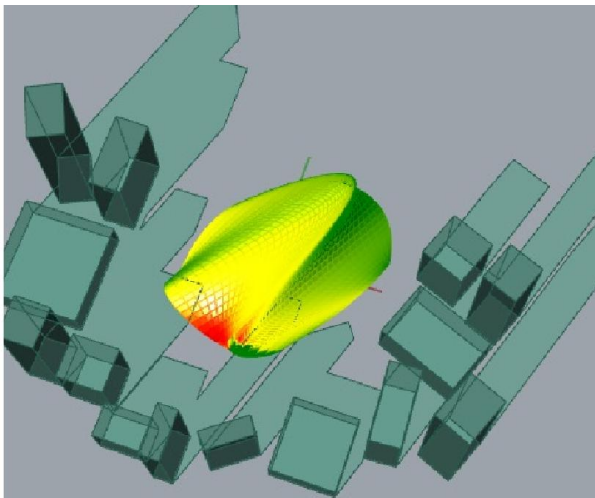


Рисунок 3. Инсоляция архитектурной оболочки после оптимизации.

Архитектурная оболочка фотобиологических очистных сооружений, полученная в результате параметрической оптимизации, представляет собой не просто наиболее эффективный компонент городской инфраструктуры, но и современный арт-объект, привлекающий внимание к вопросам защиты окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. United Nations World Water Assessment Programme (WWAP) Reports. UN-Documentation Centre on Water and Sanitation.

2. Buzalo N., Ermachenko P., Bock T., Bulgakov A., Chistyakov A., Sukhinov A., Zhmenya E., and Zakharchenko N. Mathematical Modeling of Microalgae-mineralization-human Structure within the Environment Regeneration System for the Biosphere Compatible City. *Procedia Engineering*, 85: 84–93, 2014. 1(2):123–345, 2014.

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814018980

3. The Building Exhibition /Smart Material Houses / BIQ. On-line: <http://www.ibahamburg.de/en/themes-projects/the-buildingexhibition-within-the-building-exhibition/smartmaterial-houses/biq/projekt/biq.html>, Accessed: 25/01/2015.

4. Ermachenko P., Bloshinskaya A., Hasyanova E., Timashev R., Gibilov A. Reflexive networks. Workshop Branchpoints. Open / Closed Cities 2013. Strelka Institute for Media, Architecture and Design. August 2 – 10 2013, Moscow, p. 7-8.

http://issuu.com/katyalarina_ulab_spb/docs/open_closed_city_workshp_strelka_20

БЕЗОПАСНОСТЬ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ, НА ОАО «УДОМЕЛЬСКИЙ ХЛЕБОКОМБИНАТ» Г.УДОМЛЯ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

А.М. Кокорина, М.Н.Брославская

ФГБОУ ВО "Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г.Разумовского (Первого казачьего университета)" в г.Твери, Россия

kokorina_anna@mail.ru

Актуальность выбранной мною темы обусловлена, прежде всего, высокой социальной значимостью пищевой индустрии в современной жизни.

В Удомельском районе на настоящий момент крупнейшим производителем и поставщиком хлеба и хлебобулочных изделий является ОАО «Удомельский хлебокомбинат». Проведя его обследование можно оценить в целом степень санитарно-гигиенического благополучия при производстве хлеба и хлебобулочных изделий

Основными видами деятельности являются:

- торгово-закупочные операции, розничная и оптовая торговля, предоставление транспортно- экспедиционных услуг;
- выполнение ремонтных, строительных, реставрационных и других строительно - монтажных видов работ;

- оказание различного рода коммерческих и посреднических услуг физическим и юридическим лицам;
- сдача в аренду имущества.

Санитарно-гигиеническое обследование ОАО «Удомельский хлебокомбинат».

1. Хлебокомбинат имеет санитарно-защитную зону (далее СЗЗ), более 100м, имеется проект организации СЗЗ, жилых и других зданий и сооружений, расположение которых не допускается на территории СЗЗ, нет; озеленение территории СЗЗ составляет 45%.

2. Территория предприятия ограждена, имеет 2 въезда, отдельно для производственной и хозяйственной зон. Плотность застройки участка не превышает 35%. Территория свободна от застройки и проездов, полностью заасфальтирована. По периметру участок не озеленён кустарником и деревьями.

3. На территории установлены осветительные приборы наружного освещения (светильники, прожекторы) на специально предназначенных для наружного освещения опорах. Все осветительные приборы работают. Освещение соответствует СНиП «Естественное и искусственное освещение».

4. Для сбора и временного хранения твёрдых и пищевых отходов на территории установлены отдельные металлические контейнеры, на расстоянии от хозяйственных и производственных помещений более 25 м. Мусоросборники расположены на заасфальтированных площадках, превышающих основания контейнеров на 1м во все стороны. Все мусоросборники промаркированы, покрашены. Вывоз мусора с территории предприятия осуществляется ежедневно на специальном транспорте.

Охрана труда на предприятии.

Обеспечение и соблюдение правил и норм безопасного ведения работ является основой производственной деятельности ОАО «Удомельский хлебокомбинат». Ответственность за организацию, обеспечение и соблюдение законодательств по охране труда, обеспечение безопасных условий труда на заводе возлагается на генерального директора и главного инженера. Функции службы техники безопасности на предприятии возлагается на инженера по технике безопасности.

В соответствии с Основами Законодательства РФ на ОАО «Удомельский хлебокомбинат» созданы здоровые и безопасные условия труда. Администрация внедряет современные средства техники безопасности и обеспечивает санитарно-гигиенические условия труда. Начало рабочего дня с 8.00 до 20.00 ч. Перерыв 1 час.

Техника безопасности

Техника безопасности – система организационных технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов, которые приводят к травме.

Общие требования безопасности

1. Работник должен выполнять работу только ту, которая поручена администрацией

2. К самостоятельной работе на оборудовании допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское обследование, прошедшие вводный инструктаж, первичный на рабочем месте и обучение безопасным приемам и методам труда в течении 2-3 смен

Один раз в три месяца проводится повторный инструктаж

3. Лица, не прошедшие проверку знаний к самостоятельной работе не допускаются. Проверка знаний проводится в комиссии раз в год.

4. При нарушении работником требований изложенных в инструкциях по охране труда, проводится внеплановый инструктаж

5. Все работающие обязаны соблюдать трудовую дисциплину, правила внутреннего трудового распорядка.

6. Курить разрешается, только в отведенных специально местах.

7. Не разрешается употреблять спиртные напитки, наркотики.

8. Не допускается пребывание на территории завода лиц находящихся в нездоровом (физически или психически) состоянии или под воздействием состояния или под влиянием наркотических средств, что может явиться причиной опасности для жизни этого лица или других работников.

9. Для предотвращения взрыва или пожара: не применять открытый огонь в пожарных помещениях.

10. Не допускать скопления пыли на оборудовании и на рабочих местах.

11. Обеспечивать свободный доступ к средствам пожаротушения.

12. При неисправности оборудования, прекратить работу и немедленно сообщить о случившемся администрации.

13. При несчастном случае следует: выключить оборудование, оказать помощь пострадавшему, сообщить о случившемся администрации. Сохранить обстановку происшествия если это не создает опасность для окружающих.

14. При обнаружении пожара или загорания немедленно сообщить об этом администрации завода, приступить к тушению очага пожара имеющимися средствами пожаротушения (огнетушитель, песок) принять меры для вызова к месту пожара должностного лица.

Упаковка хлеба

Очень часто у производителей хлеба и хлебобулочных изделий возникает резонный вопрос – как упаковать свой товар, чтобы сохранить его потребительские свойства как можно дольше и при этом выделить его среди множества других подобных продуктов на полках магазинов? Давно не секрет — качественная и при этом привлекательная [упаковка продуктов](#) питания является одним из решающих факторов спроса на данную продукцию. Хлеб относится к числу продуктов ежедневного потребления, и повысить интерес к нему каким-либо другим способом достаточно сложно — в большинстве случаев покупатель делает выбор непосредственно в магазине.

Заключение

Производитель хлеба на сегодняшний день в рамках острой конкуренции выполняет все требования по показателям безопасности, которые регламентируют данные нормативные документы.

В рамках выпускной квалификационной работы проводятся исследования по органолептическим, физико-химическим и по показателям безопасности в процессе производства хранения реализации хлебобулочной продукции ОАО «Удомельский хлебокомбинат». Работа не завершена результаты будут определены по завершению товароведной экспертизы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Делопроизводство, 2009 г // Юрий Дёмин
2. Комментарий к Трудовому кодексу Российской Федерации. Издание шестое, переработанное и дополненное. / Под ред. Гусова. К. Н. – М.: ПБОЮЛ Гриженко Е. М., 2007.
3. Куренной А. М. Правовое регулирование охраны труда. // Практический журнал для руководителей и менеджеров. – 2001. – № 7.
4. Соловьев А. П. Система управления охраной труда в Российской Федерации. // Справочник специалиста по охране труда. – М.: ЗАО МЦФЭР, 2001.
5. Соловьев А. П. Охрана труда и здоровья работников в новом веке. // Охрана труда и социальное страхование. – 2004. – № 9.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

1.	Г.Г. Малинецкий.....	6
2.	Г.Ю. Ризниченко	34
3.	В.Е. Лепский.....	34
4.	И.Г. Поспелов.....	39
5.	В.Б. Кешелава.....	40
6.	М.М. Шварцман.....	40
7.	М.Е. Мазуров.....	61
8.	А.Н. Кудинов, В.П. Цветков., А.П. Иванов	65
9.	В.Г. Буданов.....	73
10.	А.Б. Медвинский, Н.П. Радчикова.....	73
11.	С.В. Сидоров	75
12.	В.Э. Войцехович.....	79

СЕКЦИЯ 1.

СИНЕРГЕТИКА В МАТЕМАТИКЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

1.	Ю.М. Апонин, Е.А. Апонина.....	83
2.	Н.Н. Бутенина.....	87
3.	А.А. Гладких, Г.Г. Малинецкий.....	90
4.	Д.А. Зенюк.....	92
5.	А.В. Коганов.....	96
6.	А.А. Кочкаров, Л.И. Сенникова.....	100
7.	Р.А. Кочкаров.....	104
8.	С.Р. Усманов.....	108
9.	Е.А. Салогуб, Г.Н. Столярова, Ю.В. Чемарина.....	112
10.	С.Е. Курушина, Е.А. Шаповалова.....	116
11.	Д.С. Фаллер.....	120

СЕКЦИЯ 2.

СИНЕРГЕТИКА В ФИЗИКЕ

1.	О.Б. Дементьева.....	122
2.	В.В. Журавлев, С.А. Михеев, В.П. Цветков.....	127
3.	Д.И. Завершинский, Н.Е. Молевич.....	130
4.	Т. В. Золотова.....	131
5.	А.В. Косарев.....	135

6.	В.С. Метрикин	138
7.	С.А. Михеев, В.П. Цветков	142
8.	Т.А. Ракчеева	145
9.	В.П. Редчиц	149
10.	В.П. Редчиц	152
11.	С.П. Русин	155
12.	А.Р. Шакиров, Д. Анчиков, А.А. Кренц	160

СЕКЦИЯ 3.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКАХ О ЖИВОМ

1	А.О. Агибалов	164
2	В.А. Брынцев	167
3	Л.Ю. Васильева, Л.А. Уварова, Е.Ю. Романова	172
4	Ю.И. Воласевич, Руководитель: В.А. Сорокина	176
5	В.А. Волков	179
6	О.А. Жарковская, руководитель: В.А. Сорокина	184
7	А.В. Воротынцев	188
8	П.А. Ермаченко	192
9	А.М. Кокорина, М.Н.Брославская	195