МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

И.В. Измайлов, Б.Н. Пойзнер, В.О. Раводин

СИНЕРГИЯ, КОНКУРЕНЦИЯ, ХАОС В МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Издательство Томского университета
2002

УДК 316.31.4 + 519.7
ББК 60.56 +22.18
И 37

Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О.
И 37 Синергия, конкуренция, хаос в модели взаимодействия двух научных направлений. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 100 с.

ISBN 5-7511-1578-3

В контексте социальной синергетики и социальной кинетики исследуется модель взаимодействия двух научных направлений с квадратичным ограничением роста творческой продукции. Модель аналогична предложенной Е.С. Мчедловой и В.В. Качаком (1998 г.) и учитывает инерционность восприятия сообществом учёных «чужих» и «своих» научных достижений.

Для выяснения совместного влияния начальных условий и запаздывания во взаимодействии направлений на динамику их продуктивности предложено дополнить построение фазовых портретов и временны**х** реализаций построением инициально-финальных отображений. Показано, что запаздывание способно усложнять процесс взаимодействия научных сообществ: их продуктивность может развиваться, угасать, периодически колебаться, изменяться в режиме динамического хаоса.

Издание адресовано аспирантам, преподавателям вузов, исследователям, изучающим информационные взаимодействия в сообществах и занимающимся построением математических моделей социокультурных, экономических, политических, социально-психологических процессов.

УДК 316.31.4 + 519.7
ББК 60.56 +22.18

Рецензент – кандидат физико-математических наук
А.Л. Магазинников

Работа выполнена при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований,
проект № 00-06-80195

ISBN 5-7511-1578-3 © И.В. Измайлов, Б.Н. Пойзнер, В.О. Раводин, 2002

RUSSIAN FEDERATION EDUCATION MINISTRY
TOMSK STATE UNIVERSITY

I.V. Izmailov, B.N. Poizner, and V.O. Ravodin

SYNERGIA, COMPETITION, CHAOS IN MODEL OF TWO SCIENTIFIC FIELDS INTERACTION

Tomsk State University Publ.
2002

UDC 316.31.4 + 519.7
BBC 60.56 +22.18
I 37

Igor V. Izmailov, Boris N. Poizner, Vladimir O. Ravodin.
I 37 Synergia, competition, chaos in model of two scientific fields interaction. – Tomsk: Tomsk State University Publ., 2002. – 100 p.

ISBN 5-7511-1578-3

Model of two scientific fields interaction with quadrate restriction of scientific results growth is studied in context of social synergetics and social kinetics. The model is analogous of the one suggested by E.S. Mchedlova, V.V. Kachak (1998) and takes in account inertia (delay) with which scientific fellowship perceives «strange» and «own» scientific achievements.

It is offered to supplement a construction of phase portraits and temporal realizations by a construction of initial-final maps (term of the authors) for clearing up of joint effect of initial conditions, delay and types of two scientific fields interaction on dynamics of its efficiency. It is shown that the delay is capable to complicate process of scientific fields interaction: its efficiency develops or dies down or oscillates or varies in regime of dynamical chaos.

The book is addressed to the post-graduate students, teachers of higher educational institutions, investigators studying information interactions in societies and constructing mathematical models of social-cultural, economic, politic, social-psychological processes.

UDC 316.31.4 + 519.7
BBC 60.56 +22.18

Reviewer – A.L. Magazinnikov, Candidate of physics and mathematics

The work is promoted by financial support of Russia Foundation of Basic Researchers, project № 00-06-80195

ISBN 5-7511-1578-3 © I.V. Izmailov, B.N. Poizner, V.O. Ravodin, 2002

Пятидесятилетию радиофизического факультета ТГУ
посвящают авторы свой труд

ПРЕДИСЛОВИЕ

> ...Эти Люди предполагали, что, поскольку самый маленький Круг содержит столько же Градусов, сколько и самый большой, постольку Устройство мира и Управление им требует не больше способностей, чем Обращение с Глобусом и Поворачивание его.
>
> *Дж. Свифт*

Бинарные системы (от лат. *bini* – по два), т.е. состоящие из двух частей, или подсистем, широко представлены в природе, технике, обществе. Так, бинарными системами являются: человеческий мозг, состоящий из двойной комбинации левого и правого полушарий с корой и подкоркой; человеческая популяция, образованная особями мужского и женского пола; существенное большинство семиотических систем в человеческих культурах, основу которых составляет бинарная оппозиция начал: верха и низа, правого и левого, живого и мертвого, порядка и хаоса, *soft & hard*, «ян» и «инь» *etc*. [1].

В этом контексте нельзя не вспомнить, например, выводы отечественных историков и философов о бинарности русской культуры и национального характера, которые находят себе подтверждение в десятках исторических сюжетов. Специфику русской культуры удачно передаёт предложенный Г.П. Федотовым геометрический образ эллипса. Между его противоположно заряженными центрами развёртывается постоянное соперничество-сотрудничество, сочетающее притяжение и отталкивание смысловых полюсов. Тем самым противоречивость культуры, её внутренняя поляризация оказывается устойчивой. Двоеверие, двоемыслие, двоевластие, раскол – спутники и выразители двойственности отечественной истории. Это, с одной стороны, стимулирует развитие культуры, а с другой – периодически обостряет конфликтность, присущую русской цивилизации, обусловливает прерывистость истории, т.е. частую и крутую ломку социокультурных парадигм (см. библиографию в [2, 3]).

Ещё одна грань историко-культурной бинарности России – сложные, а порой конфликтные отношения нашего общественного сознания с духовным наследием Запада и Востока. Иными словами,

отечественная культура, будучи состоящей из двух напряжённо взаимосвязанных частей, оказывается общей подсистемой двух бинарных (территориально совпадающих) систем: Россия – Европа и Россия – Азия. Осмысление этого культурно-психологического и геокультурного обстоятельства, начатое ещё Чаадаевым, периодически рождало интеллектуальные движения: славянофилов, западников, областников, интернациональных коммунистов, евразийцев. Нетривиальной задачей здесь видится определение характера связей между подсистемами, их функциональные отношения, уровень их саморегуляции. Скажем, культурфилософ Б. Гройс, решая её, предложил в конце 1980-х годов формулу «Россия – подсознание Запада» [4], а историк отечественной культуры И.В. Кондаков использовал пушкинский образ окна в Европу, по-иному обыгранный Б. Пастернаком и О. Мандельштамом [3].

Фактором, отягощающим русское культурное самосознание, оказывается нигилистическая традиция отрицания культуры как самодостаточной ценности. «Именно такого рода нигилизм в высшей степени характерен для русской культуры, или, если угодно, для русского менталитета» [5, с. 261]. Нигилизм в России, входя в состав сложных социокультурных амальгам, проявлялся и проявляется в многообразных формах (см., например, [6-28]). По нашему мнению, нигилистическое отрицание культуры («чужой» и/или «своей» – согласно архетипальной парной оппозиции) весьма существенно в бинарно-системном плане. Отрицание это нередко служит механизмом запаздывания в каналах межкультурных и внутрикультурных связей. То есть нигилизм оказывается причиной инерционности восприятия и, следовательно, усвоения «чужих» и/или «своих» культурных образцов, содержание которых аккумулирует достижения, продуктивные новации, непривычные способы решения проблем и т.п.

Напомним, что социальная культурология называет культурным образцом (*cultural pattern*) объект любой природы в сфере действия культуры, с которым люди координируют своё восприятие, мышление, воображение, поведение: шаблоны, способы, ограничения, символы, ценности [29, с. 36]. Воспроизведение культурных образцов естественно трактовать как свидетельство присутствия смысла в самих образцах и в их повторении, как воспроизводство смыслов. В таких актах люди делают выбор из стандартных вариантов поведения и мышления. И это помогает выйти из стандартной проблемной ситуации. Перефразируя закон «необходимого разнообразия» У.Р. Эшби, можно сказать, что устойчивость социокультурной системы, испытывающей возмущающее воздействие, определяется, в

частности, богатством фонда разнообразных культурных образцов (в том числе заимствованных), которым располагает система.

Естественно, здесь напрашивается вопрос о возможности моделировать бинарность русской культуры и вызываемую ею хаотичность, а также «катастрофизм» исторического развития. Не впадая в безграничный физикализм, можно утверждать правомерность и плодотворность таких попыток. Но – при условии, что приняты во внимание системные закономерности, в частности принцип сопряжённых подсистем, выдвинутый В.А. Геодакяном, теория метасистемных переходов, разработанная В.Ф. Турчиным [30, с. 59-72; 31, с. 146-150], физико-информационная концепция эволюции В. Эбелинга, А. Энгеля, Р. Файстеля [32], упоминавшийся закон «необходимого разнообразия» У.Р. Эшби, инварианты социальных изобретений [33, с. 11-14].

Принцип Геодакяна относится к адаптивным системам, эволюционирующим в изменчивой среде: человеческая популяция, головной мозг человека, структуры различных технических, социальных, экологических систем. Согласно принципу бинарность системы обеспечивает специализацию по двум главным, альтернативным аспектам эволюции: *сохранения* и *изменения*, – что оказывается выгодной формой информационного контакта системы «с самой собой» и с окружающей средой [34, с. 361]. Одна из подсистем, консервативная, более универсальная и инерционная, максимально адаптированная к среде, более совершенная и устойчивая, обеспечивает главным образом внутренние связи в системе, а тем самым – хранение и передачу генетической информации (из прошлого). Вторая подсистема, оперативно-поисковая, более специализированная и быстро реагирующая, более прогрессивная и «хрупкая», обеспечивает главным образом связи между системой и окружающей средой, т.е. формирование потока экологической информации (от среды). Эти подсистемы являются именно сопряжёнными, т.е. взаимосвязанными и дополняющими друг друга. Бинарное строение повышает устойчивость эволюции адаптивной системы по отношению к возмущениям и разрушительным воздействиям со стороны среды [34, с. 367].

Почему же бинарность русской культуры не гарантирует устойчивости нашей истории и преемственности культуры? Вообще говоря, наступление периодов хаотического развития России не противоречит принципу сопряжённых подсистем. Сошлёмся хотя бы на режим функционирования системы, когда нарушена так называемая реципрокная саморегуляция. Реципрокный (от лат. *reciproco* – двигать туда и сюда), или перекрёстный, механизм обеспечивает согласованную подачу нервных импульсов во

взаимосвязанные группы мышц, участвующих в осуществлении сложных движений (бег, ходьба и др.). При этом организованное сокращение одной группы мышц сопровождается расслаблением (из-за отключения) «сопряжённых» мышц, действующих в противоположном направлении. В результате конечность совершает управляемое движение. Но в силу болезни или возрастных изменений механизм реципрокности выпадает. Вследствие этого происходит включение обеих групп мышц, что вызывает борьбу между ними. Борьба эта проявляется в виде колебательных (не контролируемых пациентом) бросков конечностей, или тремора [35, с. 91-93]. Разумеется, социодинамика культуры несводима к биомеханике. Но последняя способна иллюстрировать разнообразие возможного поведения двухчастной системы.

Насколько известно, бинарность русской культуры не рассматривалась в свете принципа сопряжённых подсистем, теории метасистемных переходов и физико-информационной концепции эволюции. Первым шагом здесь могло бы стать сравнение свойств двух «полюсов» русской культуры с характеристиками консервативной и оперативно-поисковой подсистем, следующим шагом – выяснение нереализовавшихся предпосылок тройственности (тернарности, или тринитарности) русской культуры и ментальности. Тернарность, как показал опыт, делает социальную эволюцию более устойчивой и придаёт разнообразие развитию мышления [36-38, с. 29-30].

Очевидно, что природа (в первую очередь живая, но не только [39]) и развивающаяся в её лоне социокультурная сфера составляют суперсложную нелинейную бинарную систему, в которой природа обладает характеристиками консервативной подсистемы, а социокультурная сфера – оперативно-поисковой. Рост масштабов экономической активности человека привёл к тому, что преимущественно однонаправленное влияние «природной» подсистемы на «культурную» сменяется ныне их взаимодействием. А это принципиально меняет тип динамики.

Таким образом, с социокультурными бинарными системами ассоциируется широкое поле разнообразных проблем. По своему содержанию они являются полидисциплинарными и нередко – плохо формализуемыми. Поэтому для их выявления, описания и разрешения необходима интеграция знания. Она, в частности, предполагает участие исследователей, использующих методологию синергетики (теории самоорганизации) [39-41], социальной информатики [42] и социальной кинетики [43].

Но прежде чем браться за разработку моделей поведения систем, подобных тем, о которых шла речь выше, необходимо

обратиться к более скромным задачам. В том числе – к исследованию процессов, которые возможны в весьма упрощённой схеме взаимодействия двух культурных традиций: научных школ, направлений в искусстве, религиозных течений и пр., – асимметрично или симметрично обменивающихся созданными культурными образцами, скажем, идеями. Причём восприятие и усвоение «чужой», а также «своей» интеллектуальной продукции происходит с запаздыванием.

Наша работа как раз и посвящена описанию результатов моделирования динамики продуктивности двух – вполне условных – научных направлений *X* и *Y*. Рассматриваются пять различных типов взаимодействия и самовоздействия подсистем *X* и *Y*. Учитывается ограниченность роста их продукции, а также инерционность, в силу которой на текущее состояние каждой подсистемы влияют научные достижения, полученные в прошлом.

Авторы не ставили себе целью изучить как можно больше вариантов отношений между подсистемами *X* и *Y*, хотя эти сюжеты интересны и поучительны. Причины этого, а также спектр возможных моделей данного класса раскрываются ниже.

Временами авторы чувствовали, что моделируемые ими ситуации синергии (а в чём-то и творческого соревнования) спонтанно воплощаются в реальных отношениях с научной группой Елены Сумбатовны Мчедловой (Саратов) и Валерия Владимировича Качака (Москва). Причём фактор запаздывания в восприятии их достижений проявлялся в полном соответствии с нашими общими представлениями. Пользуясь случаем, авторы выражают свою глубокую благодарность коллегам. Более того, авторы признаются, что привлёкшая их внимание изящная форма математической модели Е.С. Мчедловой и В.В. Качака побудила предпринять исследование, результаты которого составили эту книгу.

Апрель 2002 г.

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ БИНАРНЫХ СИСТЕМ

Без языка математики б**о**льшая часть
глубоких взаимосвязей между вещами
навсегда осталась бы неизвестной.
А. Пуанкаре

1.1. Нелинейность социокультурных систем

Как известно, моделирование – универсальный исследовательский метод в науке [36, 44-50]. В последние два десятилетия в связи с прогрессом электронно-вычислительных устройств математическое моделирование, особенно такая его форма, как вычислительный (компьютерный) эксперимент [48-50], оказалось стимулом развития естественных и социогуманитарных наук. В 1980-е годы возникли ответвления традиционных наук, например, вычислительная физика, вычислительная химия, вычислительная биология, квантитативная (т.е. количественная) социология и др. Их содержание составляет построение и исследование свойств соответствующих моделей.

С совершенствованием вычислительных устройств связано также формирование на рубеже 1970-1980-х годов нового полидисциплинарного направления, которое носит имя синергетики (нелинейной динамики, или *Nonlinear Science* [51, 52]). Синергетика (от др.-греч. συνεργια – синергия, сотрудничество, совместное действие) развивается одновременно в трёх аспектах: как физико-математическая дисциплина; как направление междисциплинарных исследований процессов самоорганизации в природных, социальных, когнитивных, технических системах; как концептуальная основа становящейся картины становящегося мира [52-63]. Согласно мнению таких учёных и методологов современной науки, как Г. Хакен [55], И.Р. Пригожин [56, 57], В. Эбелинг [32], В.И. Аршинов [54], Е.Н. Князева и С.П. Курдюмов [41], Д.И. Трубецков [58], Ю.И. Неймарк и П.С. Ланда [59], Д.С. Чернавский [60], В.Г. Буданов [61], Г.Г. Малинецкий [62], И.В. Мелик-Гайказян [63], В.С. Анищенко [64], И.А. Евин [65], И.П. Ильин [66], лидером наук на рубеже XX-XXI столетий является синергетика.

В качестве физико-математической дисциплины синергетика изучает закономерности процессов, протекающих в нелинейных неравновесных физических, а также технических, социальных и

других динамических системах, т.е. процессы самоорганизации и хаотизации [32, 58, 59, 62-64, 67, 68].

Математическими моделями синергетических процессов в «точечном» приближении (т.е. в пренебрежении пространственным аспектом функционирования) служат системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (см., например, [64, 69]):

$$dx_i(t) / dt = F(x_1(t), \ldots, x_m(t), t). \quad (1)$$

Синергетические процессы в пространственно распределённых открытых системах описываются уравнениями в частных производных (см., например, [70]):

$$\partial x(\boldsymbol{r}, t) / \partial t = F(x(\boldsymbol{r}, t), t) + \Delta x(\boldsymbol{r}, t). \quad (2)$$

Важным случаем исследуемых в нелинейной динамике объектов являются эредитарные (от лат. *hereditarius* – наследственный, по наследству перешедший < др.-греч. χηρωστης – родственники, наследующие имущество), т.е. обладающие запаздыванием во времени, или «наследственностью», системы [71]. Процессы в них моделируются обыкновенными дифференциальными уравнениями относительно функций со смещённым аргументом t-τ_j (см., например, [59, 72, 73]):

$$dx_i(t) / dt = F(x_1(t-\tau_1), \ldots, x_m(t-\tau_m), x_1(t), \ldots, x_m(t), t). \quad (3)$$

Их аналогом, в некотором смысле, служат уравнения в частных производных относительно пространственно-временных функций с преобразованным пространственным аргументом **r'** (см., например, [70]):

$$\partial x(\boldsymbol{r}, t) / \partial t = F(x(\boldsymbol{r}, t), x(\boldsymbol{r'}, t), t) + \Delta x(\boldsymbol{r}, t). \quad (4)$$

Ещё более общим случаем оказываются модели систем, процессы в которых испытывают как пространственную трансформацию, так и запаздывание во времени (см., например, [74]):

$$\partial x(\boldsymbol{r}, t) / \partial t = F(x(\boldsymbol{r}, t), x(\boldsymbol{r'}, t-\tau(\boldsymbol{r'}, t)), t) + \Delta x(\boldsymbol{r}, t). \quad (5)$$

Особым классом нелинейных динамических систем, изучаемых в синергетике, являются бинарные системы. Наличие двух относительно самостоятельных подсистем в составе бинарной системы делает возможным различные режимы их взаимодействия: равновесие, конкуренцию, кооперацию и др. Например, в биологии с конца 1920-х годов исследуется математическая модель системы

«хищник – жертва» В. Вольтерры [75]. В экологии и биологии популяций широко используются её модификации, скажем, модели систем «паразит – хозяин» [76] и «ресурс – потребитель» [77, 78].

С 1960-х годов модель Вольтерры в той или иной форме привлекалась и для описания динамики научной деятельности. В большинстве случаев мерой продуктивности деятельности учёных считается число созданных ими текстов (или объём текстов) [79]. Например, в 1984 г. А.И. Яблонский [80] использовал модифицированную модель Вольтерры для описания взаимодействия информационного потока и численности научного сообщества (поток – «жертва», учёный – «хищник»). Многие аспекты динамики тех или иных характеристик научной деятельности обсуждались также в монографиях по наукометрии В.В. Налимова, З.М. Мульченко [79] и С.Д. Хайтуна [81], [82]. Бифуркационное поведение когнитивной системы на примерах научных революций в физике раскрывается в монографии И.В. Мелик-Гайказян и др. [47, с. 135-171].

Но численное исследование поведения моделей динамики научной продуктивности развёртывается лишь в последние годы. В частности, обращают на себя внимание статьи 1997 и 1998 гг. В.В. Качака и Е.С. Мчедловой [83-85]. В них на примере изучения взаимодействия пары научных направлений (или научных школ) построена классификация отношений между двумя подсистемами одной замкнутой системы. В их модели 1998 г. [84] предложено учитывать ограничение экспоненциального роста производительности научных направлений, выраженной, например, в количестве статей, опубликованных за единицу времени, в форме квадратичной нелинейности. Позднее самоограничительные тенденции в науке стали предметом философского анализа в статье [86].

Полученная в итоге система дифференциальных уравнений – в зависимости от параметров – может квалифицироваться (согласно традиции в литературе) как модель взаимодействия с «горизонтальной» структурой (А.И. Яблонский) и с «вертикальной» (модель Вольтерры «хищник – жертва»). Поэтому эти уравнения способны описывать взаимодействия равноправных подсистем, находящихся на общей иерархической ступени и способных не только конкурировать, но и кооперироваться [83-84].

1.2. Эредитарность социокультурных систем

Особый интерес для социальной синергетики и социальной кинетики [42, 43, 46], естественно, представляют бинарные системы,

обладающие как нелинейностью, так и эредитарностью. Именно таковы процессы социального взаимодействия, например образования, культуронаследования «по вертикали» и «по горизонтали», экономического и символического обмена. В качестве одной из первых попыток построить социально-кинетическую модель взаимодействия двух культурных традиций с учётом задержки в восприятии созданных культурных образцов можно указать на нашу статью 1988 г. [87]. Эредитарность взаимодействия подсистем, учитываемая в этой модели, обсуждается в социосинергетическом контексте в работе 1997 г. [88, с. 89-90].

Значимость задержки в обмене творческими результатами между двумя течениями мысли может, например, иллюстрировать драматическая история восприятия и интерпретации нашей литературно-философской традицией сочинения О. Шпенглера «*Untergang des Abendlandes*» (1918), в частности, выразившего вековой интерес немецких гуманитариев к русской классической литературе, доказывающей, по их мнению, духовное родство двух народов. История изложена в содержательной статье Г.А. Тиме [89]. Лишь в 1922 г. на русском языке были опубликованы фрагменты труда О. Шпенглера, две его брошюры на ту же тему, и только в 1923 г. – перевод первого тома под названием «Закат Европы» (хотя и неточным, но ставшим классическим). В том же 1922 г. вышел (огромным тиражом – 10000 экз.) сборник статей четырёх философов [90], знакомых с немецким оригиналом. Их статьи вызвали полемику. Она свидетельствовала об актуальности концепции Шпенглера для общественного самосознания, травмированного событиями 1917 г. и Гражданской войны, а потому стремившегося увидеть место России в глобальной социокультурной эволюции. К сожалению, многие авторы, писавшие в прессе на эту тему, судили о книге лишь по пересказам или фрагментам. Поэтому читающая публика не могла составить адекватное представление о методе, выводах и аргументах Шпенглера. Ещё большее запаздывание проявилось в получении О. Шпенглером отклика из России на его труд.

У этой бинарной системы существенны несколько особенностей, связанных с обилием парных оппозиций. Во-первых, О. Шпенглер, полагая своим наставником Гёте, сделал образ Фауста протагонистом книги «*Untergang des Abendlandes*». (Фаустовская тема и мифологема в литературе Германии XVI-XX вв. испытали сложную эволюцию [91].) И для русского культурного сознания с середины XIX столетия именно Фауст был символом и репрезентацией свободного человека западной цивилизации/культуры. Во-вторых, восприятие этого символа было

по-русски двойственным. Одна часть просвещённого сообщества объявляла себя гётеанцами, другая, напротив, видела в союзе Фауста с Мефистофелем манифестацию аморализма и обречённости европейской цивилизации. В-третьих, сам О. Шпенглер интересовался русской духовной культурой и для объяснения специфики её связи с Западом выдвинул концепцию исторического псевдоморфоза (см. философскую оценку её в статье Б.М. Парамонова [92]). Шпенглер уловил роковую черту – неразрывность/неслиянность двух начал: «святости» и большевизма. Носители их, хотя и с противоположных позиций, противопоставляли Россию Западу. Вследствие этого, как писал философ Б.П. Вышеславцев, миф о «закате Европы» выражал «центральную мысль и глубочайшее переживание русской философии» (цит. по [89, с. 153]). В-четвёртых, несмотря на то, что О. Шпенглер намекал на возможность появления из «хаоса перводушевности» новой формы культуры, названной им русско-сибирской, его книгу критиковали как русские религиозные мыслители, так и их оппоненты – идеологи большевизма. Вторые, как всегда, предпочли аргумент силы силе аргумента: арестовали первых и осенью 1922 г. выслали их на «философских пароходах» в Германию, на родину Шпенглера. Второй том его труда (1922 г.), где шла речь о России, был запрещён в СССР, и русский читатель смог ознакомиться с ним лишь в 1998 г.

В итоге столь длительного запаздывания русская шпенглериана исчерпывается немногочисленными статьями (см. библиографию в [89]). Можно думать, что возобновление в начале XXI столетия дискуссии о трактате Шпенглера в контексте понимания «колебательной» самооценки отечественной культуры («колебательной» в смысле Ю.М. Лотмана) не будет затруднено запаздыванием в связи между двумя сторонами.

Предпринятое нами в 1998 г. моделирование, учитывающее задержки восприятия «чужих» и «своих» научных достижений (даже в пренебрежении ограничением экспоненциального роста научной продукции), показало, что инерционность взаимодействия влечёт существенные изменения в характере эволюции научной продуктивности [93-95]. Этот общий вывод согласовался с данными вычислительных экспериментов Е.С. Мчедловой и В.В. Качака [96-98], что явилось для нас стимулирующим фактором. В дальнейшем результаты их работы [84] стали для нас основой типологии взаимодействия научных школ и верификационным сюжетом при интерпретации результатов моделирования [73, 99-102].

1.3. Требования к программным средствам

Как правило, необходимым условием исследования нелинейных математических моделей (в том числе процессов в бинарных системах) является представление результатов в следующих формах:

– временная реализация процессов, описываемых уравнениями (1)-(5);

– эволюция пространственных структур, описываемых уравнениями (2), (4), (5);

– фазовые портреты динамических систем (1)-(5);

– семейства бифуркационных диаграмм;

– инициально-финальные отображения, т.е. отображения финальных состояний эволюции динамической системы на плоскость начальных условий динамических переменных системы.

Таким образом, изучение нелинейных бинарных систем с позиций синергетики требует решения нелинейных дифференциальных уравнений, в том числе с отклоняющимися аргументами, и представления результатов в указанных формах. Для моделирования процессов в таких системах необходимо располагать соответствующими вычислительными средствами.

Специфика кратко описанных выше задач требует программных средств, существенно оптимизированных по скорости вычислений. В ряде случаев, например при моделировании системы с учётом запаздывания, требуется ещё и оптимизация использования оперативной памяти.

При решении указанных задач возможны две стратегии:

1) использование готовых пакетов программ;

2) разработка собственных пакетов программ, ориентированных на моделирование нелинейных бинарных систем с учётом их особенностей.

Первая стратегия в нашем случае неоправданна, так как универсальные программные пакеты изначально не оптимизированы применительно к конкретной ситуации/задаче, а их оптимизация может потребовать ощутимых затрат времени, но всё же не приведёт к желаемой эффективности.

Вторая стратегия значительно более гибкая. Разрабатываемая под конкретную задачу программа может создаваться только из готовых элементов и блоков (библиотек), либо «с нуля», либо как комбинация готовых и впервые создаваемых программных решений. В зависимости от соотношения ролей готовых и уникальных решений изменяется соотношение объёмов затраченного времени: на разработку программы $T_р$ и на неоднократные акты моделирования

T_m в будущем. Разумеется, не исключено, что зависимость T_m от T_p окажется кривой с насыщением, т.е. затраты времени на создание программы не должны быть чрезмерными. Например, нет смысла оптимизировать программу, если из-за этого длительность её автономной работы сократится от десятка секунд до долей секунды. Ведь оператор всё равно будет анализировать результат существенно дольше.

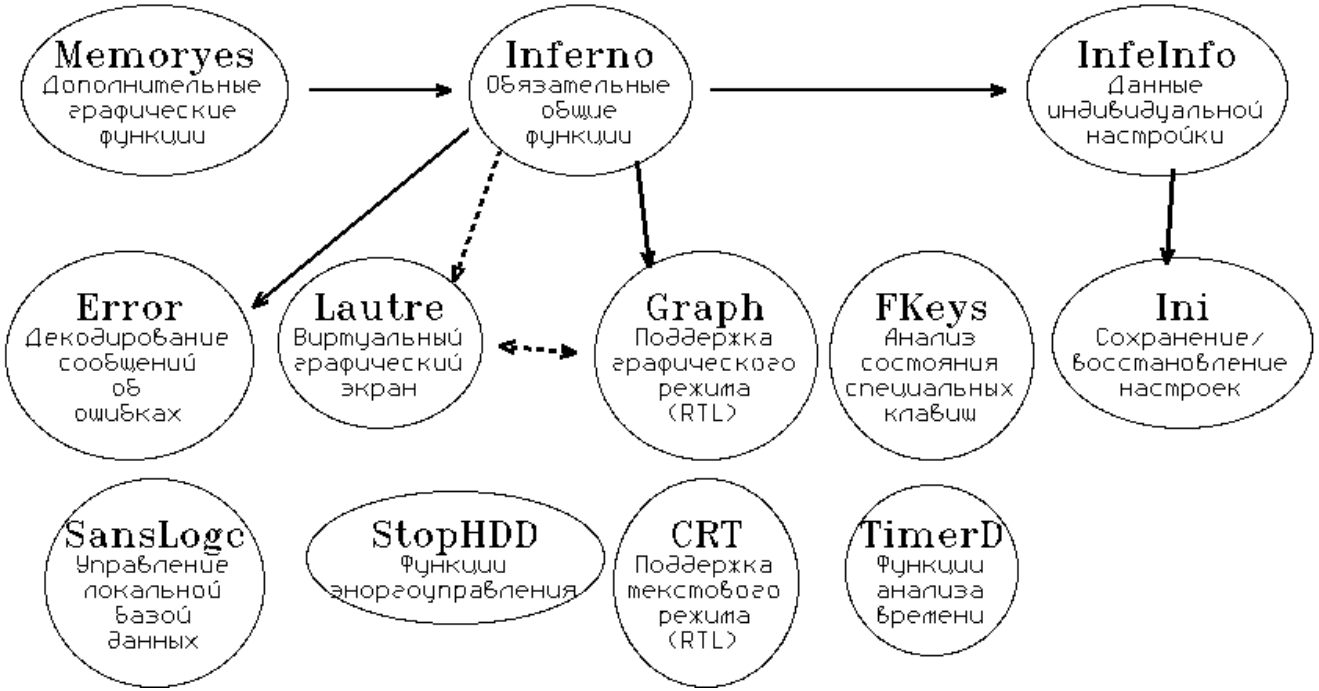


Рис. 1.1. Модули нижнего и ядерного уровней библиотеки *Inferno*

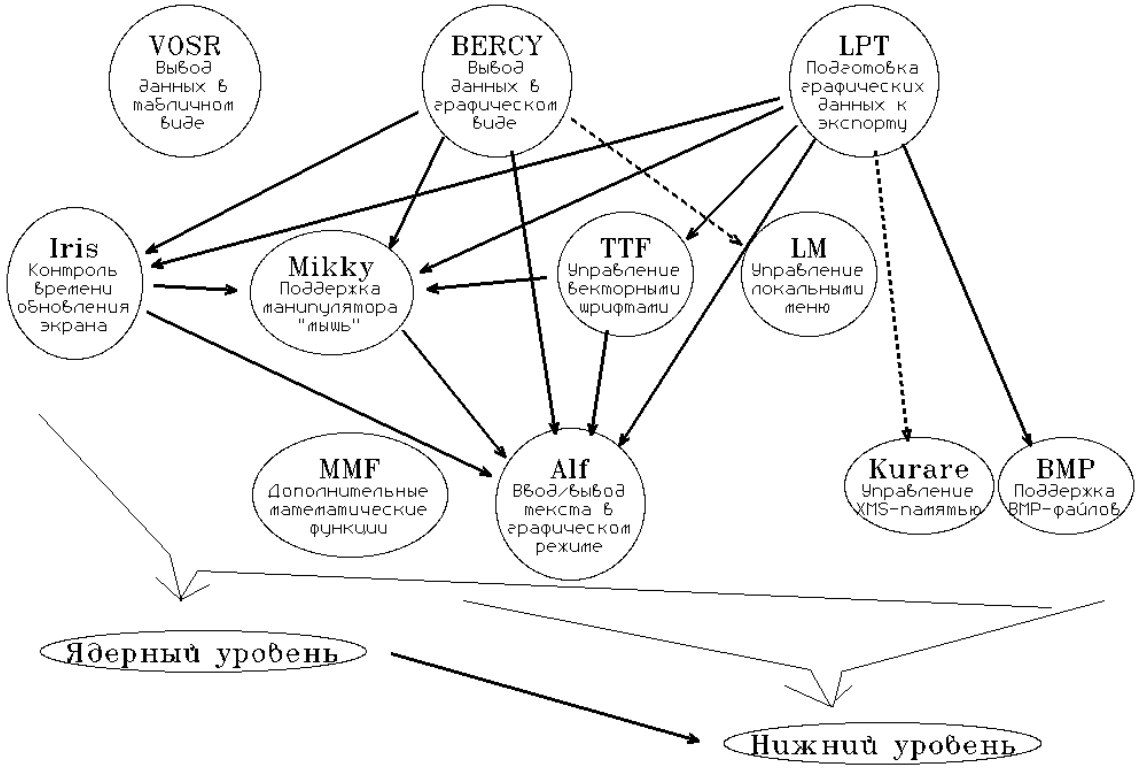


Рис. 1.2. Структура взаимодействия модулей промежуточного и верхнего уровней библиотеки *Inferno*

В то же время оптимизация программы, позволяющая ей провести несколько десятков экспериментов, выполняя каждый за несколько минут – вместо нескольких часов, стоит того, чтобы отвести на её разработку один – два дня.

Причём, планируя время на разработку и использование программы, следует предусмотреть расход времени на борьбу с ошибками как в своих, так и чужих программных решениях, а также с их последствиями.

Поэтому, как правило, реальные программы в том или ином объёме используют готовые библиотеки. Их можно условно разделить на сервисные (обслуживающие вычислительный процесс, например выполняющие операции ввода – вывода данных), и библиотеки вычислительных алгоритмов (занятые собственно решением уравнения).

В практике последних 12-15 лет используются различные библиотеки вычислительных алгоритмов, преимущественно для языка *Fortran*. Однако авторам неизвестны разработки в области сервисных библиотек, отличающихся способностью адаптироваться к задаче, функциональной широтой, развитостью пользовательского интерфейса и пр. Особенно библиотек, ориентированных на работу в однозадачной среде, в которой ресурсы вычислительной системы монополизируются для решения вычислительной задачи. Одним из примеров сервисной библиотеки служит известная библиотека *Turbo Vision* фирмы *Borland International.* К сожалению, она не ориентирована на описанный выше класс задач, связанных с исследованием нелинейных бинарных систем. В частности, она лишена средств репрезентации данных в форме графиков.

По этой причине для численного исследования взаимодействия двух научных направлений *X*, *Y* использовалась библиотека программных модулей поддержки пользовательского интерфейса, ориентированного на моделирование процессов в нелинейных бинарных системах (библиотека *Inferno*), разработанная В.О. Раводиным [103]. Представление о структуре библиотеки *Inferno* дают рис. 1.1 и 1.2.

Верификация моделирующих программ, использованных в настоящем исследовании, основана главным образом на сравнении полученных результатов с данными, приведёнными в статьях В.В. Качака и Е.С. Мчедловой [83-84].

2. МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

При наблюдении мира
дело заключается в том, чтобы
спрашивать себя: есть ли это
часть целого или само целое.
Р. Штейнер

2.1. Особенности развития научного знания

Развитие научного знания происходит по законам эволюции самоорганизующихся информационных систем. Закономерности их динамики пока лучше всего исследованы на примерах продукционных и мутационных процессов в биологических и экологических системах (см., например, [30, 32, 47, с. 10-171; 77, 79-81, 88, 104-109]).

Производство нового знания в науке идёт неравномерным темпом, даже в пределах одного научно-технического направления. Примером может служить изучавшаяся нами динамика числа публикаций по физике и технике лазеров различных типов за 30 лет [110]. Наряду с регулярными здесь проявляются случайные социокультурные и субъективные факторы [82, 111] (в числе вторых – исследовательская удача [112, 113]). Среди первых важен коммуникативный фактор, т.е. скорость восприятия и усвоения инноваций сообществом учёных.

Например, в 1630-1660-е годы в конкурентной борьбе победило то направление математической мысли, которое развивало преимущественно рациональный, инструментальный подход в математике (а не мистический или догматический, как соперничающие с ним школы). Такой подход обладал наибольшим числом преимуществ именно с точки зрения коммуникации, т.е. распространения в сообществе учёных и шире. Ряд этих преимуществ: скорость получения вывода, оценка степени упрощения, возможность прогноза – проявился в ходе развития научной прессы и системы образования. В итоге конкуренции нескольких традиций математика приобрела современный статус, т.е. стала универсальным способом моделирования действительности, обретя статус культурного явления [114-116]. В свою очередь, границы возможностей математики как фундаментального инструмента познания и как особой науки об

абстрактных структурах сделались объектом изучения и дискуссии (сжатый обзор суждений по этому вопросу, накопившихся к исходу XX столетия, приводит философ культуры К.А. Свасьян в статье [117]).

В контексте производства нового знания событием в науке естественно считать появление более эффективного образа мыслей и действий, способного решить новые проблемы, ответить на возникшие потребности и ценности. Такое понимание согласуется с выводом В. Эбелинга и др.: «На всех ступенях организации способность системы порождать инновации, позволяющие отбирать и распространять благоприятные варианты, является решающей предпосылкой её способности эволюционировать. Системы, участвующие в эволюционном процессе, должны порождать инновации ценой своего существования, хотя новые благоприятные возможности открываются гораздо реже, чем неблагоприятные» [32, с. 225-226]. Событие случается в определённом научном сообществе – физиков, биологов, математиков, историков *etc*. и обычно опознаётся по заметному росту числа членов сообщества, отзывающихся на событие. Характерна та или иная форма признания (восприятие, усвоение, воспроизведение) сообществом образа действий, связанного с содержанием события.

По наблюдениям историка философии В.А. Бажанова, если научное открытие неожиданно, но относится к «периферии» интересов и научных ожиданий исследователей (в данный момент), то велика вероятность его принятия профессиональным сообществом без заметного внутреннего сопротивления. Скажем, К. Гёдель, будучи известен лишь среди венских коллег, изложил доказательство своих знаменитых теорем в статье 1931 г. настолько кратко, что их содержание некоторое время не воспринималось адекватно такими корифеями науки, как Б. Рассел, Э. Цермело, Л. Витгенштейн. И тем не менее никто не оспаривал его доказательство даже в таком «неудобочитаемом» виде. О значении и широте применения теорем Гёделя можно судить, например, по монографии [118] и статьям [119, с. 78; 120].

Иногда признание идёт через «громкое» непризнание: новый *modus operandi* расценивается как измена традиции, возмутительный эксцесс, мутация, варварство и пр. Поэтому он не воспринимается и не усваивается, часто – демонстративно. А вот передача его (в виде карикатуры, пародии, поношения и т.п.) идёт тем шире, чем экстравагантнее событие. Такую реакцию обычно порождает девиантная наука (термин взят из [19, с. 13]) – маргинальные исследования, отклоняющиеся от научных стандартов своего

времени. Пример: концепция космофизического фактора в истории А.Л. Чижевского (1924 г.), отвергнутая гуманитариями как ересь [121].

Чем ближе инновация к центральным проблемам, занимающим внимание сообщества, тем больше шансов того, что ассимиляция им сущности открытия, придания ему статуса общезначимости, т.е. исследовательской нормы, будет затруднена и отсрочена надолго. Такова судьба восприятия коллегами «воображаемой логики» Николая Васильева (1910-1914 гг.), оказавшегося *de facto* родоначальником ряда оригинальных систем неклассической логики, но не их «отправной» точкой. Отягощающие факторы в его случае: идеи Васильева исходили из принципов, которые не были приняты в аристотелевой логике, т.е. в нормальной (в смысле Т. Куна [122]) науке тех лет; его работы публиковались на русском языке, не доступном западным учёным; форма изложения результатов была трудна для восприятия; проявилась некая «преждевременность» открытия; Мировая война и революция в России резко сузили научное взаимодействие с Западом [120] (о судьбе Н.А. Васильева см. в книге [123]).

Совсем иной сюжет – начавшееся на рубеже 1970-1980-х годов восприятие гуманитариями того раздела синергетики, который они сами же назвали хаологией (*chaology*, или хаосологией), поскольку он занимается закономерностями и проявлениями детерминированного хаоса. В математике и естествознании интерес к этому феномену возник после публикации статьи «Детерминистский непериодический поток» американского метеоролога Эд. Лоренца, обнаружившего в 1961 г. в ходе моделирования хаотический аттрактор (с тех пор носящий его имя) [51, с. 18-45; 58, с. 265-271]. Характерно, что представители гуманитарных наук увидели в формировании хаологии постмодернистский «признак переориентации научных интересов в сферу “повседнева”». Так, французский специалист в области социальной антропологии Ж. Баландье в своей книге «Беспорядок: Похвальное слово движению» (1988) писал: «С самого начала хаология, кажется, не занимается ничем иным, кроме странностей или причудами фантазии ради странностей познания. Для неё простая избитая банальность превращается в тайну. Кран, из которого капает вода, это уже больше не мелкая домашняя неприятность и повод к раздражению, но предмет научного исследования, проводимого в течение долгих лет и превращающего эту аномалию в своего рода парадигму хаоса» (цит. по [124, с. 330-331]). Пожалуй, любой физик, знакомый с проблематикой нелинейной динамики, прочитав цитированный пассаж, не сможет не удивиться наивности его автора.

Примечательно, что признанию идей синергетики в научном сообществе способствовал механизм массовой культуры. Один из «отцов» теории самоорганизации, французский физик-теоретик Д. Рюэлль, в своей монографии «Случай и хаос» (1991) констатирует: «... хаос вошёл в моду и стал предметом конференций. Затем хаос был поднят до статуса *Nonlinear Science* и было создано несколько исследовательских институтов, чтобы изучать его под этим новым названием. Появились новые научные журналы, целиком посвящённые этой нелинейной науке. Успех хаоса приобрёл характер события на уровне средств массовой информации ...» (цит. по [124, с. 330]).

Более того, некоторым гуманитариям умонастроение начала 1970-х годов в среде культурфилософов, выраженное тезисом И. Хасана о пришествии века глобального познавательного и ценностно-ориентационного хаоса, показалось «гуманитарной моделью на службе естественных наук». Здесь цитируется подзаголовок статьи авторитетного специалиста по истории постмодернизма И.П. Ильина [66]. По его мнению, в 1980-е годы, «когда представление о современном мире как о царстве хаоса стало практически общим местом гуманитарного знания», произошло следующее: «Одна из таких идей о принципиально хаотической организации не только духовного мира людей, но и самой физической природы оказалась крайне заразительной для многих учёных-естественников и под именем хаологии прочно вошла в обиход современного негуманитарного знания» [66, с. 422-423].

Ничуть не отрицая гуманитарно-культурной детерминации естествознания, проявляющейся и в период постмодерна, подчеркнём, что суждение И.П. Ильина, по нашему мнению, плохо согласуется с хронологией появления идей синергетики, в том числе с историей представлений о механизмах детерминированного хаоса. Судя по статье И.П. Ильина, в его обобщениях не учитывается, что тройственная по своим культурным функциям синергетика (она и физико-математическая дисциплина, и синтезирующая наука, и мировоззрение) неоднородна по составу. Как физико-математическая дисциплина она представляет собой «сумму синергетик», т.е. комплекс активно обогащающих друг друга – в духе принципа дополнительности – научных направлений. Они и возраст имеют разный: скажем, теория колебаний складывалась ещё в XIX в., теория фракталов Б. Мандельброта родилась в 1970-е годы, но актуализировала топологические идеи Ф. Хаусдорфа и А.С. Безиковича конца 1930-х годов, а концепция самоорганизованной критичности (*self-organized criticality*, или самоорганизованной

катастрофичности) развивается с конца 1980-х годов (см., например, [52, 53, 58, 59, 88, 125-127]).

Между тем в статье И.П. Ильина сообщается, что идеи И.Р. Пригожина “были подхвачены многими учёными и получили (и надо признать получают) весьма активную разработку – в основном в трудах сотрудников Брюссельского Свободного Университета, из которых, очевидно, в первую очередь стоит выделить Г. Хакена с его книгой «Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах», а также работу К. Майнцера «Размышления о сложности. Сложная динамика материи, разума и человечества»” [66, с. 429]. В действительности же Г. Хакен много лет был профессором Штутгартского университета. Разработанная им и его коллегой физиком-лазерщиком В. Вайдлихом, а несколько позднее – К. Майнцером версия синергетики продуктивно дополняет, но отнюдь не продолжает построенную И.Р. Пригожиным и его школой нелинейно-термодинамическую теорию диссипативных структур. Здесь уместнее, пожалуй, говорить о творческом состязании двух научных школ (и двух «синергетик»).

Кроме того, необходимо принять во внимание, что хаос и порядок (κοσμος, т.е. структура) составляют пару наиболее фундаментальных концептов (культурных архетипов), встречающихся в самых ранних космогонических и теогонических мифах большинства народов мира [128]. Иначе говоря, человек издревле воспринимает бытие через эту пару культурных архетипов. А интерес к порядку и хаосу – устойчивый лейтмотив теоретической науки от античности до постмодерна (см., например, статьи в сборнике [129] и монографию [40]).

Простительное желание И.П. Ильина преувеличить вклад гуманитарных наук в развитие теории хаоса есть, по-видимому, не просто форма признания синергетической парадигмы (в стиле известной шутки: успех имеет много родителей). Мы полагаем, что стремление это демонстрирует один из вариантов плодотворного взаимодействия двух магистральных научных традиций («двух культур» – в смысле Ч. Сноу, интегрируемых теорией систем [118], теорией информации [63, 107, 108], а с 1990-х годов – ещё и синергетикой [2, 32, 36, 39-42, 54, 58, 60-63, 65, 68, 88, 104, 127, 130]).

Но взаимодействие двух традиций «растянуто» во времени из-за неизбежного запаздывания в обмене творческой продукцией, эпистемологических и терминологических барьеров, инерционности восприятия интеллектуальных событий в «чужой» и даже «своей» среде *etc*. Так, очередной импульс осмыслению взаимодействия литературы и естествознания дают статьи филолога Е.Г.

Трубецковой [131] и философа-науковеда М.А. Розова [132]. Оба автора оперируют выразительным и разнообразным материалом, и у них даже оказывается общий объект внимания: творчество В. Набокова. Но, по-видимому, до сих пор каждый из них не подозревает о содержании работы другого.

Фундаментальные математические модели динамики тех или иных социокультурных характеристик научной деятельности обсуждались в ряде работ отечественных науковедов ещё в 1980-е годы, например в книгах А.И. Яблонского [80] и С.Д. Хайтуна [81]. Однако исследование поведения этих моделей (преимущественно на основе дифференциальных уравнений), как и вообще моделирование социальных процессов, развёртывается лишь в последние годы (см., например, [32, 46, 68, 133-135]).

Укажем ещё на попытку учесть свойство когнитивности в моделях социосинергетических процессов путём генерализации топологических свойств фазового пространства системы. По аналогии со свойством нейросети предполагается, что благодаря «обучению» динамическая система приобретает дополнительные эволюционные степени свободы, заложенные в метрических характеристиках её фазового пространства [136].

С конца 1990-х годов обращают на себя внимание статьи В.В. Качака и Е.С. Мчедловой [83, 84]. В них и кратком сообщении [85] В.В. Качака, Д.А. Усанова раскрыты социологические аспекты моделей и актуальность предпринятых исследований. В статьях [83, 84] на примере изучения взаимодействия пары научных направлений отражены универсальные процессы отношений между двумя подсистемами бинарной системы. В модели, рассмотренной в статье [84] (в отличие от предшествующей ей статьи [83]), сделан учёт ограничения экспоненциального роста обобщённых макропеременных x, y, имеющих смысл количества актуальной научной продукции, или – шире – оценки состояния научного знания в школах X, Y. Выбор ограничения в форме квадратичной нелинейности в статье [84] показал, что такое ограничение делает данную модель приближением более высокого порядка по сравнению со случаем, представленным в статье [83], демонстрируя рост разнообразия динамики развития научных направлений.

Подобная диверсификация поведения нелинейной бинарной системы, рассмотренной в [83], имеет место и при учёте инерционности реакции на научные достижения в каждом из взаимодействующих направлений. В настоящей работе не обсуждаются причины инерционности, но *a priori* предполагается, что они могут иметь мировоззренческую, социокультурную, методологическую, научно-организационную, социально-

психологическую, коммуникативную, корпоративно-нормативную и другую природу (см., например, [16-20, 24, 40, 79-82, 86, 111-113, 122, 123, 137-151]). В относительно простом виде эта инерционность может формально описываться введением разновеликих запаздывающих аргументов у обобщённых макропеременных x, y, стоящих в правых частях уравнений модели, которая предложена в статье [83]. Как показали наши вычислительные эксперименты [93-95], даже если величина запаздывания одинакова для всех слагаемых в уравнениях, то наблюдается расширение разнообразия эволюции подсистем, что позволяет говорить о повышении правдоподобия модели.

По существу, тот же вывод сделан в докладах [96, 97] В.В. Качака и Е.С. Мчедловой, предложивших учитывать ещё и инерционность ограничения экспоненциального роста наряду с инерционностью взаимодействия научных направлений.

Следует напомнить, что эредитарные системы, т.е. системы с последействием, или запаздыванием, впервые были рассмотрены именно в контексте «Математической теории борьбы за существование», как озаглавлен классический труд В. Вольтерры [75]. Четвёртая глава его книги называлась «Сравнение явлений последействия в биологии и механике», в ней Вольтерра предложил математическое толкование запаздывания. Изучение математических моделей систем с последействием – в силу их распространённости в природе, технике и социокультурной сфере – составляет сегодня отдельное направление в теории устойчивости динамических систем [71].

Судя по публикациям, сложились три направления совершенствования модели взаимодействия в науке, выражаемые последовательностями работ [83, 84], [93-95] и [96-98]. В свете сказанного представляет интерес провести циклы вычислительных экспериментов, учитывая как ограничение экспоненциального роста в форме квадратичной нелинейности, так и инерционность восприятия сообществами учёных «чужих» и «своих» научных достижений.

2.2. Модели взаимодействия научных направлений: возможные подходы и конкретные реализации

Для удобства сравнения результатов в настоящей работе использовались обозначения, принятые в статье [84]. Как и в работе [94], авторы исходили из того, что существуют научные результаты, воспринимаемые сообществом с различным запаздыванием τ_i, т.е. получаемые из различных временных пластов. Следовательно, возможно дробление каждого члена уравнений модели на серии

подобных же членов, но с различной величиной запаздывающего аргумента *(t – τ_i)*. Отсюда возникают соответствующие суммы – вплоть до интегральных функций вида

$$\int_{0}^{-\infty} f_x(t-\tau) * x(t-\tau) * d\tau$$

или

$$\int_{0}^{-\infty} \int_{0}^{-\infty} f_{xy}(t-\tau_x, t-\tau_y) * x(t-\tau_x) * y(t-\tau_y) * d\tau_x d\tau_y$$

при бесконечном дроблении. Если «функции памяти» *f* являются дельта-функциями от *(t-τ_i)*, то получаются известные модели, восходящие к работам В. Вольтерры (например, выражение (37) на с. 267 в книге [75]) или подобные им.

В соответствии со сказанным выше рассмотрим модель взаимодействия научных направлений с ограничением развития *(b_1, $b_2 \geq 0$)* и с инерционностью восприятия достижений в форме уравнений (относительно макропеременных *x*, *y*, имеющих смысл количества актуальной научной продукции) с запаздывающим аргументом:

$$\begin{cases} \dfrac{dx(t)}{dt} = c_1 * x(t-\tau_1) * y(t-\tau_2) - c_2 * x(t-\tau_3) - b_1 * x(t-\tau_7) * x(t-\tau_8), \\ \dfrac{dy(t)}{dt} = c_3 * y(t-\tau_4) * x(t-\tau_5) - c_4 * y(t-\tau_6) - b_2 * y(t-\tau_9) * y(t-\tau_{10}), \end{cases} \quad (6)$$

где τ_1 и τ_3 – задержки в восприятии первым сообществом собственных результатов: соответственно в контексте результатов второго сообщества (усваиваемых с опозданием на τ_2) и вне контекста; τ_7 и τ_8 – задержки в восприятии научной продукции, влекущей ограничение экспоненциального роста достижений первого сообщества. Само это ограничение может быть не только следствием устаревания (опровержения) научно-технической информации [84], но и проявлением действия опередивших «своё время» результатов, сужающих поле возможных новаций сегодня. Времена τ_4, τ_6, τ_5, τ_9 и τ_{10} имеют аналогичное содержание для второго сообщества. По смыслу введённых времён запаздывания в типичном случае $\tau_3 \leq \tau_1 \leq \tau_2$. Заметим, что соотношения между временами τ_i зависят от многих факторов, называвшихся выше [73].

В отличие от модели, представленной Е.С. Мчедловой в докладе [96], времена τ_3, τ_7 (и симметричные им τ_6, τ_9) в общем случае не равны нулю. Позднее Е.С. Мчедлова в статье [98] изменила модель, выбрав значения $\tau_1 = \tau_4 = 0$, и предложила

близкую по смыслу классификацию: запаздывание *в связях* между научными направлениями и *собственное* запаздывание внутри данного направления. В наших работах 1998-2001 гг. численно моделировался простейший случай равенства всех времён запаздывания τ_i.

Таким образом, сегодня сложилось два варианта учёта запаздывания при численном моделировании взаимодействия научных школ: $\tau_3 = \tau_7 = \tau_6 = \tau_9 = \tau_1 = \tau_4 = 0$ [98] и $\tau_i = \text{const}$ [73, 94-95]. Поэтому целесообразно создать более широкий контекст построения подобных моделей.

Для этого спустимся на один иерархический уровень относительно направлений *X*, *Y*. Будем исходить из того, что в действительности каждое научное направление (научная школа, традиция) – сколько бы их ни было – состоит из некоторого *множества* участников продукционного процесса (например, отдельных учёных, научных групп, лабораторий, даже институтов). Причём все участники считаются неделимыми элементами научного сообщества, включающего в себя *X*, *Y*. Продукцию (продуктивность) каждого из участников обозначим $z_i(t)$. Тогда продукцию сообщества в целом можно описывать вектором $\mathbf{z}(t) = \{z_1(t); z_2(t); \ldots; z_m(t)\}$.

В пренебрежении пространственным аспектом взаимодействия *X*, *Y* естественно записать математическую модель изменения вектора продукции (продуктивности) научного сообщества как функции продуктов всех его элементов в виде

$$d\mathbf{z}(t) / dt = \mathbf{f}(Z), \tag{7}$$

где $\mathbf{f}(Z) = \{f_1(Z); f_2(Z); \ldots; f_m(Z)\}$, $Z \equiv \bigcup_{l=1}^{L}\bigcup_{i=1}^{m} z_i\left(t - \tau_{i,l}\right) \equiv \bigcup_{l=1}^{L}\bigcup_{i=1}^{m} z_{i,l}$ – множество состояний продуктивности (количеств продукции), созданных деятельностью участников продукционного процесса в различные моменты времени t-$\tau_{i,j}$, $\cup$ – символ объединения множеств.

Ориентируясь на структуру уравнений (6) и (1) в [98], разложим правую часть уравнения (7) по степеням количеств продукции, созданных «элементарными» участниками научного сообщества, ограничившись вторым порядком:

$$dz_i(t) / dt = f_i(Z) \approx f_i(Z_0) + \sum_{j=1}^{m}\sum_{l=1}^{L}\frac{\partial f_i(Z_0)}{\partial z_{j,l}}\Delta z_{j,l} + \sum_{j=1}^{m}\sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{m}\sum_{n=1}^{L}\frac{\partial^2 f_i(Z_0)}{2\partial z_{j,l}\partial z_{k,n}}\Delta z_{j,l}\Delta z_{k,n}.$$

Выбрав случай разложения в окрестности нуля ($\Delta z_{i,j} = z_{i,j}$) и полагая $f_i(Z_0) = 0$, получим более компактное выражение для модели

$$dz_i(t) / dt = \sum_{j=1}^{m}\sum_{l=1}^{L} a_{i,j,l} z_{j,l} + \sum_{j=1}^{m}\sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{m}\sum_{n=1}^{L} b_{i,j,l,k,n} z_{j,l} z_{k,n}. \quad (8)$$

Ограничиваясь случаем бинарных систем, сконструируем два множества $M_x \subset \{1; 2;...; m\}$, $M_y \subset \{1; 2;...; m\}$: $M_x \cap M_y = \varnothing$, $M_x \cup M_y = \{1; 2;...; m\}$. Причём M_x содержит m_x элементов, а M_y – m_y ($m_x + m_y = m$). Будем говорить, что i-й «элементарный» участник, характеризуемый количеством продукции $z_i(t)$, является представителем научного направления X (Y) тогда и только тогда, когда $i \in M_x$ ($i \in M_y$). Учитывая введённые обозначения, модель (8) можно развернуть следующим образом:

$$dz_i(t)/dt = \sum_{j\in M_x}\sum_{l=1}^{L} a_{i,j,l} z_{j,l} + \sum_{j\in M_y}\sum_{l=1}^{L} a_{i,j,l} z_{j,l} + \sum_{j,k\in M_x}\sum_{l,n=1}^{L} b_{i,j,l,k,n} z_{j,l} z_{k,n} +$$

$$+ \sum_{j\in M_x}\sum_{k\in M_y}\sum_{l,n=1}^{L} b_{i,j,l,k,n} z_{j,l} z_{k,n} + \sum_{j\in M_y}\sum_{k\in M_x}\sum_{l,n=1}^{L} b_{i,j,l,k,n} z_{j,l} z_{k,n} +$$

$$+ \sum_{j,k\in M_y}\sum_{l,n=1}^{L} b_{i,j,l,k,n} z_{j,l} z_{k,n}. \quad (9)$$

Здесь символ типа $\sum_{j\in M_x}$ означает суммирование, в котором индекс j пробегает все элементы множества M_x.

Обратим внимание на то, что если $i \in M_x$, то первая сумма описывает темп прироста продукции $z_i(t)$ i-го «элементарного» участника научного направления X, обусловленный его обращением к продукции коллег «своего» научного направления X, в том числе к своей собственной продукции. Вторая сумма описывает темп прироста продукции $z_i(t)$ того же i-го участника направления X, обусловленный его обращением к продукции участников «чужого» направления Y. Третья сумма есть квадратичный аналог первой, а последняя – второй. Четвёртая и пятая суммы описывают темп прироста продукции i-го участника научного направления X, обусловленный его обращением к продукции участников как

«своего» X, так и «чужого» Y направления. Далее будем рассматривать уравнения лишь для случая $i \in M_x$, так как уравнения для $i \in M_y$ аналогичны.

Поскольку в структуре уравнений (6) и (1) в [98] отсутствуют линейные и квадратичные члены, ответственные за обращение к продукции участников только «чужого» направления, то во второй и последней суммах в (9) положим $a_{i,j,l} = 0$ и $b_{i,j,l,k,n} = 0$. Кроме того, естественно полагая, что смешанные производные равны, из (9) получим

$dz_i(t) / dt =$

$$= \sum_{j \in M_x} \sum_{l=1}^{L} a_{i,j,l} z_{j,l} + \sum_{j,k \in M_x} \sum_{l,n=1}^{L} b_{i,j,l,k,n} z_{j,l} z_{k,n} + 2 \sum_{j \in M_x} \sum_{k \in M_y} \sum_{l,n=1}^{L} b_{i,j,l,k,n} z_{j,l} z_{k,n} . \quad (10)$$

Примем во внимание возможное отличие в степени инерционности восприятия i-м участником своих собственных результатов и продукции остальных членов научного сообщества (как коллег по направлению X, так и участников Y). Для простоты дальнейшего анализа ограничимся двумя наборами из 9 времён запаздывания в каждом: $\{\tau_1; \tau_2; \tau_3; \tau_7; \tau_8; \tau_1'; \tau_3' \tau_7'; \tau_8'\}$ – для уравнения $i \in M_x$, $\{\tau_4; \tau_5; \tau_6; \tau_9; \tau_{10}; \tau_4'; \tau_6'; \tau_9'; \tau_{10}'\}$ – для уравнения $i \in M_y$. Символы τ без штриха соответствуют инерционности восприятия i-м участником продукции остальных членов научного сообщества (как коллег по направлению X, так и участников Y). Символы со штрихом, напротив, относятся к инерционности восприятия своих собственных результатов. Она объясняется, например в психологии творчества, неуверенностью в себе, повышенной требовательностью, приверженностью господствующей точке зрения *etc*. [150, 151]. Естественно думать, что времена со штрихом гораздо меньше, чем без штриха.

Соответствующим выбором коэффициентов в (10) можно получить более простое уравнение:

$$dz_i(t) / dt = a_x\{ \sum_{j \in M_x} z_j(t-\tau_3) + z_i(t-\tau_3') - z_i(t-\tau_3)\} +$$

$$+ b_x\{ \sum_{j,k \in M_x} z_j(t-\tau_7) z_k(t-\tau_8) + z_i(t-\tau_7') \sum_{k \in M_x} z_k(t-\tau_8) + z_i(t-\tau_8') \sum_{j \in M_x} z_j(t-\tau_7) -$$

$$z_i(t-\tau_7')z_i(t-\tau_8) - z_i(t-\tau_8')z_i(t-\tau_7) - z_i(t-\tau_7)\sum_{k\in M_x} z_k(t-\tau_8) -$$

$$- z_i(t-\tau_8)\sum_{j\in M_x} z_j(t-\tau_7) + z_i(t-\tau_8)z_i(t-\tau_7) + z_i(t-\tau_8')z_i(t-\tau_7')\} +$$

$$+ 2b_{xy}\{\sum_{j\in M_x}\sum_{k\in M_y} z_j(t-\tau_1)z_k(t-\tau_2) + z_i(t-\tau_1')\sum_{k\in M_y} z_k(t-\tau_2) - z_i(t-\tau_1)\sum_{k\in M_y} z_k(t-\tau_2)\}.$$

Ориентируясь на вид уравнений (6) и (1) в [98], обозначим:

$$x(t) \equiv \sum_{i\in M_x} z_i(t),\ y(t) \equiv \sum_{i\in M_y} z_i(t),\ \mathrm{d}x(t)/\mathrm{d}t \equiv \sum_{i\in M_x} \mathrm{d}z_i(t)/\mathrm{d}t,\ \mathrm{d}y(t)/\mathrm{d}t \equiv \sum_{i\in M_y} \mathrm{d}z_i(t)/\mathrm{d}t.$$

Тогда последнее уравнение примет вид

$$\mathrm{d}z_i(t) / \mathrm{d}t = a_x\{x(t-\tau_3)+z_i(t-\tau_3')-z_i(t-\tau_3)\} +$$

$$+ b_x\{x(t-\tau_7)x(t-\tau_8) + z_i(t-\tau_7')x(t-\tau_8) + z_i(t-\tau_8')x(t-\tau_7) - z_i(t-\tau_7')z_i(t-\tau_8) -$$

$$- z_i(t-\tau_8')z_i(t-\tau_7) - z_i(t-\tau_7)x(t-\tau_8) - z_i(t-\tau_8)x(t-\tau_7) + z_i(t-\tau_8)z_i(t-\tau_7) +$$

$$+ z_i(t-\tau_8')z_i(t-\tau_7')\} + 2b_{xy}y(t-\tau_2)\{x(t-\tau_1) + z_i(t-\tau_1') - z_i(t-\tau_1)\}.$$

Суммируя m_x таких уравнений по i, получим уравнение относительно x:

$$\sum_{i\in M_x} \mathrm{d}z_i(t) / \mathrm{d}t \equiv \mathrm{d}x(t) / \mathrm{d}t = 2b_{xy}y(t-\tau_2)\{(m_x-1)x(t-\tau_1) + x(t-\tau_1')\} +$$

$$+ a_x\{(m_x-1)x(t-\tau_3) + x(t-\tau_3')\} +$$

$$+ b_x\{(m_x-2)x(t-\tau_7)x(t-\tau_8) + x(t-\tau_7')x(t-\tau_8) + x(t-\tau_8')x(t-\tau_7) +$$

$$+ \sum_{i\in M_x} [z_i(t-\tau_8)z_i(t-\tau_7) - z_i(t-\tau_7')z_i(t-\tau_8) -$$

$$- z_i(t-\tau_8')z_i(t-\tau_7) + z_i(t-\tau_8')z_i(t-\tau_7')]\}. \qquad (11)$$

Рассмотрим два частных случая. Пусть в рамках научного направления X количество «элементарных» участников продукционного процесса $m_x = 1$. Тогда уравнение (11) после приведения подобных членов примет вид

$$dx(t)/dt = 2b_{xy}y(t-\tau_2)x(t-\tau_1') + a_x x(t-\tau_3') + b_x x(t-\tau_7')x(t-\tau_8'). \qquad (12)$$

Уравнение (12) для $x(t)$ принимает вид первого уравнения (1) в статье [98], если обозначить $2b_{xy} = c_1$, $a_x = -c_2$, $b_x = -b_1$, $\tau_2 = \tau_{yc}$, $\tau_8' = \tau_x$ и положить: $\tau_1' = 0$, $\tau_3' = 0$, $\tau_7' = 0$. В аналогичном уравнению (12) уравнении для $y(t)$ достаточно положить: $2b_{yx} = c_3$, $a_y = -c_4$, $b_y = -b_2$, $\tau_5 = \tau_{xc}$, $\tau_4' = 0$, $\tau_6' = 0$, $\tau_9' = 0$, $\tau_{10}' = \tau_y$, чтобы получить второе уравнение (1) в [98]. Отсюда можно предположить, что в модели Е.С. Мчедловой, во-первых, неявно заложено представление о неделимости каждого из научных направлений на субъекты продукционного процесса. Во-вторых, при учёте квадратичного ограничения роста научной продукции утверждается неэквивалентность времён запаздывания $\tau_7' = 0$ и τ_8' ($\tau_9' = 0$ и τ_{10}'): участник научного направления обращается к своей собственной продукции, созданной им как к моменту $t-\tau_8'$ в прошлом, так и к текущему моменту t.

Пусть теперь, наоборот, в рамках научного направления X количество «элементарных» участников продукционного процесса велико: $m_x >> 1$, а значения z_i примерно равновелики. Тогда уравнение (11) после приведения подобных членов и пренебрежения слагаемыми, не содержащими множителей (m_x-1), (m_x-2), примет вид

$$dx(t)/dt = 2b_{xy}(m_x-1)y(t-\tau_2)x(t-\tau_1) +$$

$$+ a_x(m_x-1)x(t-\tau_3) + b_x(m_x-2)x(t-\tau_7)x(t-\tau_8). \qquad (13)$$

Уравнение (13) для $x(t)$ принимает вид первого уравнения (6), если обозначить $2b_{xy}(m_x-1) = c_1$, $a_x(m_x-1) = -c_2$, $b_x(m_x-2) = -b_1$. В аналогичном уравнению (13) уравнении для $y(t)$ достаточно положить: $2b_{yx}(m_x-1) = c_3$, $a_y(m_x-1) = -c_4$, $b_y(m_x-2) = -b_2$, чтобы получить второе уравнение (6).

Как видим, уравнения (6) опираются на предположение о том, что каждое из научных направлений включает в себя большое число субъектов продукционного процесса, между которыми происходит коммуникация по принципу «каждый с каждым». Принципиально, что времена запаздывания τ_1; τ_3; τ_7; τ_8 (τ_4; τ_6; τ_9; τ_{10}) ограничены снизу величиной τ_3 (τ_6) – степенью инерционности восприятия отдельным участником направления X (Y) продукции его коллег по направлению X (Y). Причём в данном подходе инерционность восприятия τ_1'; τ_3' τ_7'; τ_8' (τ_4'; τ_6'; τ_9'; τ_{10}') субъектом продукционного процесса своих собственных результатов не влияет на динамику бинарной системы. Действительно, доля его собственной продукции оказывается малозначимой, так как число его коллег велико. Здесь неявно

реализован коллективистский принцип исследовательской деятельности «один в поле – не воин».

Формально полагая в уравнениях (6) $\tau_2 = \tau_{yc}$, $\tau_1 = 0$, $\tau_3 = 0$, $\tau_7 = 0$, $\tau_8 = \tau_x$, $\tau_5 = \tau_{xc}$, $\tau_4 = 0$, $\tau_6 = 0$, $\tau_9 = 0$, $\tau_{10} = \tau_y$, можно получить модель (1) Е.С. Мчедловой [98]. На языке нашего подхода, это – сюжет малоинерционной коммуникации между участниками внутри одного направления *X* (*Y*). Интуитивно ясно, что в таком случае каждое научное направление выступает как «единое и неделимое». Поэтому-то и возможно свести модель (6) к упомянутой модели [98].

Таким образом, использованное при моделировании в наших работах упрощающее предположение: τ_i = const – не причиняет ущерба смыслу уравнений (6), т.е. вполне правомерно.

Теперь, представляя место модели (6) в иерархии моделей, вернёмся к её рассмотрению. В качестве начальных условий возьмём $x(t) = x_0$, $y(t) = y_0$, $-\tau < t < 0$. Тогда можно аналитически найти функции x, y на любом из отрезков $n * \tau < t < (n + 1) * \tau$; ($n \geq 0$, целое). Причём $x(t)$, $y(t)$ порогово усложняются с ростом n и являются полиномами. На отрезках $n * \tau < t < (n + 1) * \tau$ для максимального порядка этих полиномов справедливо следующее рекуррентное соотношение: $m_n = 2m_{n-1} + 1$, где $m_{-1} = 0$. Если устремить τ к 0, то уже при $t \to 0$ порядок полиномов $m \to \infty$.

Для системы уравнений (6) можно показать: на плоскости *xOy* существуют прямые такие, что они сплошь покрыты принадлежащими им фазовыми траекториями (здесь полагается, что особые точки являются отдельными фазовыми траекториями, не принадлежащими никакой другой траектории). Упомянутые прямые задаются уравнениями:

$y = x * \dfrac{c_3 + b_1}{c_1 + b_2}$ при $c_2 = c_4$ и $c_1 \neq -b_2$,

$y = -x * \dfrac{c_4 * b_1}{c_2 * b_2} - \dfrac{c_4}{b_2}$ при $\dfrac{c_4 * b_1}{c_2 * b_2} = -\dfrac{c_3 + b_1}{c_1 + b_2}$ и $c_1 \neq -b_2$,

$y = 0$ (ось *Ox*),

$x = 0$ (ось *Oy*),

$y = -c_4 / b_2$ (линия параллельная оси *Ox*) при $c_3 = 0$,

$x = -c_2 / b_1$ (линия параллельная оси *Oy*) при $c_1 = 0$.

Поскольку представляет интерес выяснить особенности поведения данной динамической системы в области макропеременных $x > 0$, $y > 0$ при $c_1 \neq 0$, $c_3 \neq 0$, то следует исключить

тривиальные прямые $x = 0$, $y = 0$, $y = -c_4 / b_2$, $x = -c_2 / b_1$ и обратиться к прямым:

$$y = x * \frac{c_3 + b_1}{c_1 + b_2} \quad \text{при} \quad c_2 = c_4 \text{ и } c_1 \neq -b_2, \tag{14}$$

$$y = -x * \frac{c_4 * b_1}{c_2 * b_2} - \frac{c_4}{b_2} \quad \text{при} \quad \frac{c_4 * b_1}{c_2 * b_2} = -\frac{c_3 + b_1}{c_1 + b_2} \text{ и } c_1 \neq -b_2. \tag{15}$$

По нашему мнению, особенности прямолинейных фазовых траекторий (принадлежащих некоторым прямым) выражаются следующими тезисами:

– фазовая траектория остается прямой при любых значениях запаздывания τ;

– если движение динамической системы происходит по прямолинейной траектории в направлении предельной точки фазового пространства системы с $\tau = 0$, то наличие запаздывания ($\tau > 0$) не влияет на монотонный характер изменения динамических переменных;

– если движение динамической системы происходит в направлении устойчивой особой точки, не являющейся предельной точкой множества точек, составляющего фазовое пространство системы с $\tau = 0$, то существует значение $\tau > 0$, при котором имеют место затухающие колебания (вдоль прямой) вокруг этой особой точки.

Как и в исследованиях В.В. Качака, Е.С. Мчедловой, значения констант c_i брались равными 1 и -1. Это даёт 16 возможных комбинаций констант, однако лишь 6 из них являются качественно различными. Кратко опишем эти комбинации.

I. Случай асимметричных отношений $c_1 = 1$, $c_2 = c_3 = c_4 = -1$: оба научных направления, будучи автономными, развиваются. Но при взаимодействии направление *Y* положительно (продуктивно) влияет на *X*, а *X*, напротив, отрицательно влияет на *Y*.

II. Случай конкурентных отношений $c_i = -1$: оба направления, будучи автономными, развиваются. Однако при взаимодействии они *конкурируют* друг с другом, т.е. имеет место *отрицательная* обратная связь в бинарной системе.

III. Случай дополняющих отношений $c_i = 1$: оба научных направления, будучи автономными, угасают. При взаимодействии оба научных направления развиваются в режиме *синергии* (взаимного сотрудничества), т.е. имеет место *положительная* обратная связь.

IV. Случай синергии $c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$: будучи автономными, направления эволюционируют так, что X угасает, а Y, напротив, развивается. При взаимодействии оба научных направления развиваются, поддерживая друг друга, т.е. имеет место положительная обратная связь.

V. Случай асимметричных отношений $c_1 = c_2 = 1$, $c_3 = c_4 = -1$: будучи автономными, направления эволюционируют так, что X угасает, а Y развивается. Влияние направления Y на X положительно, а X на Y – отрицательно.

VI. Случай $c_1 = c_3 = 1$, $c_2 = c_4 = -1$: будучи автономными, оба направления развиваются. В силу синергии направлений возможен бесконечный рост их продуктивности. В дальнейшем этот случай рассматриваться не будет. При иных, чем у нас, комбинациях времён запаздывания он изучен в статье Е.С. Мчедловой [98].

Значения параметров ограничения b_i и начальные условия x_0, y_0 в основном брались из работ В.В. Качака и Е.С. Мчедловой с тем, чтобы можно было сопоставлять наши результаты с учётом задержки и их – без её учёта, а также для упрощения тестирования программ.

Ввиду конечной точности вычислений возможно возникновение значений $x < 0$ ($y < 0$). В этом случае в расчётах полагалось: $x = 0$ ($y = 0$). Величина запаздывания τ изменялась с различным значением шага варьирования, и выбранный нами максимум в различных экспериментах был не менее 2,3 или 1,4. В качестве системы тестовых задач использовались результаты статей [83, 84].

2.3. Особенности моделирующих программ

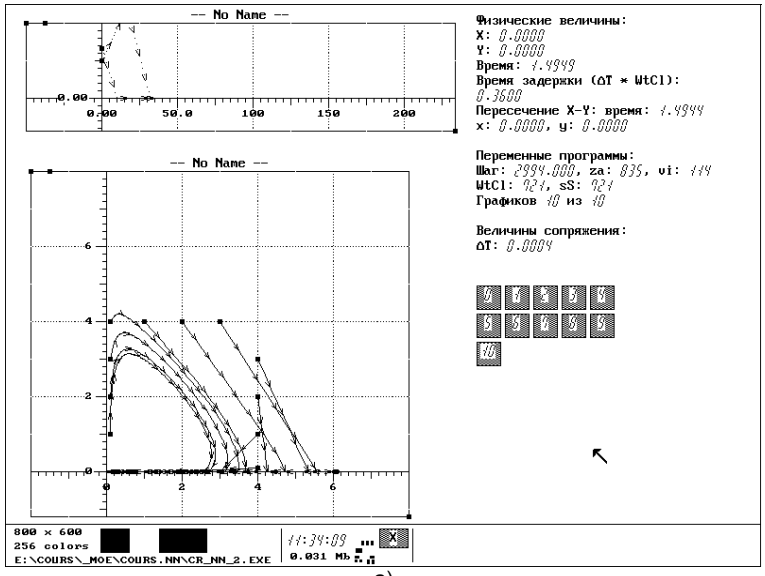
Моделирующие программы были построены на базе библиотеки *Inferno*, кратко описанной в подразделе 1.3. Организация библиотеки обеспечивала компактность исходного текста, широту функциональных возможностей и выполнение требований, изложенных в подразделе 1.3.

Помимо библиотеки *Inferno*, используются только пять подобных друг другу модулей, именованных как *S_X*, где *X* – целое число в диапазоне 1...5, соответствующее номеру *случая* **I**-**V**, из числа описанных в подразделе 2.2. В этих модулях содержатся комбинации значений констант c_i. Каждый из пяти случаев делится на несколько вариантов. Они различаются значениями констант b_i и начальных условий x_0, y_0, а также некоторыми другими значениями констант, например максимальным модельным временем анализа конкретной ситуации. Программные модули также содержат значения этих констант для каждой ситуации. Выбор варианта выполняется с использованием средств условной компиляции.

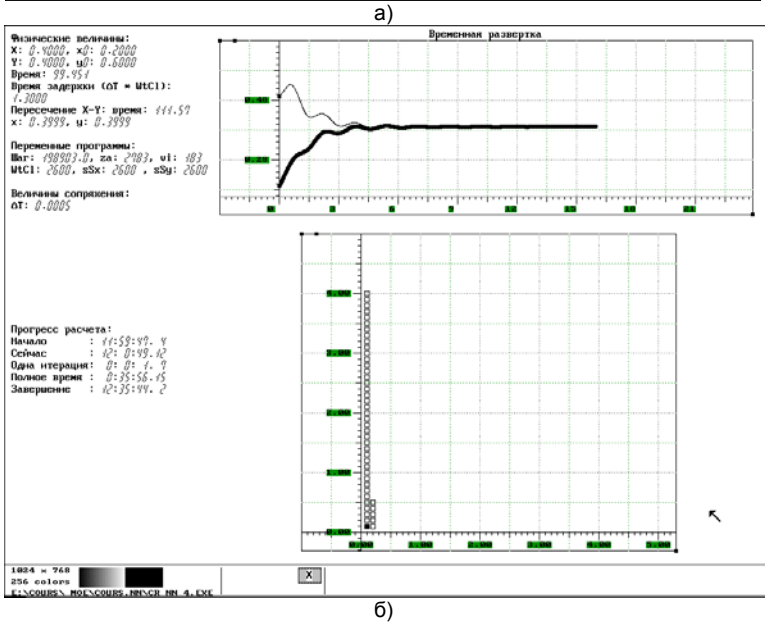
Модули *S_X* используются тремя следующими программами:

– *CR_NN_*1: программа моделирует один или серию сюжетов с различными временами запаздывания τ. Результаты выводятся в виде *BMP*-файлов для качественного анализа или файлов данных – для численного анализа. Каждый файл соответствует определённому значению запаздывания τ. Возможно наблюдение как временной реализации процесса ($x(t)$, $y(t)$), так и строения фазового пространства бинарной системы ($y(x)$).

– *CR_NN_*2: программа моделирует серию сюжетов с различными начальными условиями x_0, y_0. Список условий задаётся во внешнем файле, для генерации которого может использоваться текстовый редактор и/или внешняя программа. Результаты выводятся в виде *BMP*-файла для качественного анализа или файла данных – для численного анализа и представляют собой фазовое пространство системы ($y(x)$) с множеством траекторий для различных начальных условий.



а)



б)

Рис. 2.1. Внешний вид экранов (*screenshorts*) моделирующих программ. Режим вычисления программой *CR_NN*_2 структуры фазового пространства системы уравнений (6) для *случая* V ($c_1 = c_2 = 1$, $c_3 = c_4 = -1$) при $b_1 = b_2 = 0{,}2$ для величины времени запаздывания $\tau = 0{,}3600$ (а). Режим вычисления программой *CR_NN*_4

инициально-финаль-ного отображения системы (6) для *случая* II ($c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = -1$)
при $b_1 = b_2 = 1{,}5$ (б)

– *CR_NN_*4: программа моделирует серию сюжетов с различными начальными условиями x_0, y_0 и различными временами запаздывания τ. Их значения варьируются в заданных пределах с заданным шагом. Результаты выводятся в виде *BMP*-файлов, каждый из которых представляет собой *инициально-финальное отображение* (см. подраздел 3.1) для определённого значения τ.

Каждая из трёх программ может использовать один из пяти описанных выше модулей, привлекая средства условной компиляции. У программы *CR_NN_*4 – в зависимости от исследуемого варианта – также несколько изменяется внутренняя структура. Это связано с отличием алгоритмов анализа финалов эволюций научных направлений для различных случаев, указанных в табл. 3.1.

На рис. 2.1 представлены внешние виды экранов программ во время работы. На рисунке изображены графики, выводимые программой во время расчёта. Как правило, программы сохраняют результаты в виде *BMP*-файлов, которые в дальнейшем анализируются (обобщаются) без участия ЭВМ. Результаты их визуального анализа приводятся ниже и обобщаются в выводах.

Для решения системы (6) использовался метод Эйлера [152]. Центральная часть алгоритма представляет собой цикл, внутри которого выполняется пошаговое интегрирование (6). Цикл завершается по команде пользователя, или при достижении заданного значения модельного времени, или при выполнении других условий из табл. 3.1.

Структура взаимодействия программ и библиотеки *Infenro* обеспечивает уровень эффективности, соответствующий требованиям, описанным в подразделе 1.3. Кроме того, в программе *CR_NN_*4 введён специальный режим *агрессивной монополии* (термин В.О. Раводина). В нём на выполнение сервисных функций процессорное время отдаётся библиотеке только при переходе между различными начальными условиями x_0, y_0. Программа переходит в режим агрессивной монополии в зависимости от состояния программного переключателя клавиши *Insert*.

Все приводимые в работе графики построены одной из трёх вышеописанных программ.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ С УЧЁТОМ ЗАПАЗДЫВАНИЯ И ОГРАНИЧЕНИЯ РОСТА ДОСТИЖЕНИЙ

Интерпретируя универсальное явление
через более для нас доступное
частное отношение,
мы не должны забывать, что оперируем
всего лишь научной метафорой.
Х. Ортега-и-Гасет

3.1. Случай асимметричных отношений $c_1 = 1$, $c_2 = c_3 = c_4 = -1$

Когда оба направления развиваются, причём X отрицательно влияет на Y, а Y положительно влияет на X ($c_1 = 1$, $c_2 = c_3 = c_4 = -1$), имеют место следующие особенности:

Вариант 1.1*:* $b_1 = b_2 = 0{,}5$, $x_0 = 0{,}1$, $y_0 = 1$. Пока время запаздывания (формально нормированное к $1/|c_2|$) не превышает значения 1,56, имеет место стационарное устойчивое состояние: $x = 2$, $y = 0$. Начиная с $\tau = 1{,}6$, становятся заметными колебания x (в пределах 1,7046 – 2,2502), но по-прежнему $y = 0$. С ростом τ амплитуда растёт и усугубляется ангармонизм колебаний. При $\tau = 2{,}4$ минимальное значение x становится равным нулю, период следования максимумов близок к $12{,}8 \approx 5{,}3 * \tau$. Близость x к нулю в момент t влечёт медленность изменения x в момент $t + \tau$, которая проявляется на графике $x(t)$ как горизонтальный участок.

Проследим зависимость результата эволюции научных направлений (совместное кооперативное развитие или угасание) от начальных условий при различных значениях запаздывания τ. Для выяснения особенностей этих зависимостей построим табл. 3.1 и 3.2, представив в них возможные финалы эволюции макропеременных (и соответствующие им критерии прекращения вычислений), а также способы изображения финалов на плоскости x, y (табл. 3.3). Тем самым задаётся графически отображение (функция) множества начальных условий x_0, y_0 во множество финалов эволюции.

Чтобы подчеркнуть методологическую значимость и физический смысл этого конструкта, назовем его *инициально-финальным отображением* (или *инициально-финальной функцией*). Отметим, что философский словарь определяет конструкт как понятие, вводимое теоретически или создаваемое по поводу

наблюдаемых событий по правилам логики с жёстко установленными границами и правильно выраженное в определённом языке. Чаще всего конструкты оформляются в зоне перехода от эмпирического знания к концептуальному и обратно [153]. По аналогии с содержанием рис. 3 в статье [154] инициально-финальное отображение можно назвать и *картой режимов на плоскости начальных условий*.

Построение на плоскости (x, y) областей начальных значений x_0, y_0, обусловливающих один из возможных финалов эволюции x, y, осуществлялось при варьировании x_0, y_0 с шагом 0,1 в пределах [0,1; 4]. Области в этих пределах, не заполненные какой-либо из четырёх перечисленных выше фигур, соответствуют финалу, не отвечающему ни одному из условий табл. 3.1.

Вариант 1.2*:* b_1 = 5, b_2 = 0,5, x_0 = 0,4285, y_0 = 1,1528. При малых запаздываниях (τ < 0,91) имеет место стационарное устойчивое состояние, в котором y не обращается в нуль: x = 0,4285, y = 1,1428. Начиная с τ > 0,91, становятся заметными колебания. Поскольку на фазовом портрете локальные максимумы (как и минимумы) макропеременных x, y совпадают, эти колебания можно интерпретировать как синфазные. С увеличением τ растет их амплитуда, а также возникший сдвиг фаз между ними (надёжно опознаваемый при τ = 1,07), причём фазовые портреты напоминают по форме «восьмёрку» до тех пор, пока τ ≤ 1,07. Её нижняя петля сокращается с ростом τ.

При увеличении τ от 1,07 до 1,08 x достигает нуля (рис. 3.1, а), нижняя петля «восьмёрки» утрачивается и форма предельного цикла становится существенно менее вытянутой.

Удвоение периода наступает в интервале 1,1 ≤ τ ≤ 1,105, а бифуркация, восстанавливающая прежний режим, происходит, когда 1,26 ≤ τ ≤ 1,27. Очередные удвоения периода имеют место соответственно, если 1,31 ≤ τ ≤ 1,32 и 1,34 ≤ τ ≤ 1,35, а при τ = 1,36 восстанавливается предельный цикл. По мере приближения τ к величине 1,57 минимальные значения макропеременных сливаются в точку (0,0).

Многократное наступление режима, когда y остаётся равным нулю, а x колеблется, вызывается значениями τ в следующих интервалах и точках: [1,58; 1,6], 1,62, 1,63, 1,67, 1,68, [1,69; 2,5]. В промежутках между этими интервалами и точками (при τ = 1,61, τ = 1,64) на фазовых портретах наблюдается возникновение пары вложенных петель предельного цикла с тенденцией к расширению фазовых траекторий (рис. 3.1, б). Значительно сильнее эта тенденция проявляется, когда τ = 1,66, а при τ = 1,68001 она приводит к хаотическому движению (рис. 3.1, в). Причём оно

непосредственно соседствует с тривиальным движением, когда $y = 0$ при $\tau = 1{,}68$.

Таблица 3.1

Критерии прекращения вычислений сюжета для различных комбинаций c_i

	Критерий прекращения вычислений							
	1	2	3	4	5	6	7	8
x	> 0	0	0	∞	const > 10^{-3}	const > 10^{-3}	≤ 10^{-3}	$t > t_{max}$
y	0	> 0	0	∞	const > 10^{-3}	const ≤ 10^{-3}	> 10^{-3}	
	Способ отображения на плоскости (x, y)							
I	$\bullet_1$	$\blacksquare_2$	$\circ_3$	Δ_4	$\square_5$	●		
II	●	■	○	Δ	□	●	■	

	Критерий прекращения вычислений					
	1	2	3	4	5	6
x	Любое	0	0	∞	const	$t > t_{max}$
y	0	const	∞	∞	const	
	Способ отображения на плоскости (x, y)					
III	○	○	○	Δ	□	
IV	○	■	■	Δ	□	
V	○	■	■	Δ	□	

Таблица 3.2

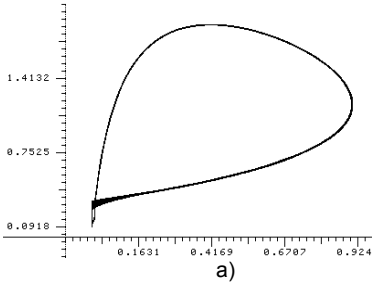
Пояснения к критериям прекращения вычислений

Символ	Комментарий
> 10^{-3}	На отрезке времени τ выполняется соотношение $x > 10^{-3}$ ($y > 10^{-3}$), что, вероятно, приведёт к тому, что направление сохранится
≤ 10^{-3}	На отрезке времени τ выполняется соотношение $x \le 10^{-3}$ ($y \le 10^{-3}$), что, вероятно, приведёт к тому, что направление угаснет
> 0	На отрезке времени τ выполняется соотношение $x > 0$ ($y > 0$), которое служит критерием существования научного направления
∞	Значение макропеременной превышает 10^{500}
$t > t_{max}$ = = 125	Длительность эволюции макропеременных превосходит установленное предельное значение t_{max}
const	На отрезке времени τ выполняется соотношение $\lvert(dx/dt)/x\rvert < 2 * 10^{-6}$ (или $\lvert(dy/dt)/y\rvert < 2 * 10^{-6}$), которое служит критерием установления статического режима в бинарной системе
0	На отрезке времени τ выполняется соотношение $x = 0$ ($y = 0$), которое служит критерием исчезновения научного направления

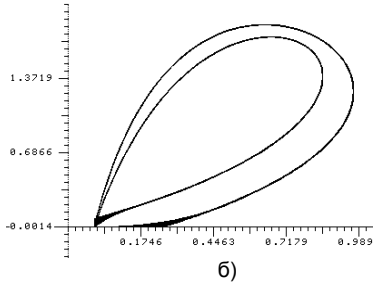
Таблица 3.3

Интерпретация условных обозначений, используемых на плоскостях инициально-финальных отображений

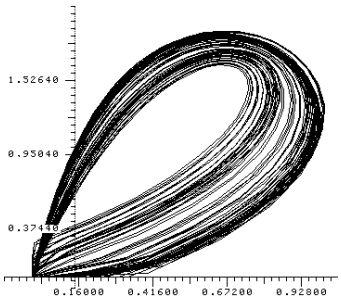
Номер критерия в табл. 3.1	Условное обозначение	Интерпретация «отображает на плоскости (x_0, y_0) областей начальных условий, при которых...»
1	● (заполненный кружок)	Этот символ используется только в *случаях* **I** и **II** и обозначает вероятную или фактическую ситуацию, в которой направление *X* сохраняется при исчезновении направления *Y*
2	■ (заполненный квадратик)	Направление *X* исчезает «при жизни» *Y*; в *случае* **II** это может также означать не вполне достоверное исчезновение *X* при не вполне достоверном существовании *Y*
3	○ (пустой кружок)	В финале эволюции оба научных направления исчезают (*случаи* **I**, **II**, **IV**, **V**) или как минимум исчезает направление *X* (*случай* **III**)
4	Δ (пустой треугольник)	Происходит рост одного или обоих направлений без видимого предела
5	□ (пустой квадратик)	В бинарной системе устанавливается статический режим, в котором ни одно из направлений, вероятно, не исчезает (*случаи* **I**-**II**) или пока не исчезло (*случаи* **III**-**V**)



а)



б)



в)

Рис. 3.1. Фазовые траектории системы (6) для *варианта* 1.2 при различных величинах времени запаздывания: а – τ = 1,080; б – τ = 1,64; в – τ = 1,68001

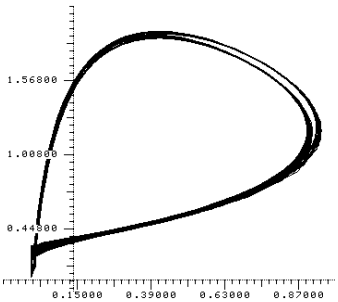


Рис. 3.2. Фазовая траектория системы (6) для *варианта* 1.3 при τ = 1,080

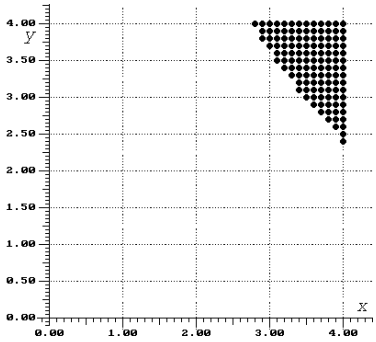


Рис. 3.3. Инициально-финальное отображение системы (6) для *случая* I (c_1 = 1, c_2 = c_3 = = c_4 = -1) при b_1 = b_2 = 0,5 для величины времени запаздывания τ = 0,1000

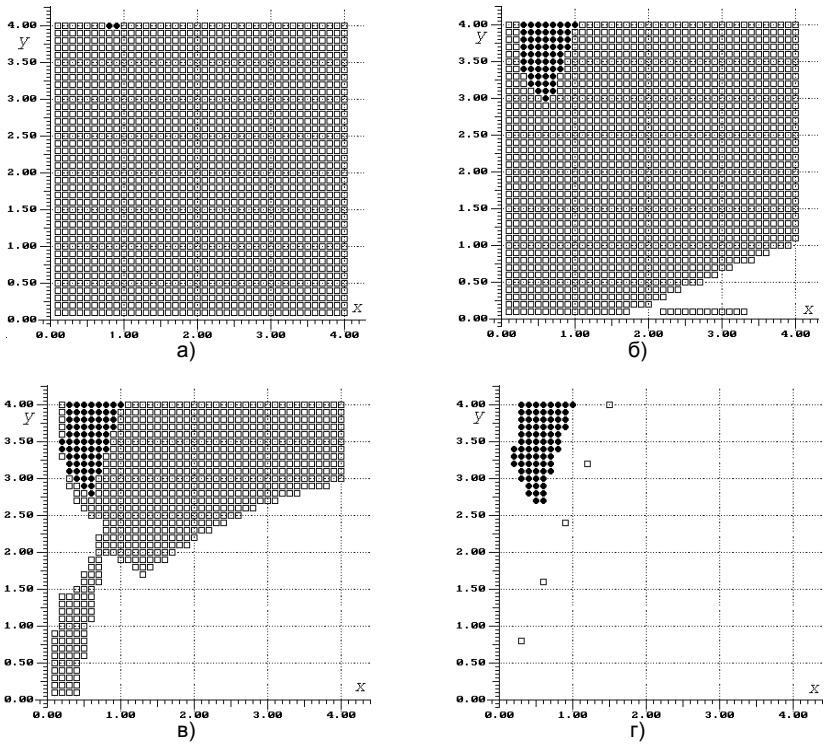


Рис. 3.4. Инициально-финальные отображения системы (6) для *случая* I (c_1 = 1, c_2 = = c_3 = c_4 = -1) при b_1 = 5, b_2 = 0,5 для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,4000; б – 0,7000; в – 0,8000; г – 0,9000

Вариант 1.3*:* b_1 = 5, b_2 = 0,5, x_0 = 0,4285, y_0 = 0,1528. Чтобы оценить роль начальных условий, в рассмотренном *варианте* 1.2 начальное значение *y* уменьшено на 1,0.

То же самое устойчивое стационарное состояние имеет место при $\tau < 0{,}805$. Но уже при $\tau = 0{,}806$ *x* достигает нуля, поэтому форма предельного цикла подобна изображённой на рис. 3.2. Этот – ускоренный по сравнению с предыдущим вариантом – переход к динамическому режиму согласуется с эволюцией формы областей на ИФО, представленных на рис. 3.3 и 3.4.

Как и в *варианте* 1.2, удвоение периода наступает в интервале $1{,}1 \le \tau \le 1{,}105$, а бифуркация, восстанавливающая прежний режим, происходит, когда $1{,}26 \le \tau \le 1{,}27$. Очередные удвоения периода имеют место соответственно, если $1{,}31 \le \tau \le 1{,}32$ и $1{,}34 \le \tau \le 1{,}35$.

В отличие от *варианта* 1.2, предельный цикл восстанавливается при $\tau = 1{,}37$, а в интервале значений τ (1,35; 1,37) наблюдается более сложная динамика. Но и здесь по мере приближения τ к величине 1,57 минимальные значения макропеременных сливаются в точку (0,0). Зато режим, когда *y* остается равным нулю, а *x* колеблется, наступает единожды и сохраняется в широком диапазоне величин τ [1,58; 2,3].

Вариант 1.4*:* b_1 = 10, b_2 = 0,5, x_0 = 0,28, y_0 = 1,5. Подобно *варианту* 1.2 при малых запаздываниях ($\tau \le 0{,}6$) имеет место устойчивое стационарное состояние, в котором *y* не обращается в нуль: *x* = 0,25, *y* = 1,5, а с ростом запаздывания ($\tau = 0{,}7$) становятся заметными синфазные колебания макропеременных. С увеличением τ растёт амплитуда этих колебаний, возникает и плавно нарастает сдвиг фаз (заметный уже при $\tau = 0{,}8$). Фазовые портреты имеют форму «восьмёрки» в диапазоне $0{,}7 \le \tau \le 0{,}86$ (например, рис. 3.5, а для $\tau = 0{,}8$). Её нижняя петля сокращается с ростом τ.

При увеличении τ от 0,86 до 0,87 *x* достигает нуля (рис. 3.5, б), нижняя петля «восьмерки» утрачивается и форма предельного цикла становится существенно менее вытянутой.

При $\tau = 1{,}5$ конфигурация цикла напоминает треугольник (рис. 3.5, в). А с переходом τ от 1,5 к 1,6 *y* достигает нуля. Одновременно предельный цикл становится близким по виду к изображённому на рис. 3.5, б.

Признаки удвоения периода, различимые на фазовом портрете, появляются в интервале $1{,}76 \le \tau \le 1{,}77$. По мере увеличения τ на портретах наблюдается заметное расширение фазовых траекторий (рис. 3.5, г), возможно обусловленное последующими актами удвоения. В пользу такого предположения говорит вид портретов для больших значений τ, типичный для хаотической динамики (рис. 3.5, д). Характерно, что, начиная с того момента, когда макропеременная *y* начинает достигать нуля ($\tau = 1{,}6$),

область значений *x*, где это имеет место, расширяется с увеличением запаздывания (рис. 3.5, д).

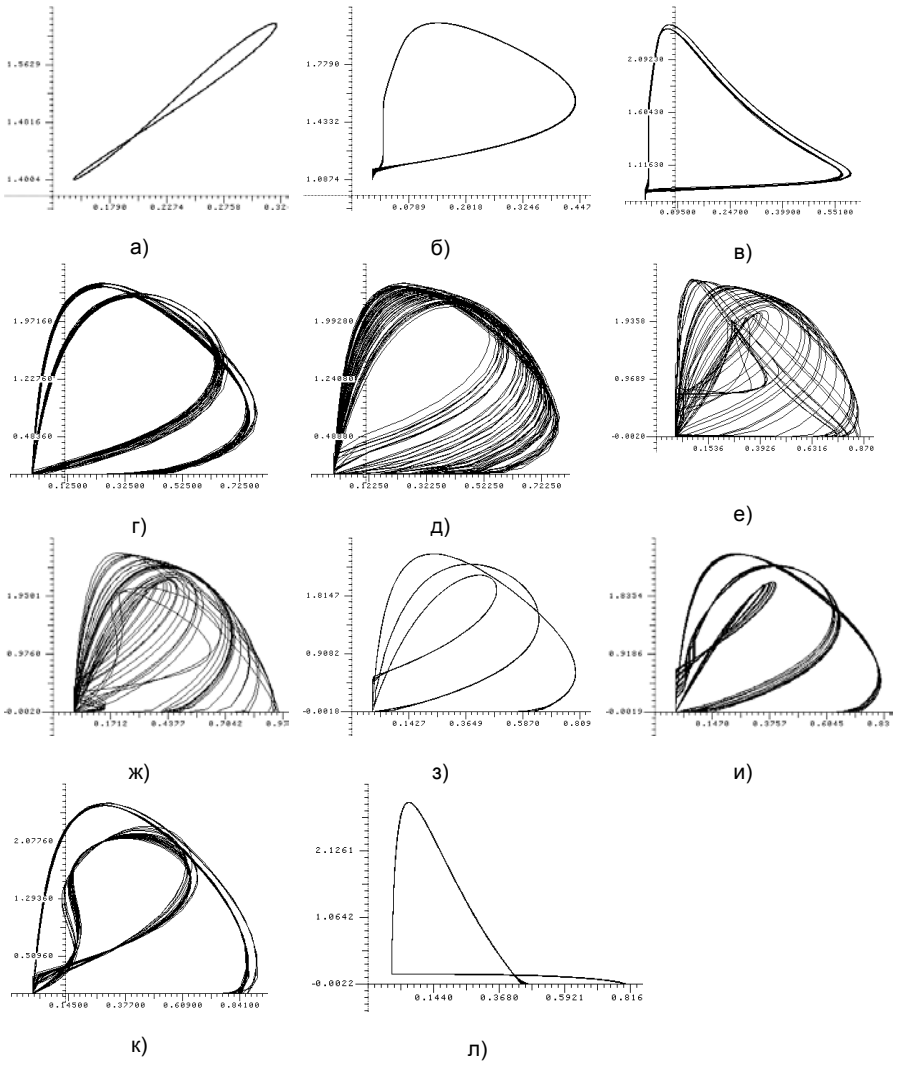


Рис. 3.5. Фазовые траектории системы (6) для *варианта* 1.4 при различных величинах времени запаздывания: а – τ = 0,800; б – τ = 0,870; в – τ = 1,500; г – τ = 1,840; д – τ = = 1,890; е – τ = 2,060; ж – τ = 2,310; з – τ = 1,930; и – τ = 2,000; к – τ = 2,210; л – τ = 2,570

Общую картину динамики макропеременных при $\tau > 1{,}92$ отличает явление «чередования сложности движения», характерное – в менее яркой форме – и для *вариантов* 1.2, 1.3. Поясняя содержание этого понятия, введём четыре (условных) градации сложности динамики: тривиальную (когда $y = 0$), простую, относительно простую и относительно сложную. Упомянутое чередование сложности движения по мере роста τ проявляется в четырёх типах двусторонних переходов: относительно сложное ↔ относительно простое, относительно сложное ↔ простое, простое ↔ относительно простое, простое ↔ тривиальное.

Относительно сложная динамика наблюдается в следующих интервалах величины запаздывания τ и при её значениях: 1,92, [1,94; 1,99], [2,01; 2,15], [2,25; 2,31], 2,35, 2,49. Типичными фазовыми портретами могут служить рис. 3.5, д, е, ж, когда соответственно τ = 1,89, 2,06, 2,31. Заметим, что в структуре рис. 3.5, е просматриваются элементы нескольких простых аттракторов.

Относительно простая динамика вызывается значениями τ в нескольких интервалах и точках: 1,93, 2,0, [2,2; 2,24] 2,4. Примерами фазовых портретов здесь служат рис. 3.5, з, и, к, когда соответственно τ = 1,93, 2,00, 2,21.

Главные черты простой динамики передаёт фазовый портрет на рис. 3.5, л (τ = 2,57). Подобные ему имеют место при величинах τ, принадлежащих следующим интервалам и точкам: [2,32; 2,34], [2,36; 2,39], [2,41; 2,48], 2,52, 2,53, 2,57, 2,59, 2,7.

Тривиальная динамика ($y = 0$) наблюдается при наличии таких величин τ: [2,54; 2,56], 2,58, [2,6; 2,69], [2,71; 2,85].Для *варианта* 1.1, когда $b_1=b_2=0{,}5$, из структуры фазового портрета (рис. 1,а в статье В.В. Качака и Е.С. Мчедловой [84]) вытекает, что при $\tau = 0$ инициально-финальное отображение должно иметь вид квадрата, сплошь покрытого заполненными кружками (критерий № 1 или 6 из табл. 3.1 – продуктивность направления *X* со временем устанавливается, а *Y* обращается или обратится позднее в нуль). Однако по данным вычислительного эксперимента плоскость ИФО остаётся пустой, т.е. финалы эволюции не отвечают ни одному из критериев, перечисленных в табл. 3.1.

Чтобы объяснить это противоречие, примем во внимание, что научное направление *Y* угасает, приближаясь к нулю асимптотически ($y \to 0$ при $t \to +\infty$). Следовательно, ни один из критериев (табл. 3.1) исчезновения направления *Y* не может выполниться за конечное время расчёта. Поэтому пустую плоскость отображения следует трактовать как соответствующую необратимому разрушению научного направления *Y*.

С увеличением запаздывания (τ = 0,1) асимптотический характер изменения $y(t) \to 0$ нарушается и в верхнем правом углу ИФО возникает область, соответствующая развитию направления *X* и угасанию *Y* (область изображена заполненными кружками – рис. 3.3).

Таким образом, судя по временным реализациям и структуре ИФО при $\tau \in [0;\ 0{,}9]$, направление *Y* деградирует, а направление *X* сохраняется.

Для *варианта* 1.2 и 1.3, когда b_1 = 5, b_2 = 0,5, построение и анализ ИФО показывают следующее: пока запаздывание $\tau < 0{,}3$, оба направления сосуществуют в статическом режиме. Когда $\tau \in (0{,}3;\ 0{,}4)$, возникает область начальных условий (вблизи оси *Oy*, но вдали от оси *Ox*), попадание в которую влечёт фактическое или вероятное исчезновение направления *Y*, но сохранение *X* (рис. 3.4, а). При росте запаздывания ($\tau > 0{,}4$) размер этой области растёт.

Затем, когда $\tau \in (0{,}6;\ 0{,}7)$, возникает пустая область начальных условий (тоже вблизи оси *Oy*, вдали от оси *Ox*), попадание в которую, судя по всему, приводит к режиму незатухающих колебаний продуктивности направлений *Y* и *X* (рис. 3.4, б). Эта область увеличивается при $\tau > 0{,}7$. При $\tau \in (0{,}7;\ 0{,}8)$ возникает вторая пустая область (вблизи оси *Oy*, вдали от оси *Ox*) – рис. 3.4, в. При $\tau \in (0{,}8;\ 0{,}9]$ они сливаются, заполняя всю плоскость ИФО, за исключением медленно расширяющейся области, попадание в которую влечёт фактическое или вероятное исчезновение направления *Y* при сохранении *X*.

При τ = 0,9 на ИФО от первоначально доминировавшей области, соответствующей сосуществованию научных направлений в статическом режиме, остаётся лишь пять символов (незаполненных квадратиков). Согласно зрительному впечатлению символы располагаются на прямой (14) $y = x(c_3 + b_1) / (c_1 + b_2) = 2{,}6(6)x$ (сплошь покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями). Очевидно, попадание в такую бесконечно узкую область начальных условий имеет бесконечно малую вероятность. Заметим, что условие существования другой прямой (15), покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями, не выполняется (рис. 3.4, г).

Для *варианта* 1.4, когда b_1=10, b_2=0,5, преобразование структуры ИФО аналогично *вариантам* 1.2 и 1.3: пока $\tau \le 0{,}63$, направления сосуществуют в статическом режиме. При переходе от τ=0,63 к τ=0,64 он «сдаёт позиции» режиму незатухающих колебаний продуктивности направлений *X* и *Y*, возникающему, если начальные условия лежат вблизи оси *Oy*. При τ = 0,65 на ИФО область,

соответствующая статическому режиму, коллапсирует, приобретая вид прямой, совпадающей с прямой (14) $y = x \cdot (c_3 + b_1) / (c_1 + b_2) = 6x$ (покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями). Эта конфигурация при росте запаздывания, по крайней мере до τ=0,9, не претерпевает изменений. Условие существования прямой (15) по-прежнему не выполняется.

Сопоставляя серии фазовых портретов и инициально-финальных отображений, относящихся к *вариантам* 1.1, 1.2, 1.3 *случая* **I**, можно сделать ряд выводов.

1) Наличие запаздывания вызывает утрату устойчивости стационарного состояния, что позволяет возникнуть колебательному процессу (например, с периодом T), не имеющему места, если $\tau = 0$ [84], а также влечёт и каскады удвоения периода колебаний ($T \to 2T$), и переход $2T \to T$.

2) Наличие запаздывания способно повлечь как обратимое (во времени t) падение до нуля обеих макропеременных x, y, так и необратимое падение y.

3) Взаимодействие макропеременных x, y при варьировании запаздывания демонстрирует большее разнообразие типов динамики, чем в случае, когда $y = 0$.

4) *Варианты* 1.2-1.4 при изменении запаздывания в некоторых пределах допускают явление «чередования сложности движения», при этом возможна хаотическая динамика или напоминающая её.

5) Увеличение параметра b_1, т.е. усиление ограничивающего фактора для макропеременной x, отрицательно влияющей на y, повышает устойчивость y по отношению к росту запаздывания, обеспечивая большее разнообразие типов движения.

6) Варьирование начального условия для макропеременной y отражается как на бифуркационных значениях времени запаздывания, так и на структуре фазовых портретов для отдельных (но не всех) интервалов величин τ.

7) При $b_1 > 1$ (*варианты* 1.2-1.4) увеличение запаздывания τ ведёт к трансформации строения инициально-финальных отображений: для достаточно больших величин τ область начальных условий, соответствующая сосуществованию научных направлений X и Y в статическом режиме, вырождается в прямую, совпадающую с прямой (14), покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями. Тем самым место этой области на ИФО занимают режим незатухающих колебаний и – в меньшей степени – режим угасания Y. При $b_1 < 1$ (*вариант* 1.1) запаздывание не влияет на вид ИФО.

Выводы о колебаниях показателей продуктивности x, y научных направлений согласуются с результатами других авторов,

изучавших динамику в моделях, которые не учитывают ограничение роста достижений и инерционность (см. модель творческого процесса, предложенную Г.Р. Иваницким, 1988, модель циклических процессов в обществе, предложенную Дж.У. Форрестером, 1995, и другие модели в книге Ю.М. Плотинского [133, с. 246-249]).

3.2. Случай конкурентных отношений c_i = -1

Когда развивающиеся направления *X* и *Y* конкурируют ($c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = -1$), имеют место следующие особенности:

Вариант 2.1*:* $b_1 = b_2 = 0{,}5$, $x_0 = 1{,}9$, $y_0 = 2{,}1$. При наличии запаздывания ($\tau \neq 0$), как и в случае его отсутствия ($\tau = 0$), необратимо превращается в нуль макропеременная с меньшими начальными условиями. Поскольку при $x = 0$ уравнение для y в (6) идентично уравнению для *x варианта* 1.1 при $y = 0$, то при варьировании запаздывания динамика установившегося движения макропеременной *y* полностью повторяет поведение *x* для *варианта* 1.1.

Вариант 2.2*:* $b_1 = 1{,}5$, $b_2 = 1{,}9$, $x_0 = 0{,}1$, $y_0 = 2{,}0$. Пока запаздывание относительно мало, имеет место стационарное устойчивое состояние: $x = 0{,}486$, $y = 0{,}27$. Как и в *варианте* 1.2, начиная с некоторого значения запаздывания ($\tau = 1{,}56$), становятся различимы синфазные колебания макропеременных *x*, *y*, амплитуда которых растёт с увеличением τ.

С повышением величины τ от 1,93 до 1,94 происходит бифуркация удвоения периода. Дальнейший рост запаздывания разводит совпадавшие ранее максимумы макропеременных, т.е. нарушает синфазность колебаний. Форма фазового портрета при $\tau = 2{,}06$ напоминает контур бабочки (рис. 3.7, а). Когда $\tau = 2{,}07$, снова наступает бифуркация удвоения периода (рис. 3.7, б). Как и в *вариантах* 1.2, 1.3, наблюдается бифуркация, восстанавливающая прежний режим (при $2{,}15 < \tau < 2{,}16$). Трансформации фазового портрета по мере роста τ состоят также и в том, что при $\tau = 2{,}15$ возникают промежутки эволюции макропеременных, в которых $y = 0$, а при $\tau = 2{,}85$ $x = 0$ (рис. 3.7, в). Очередная бифуркация удвоения периода наступает в интервале $2{,}85 < \tau < 2{,}90$, а парная ей бифуркация, возвращающая к прежнему режиму, – при $3{,}6 < \tau < 3{,}7$. Заметим, что с увеличением τ промежутки эволюции, где *x* либо *y* равны нулю, расширяются, что видно из сравнения рис. 3.7, в с рис. 3.7, г и рис. 3.7, д, соответствующими $\tau = 3{,}7$ и 3,9.

Вариант 2.3*:* $b_1 = b_2 = 1{,}5$, $x_0 = 0{,}1$, $y_0 = 2{,}0$. Чтобы оценить роль отличия в параметрах ограничивающей нелинейности, в рассмотренном *варианте* 2.2 эти параметры взяты одинаковыми, а начальные условия – теми же.

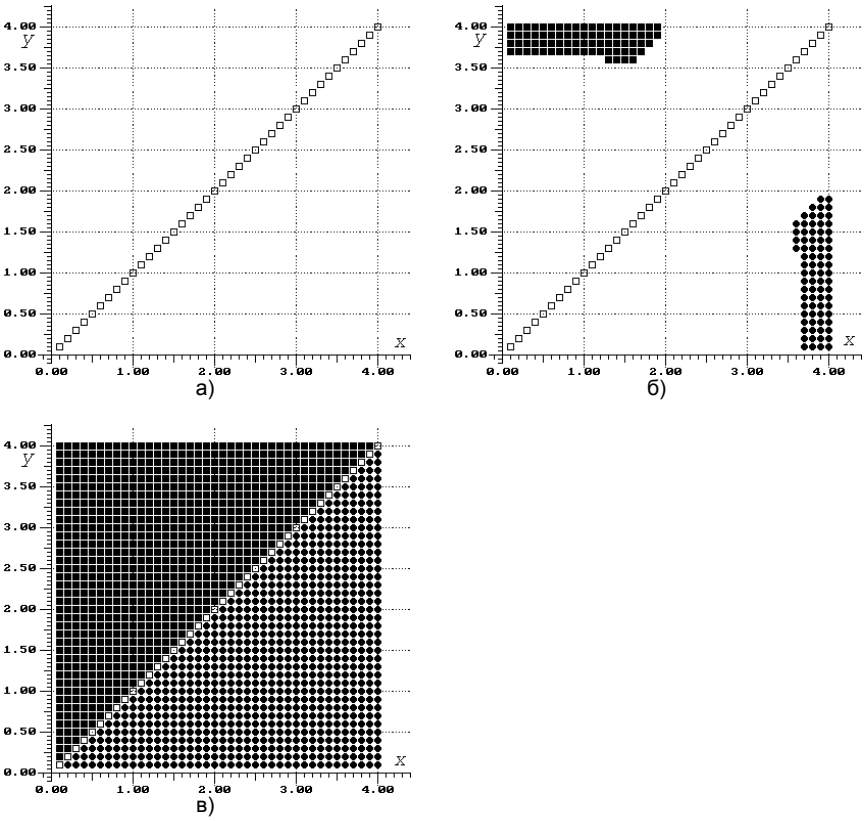


Рис. 3.6. Инициально-финальные отображения системы (6) для *случая* II ($c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = -1$) при $b_1 = b_2 = 0{,}5$ для различных величин времени запаздывания τ:
а – 0,0005 (нулевое запаздывание); б – 0,2000; в – 0,9000

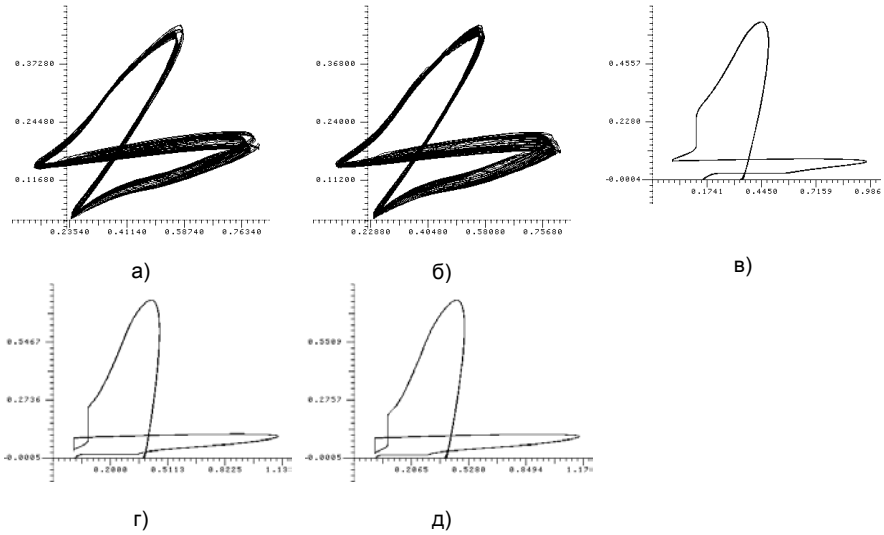


Рис. 3.7. Фазовые траектории системы (6) для *варианта* 2.2 при различных величинах времени запаздывания: а – τ = 2,060; б – τ = 2,070; в – τ = 2,850; г – τ = 3,700; д – τ = 3,900

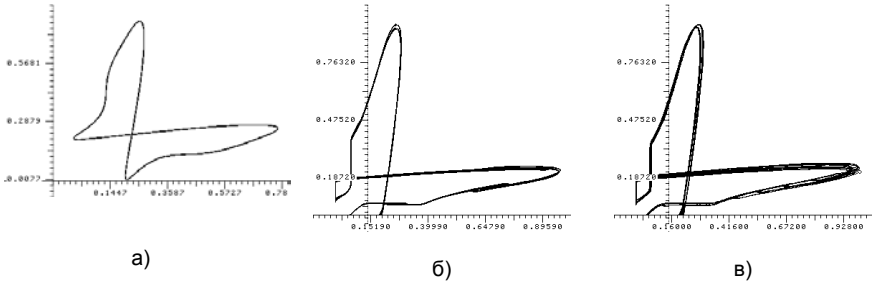


Рис. 3.8. Фазовые траектории системы (6) для *варианта* 2.3 при различных величинах времени запаздывания: а – τ = 2,190; б – τ = 3,250; в – τ = 3,297

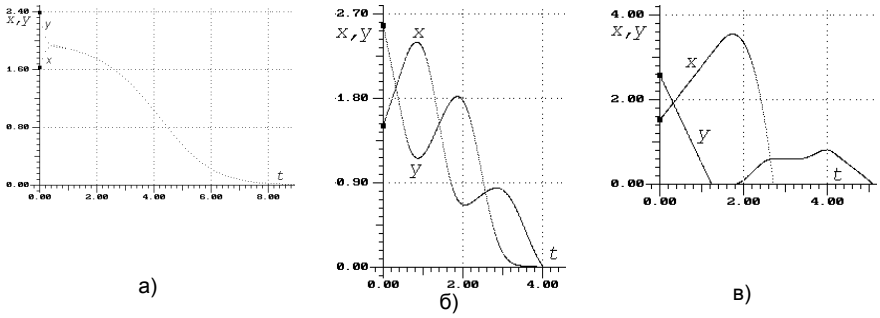


Рис. 3.9. Решение системы уравнений (6) для *варианта* 3.1 при различных величинах времени запаздывания τ: а – 0,1550; б – 0,5350; в – 1,435

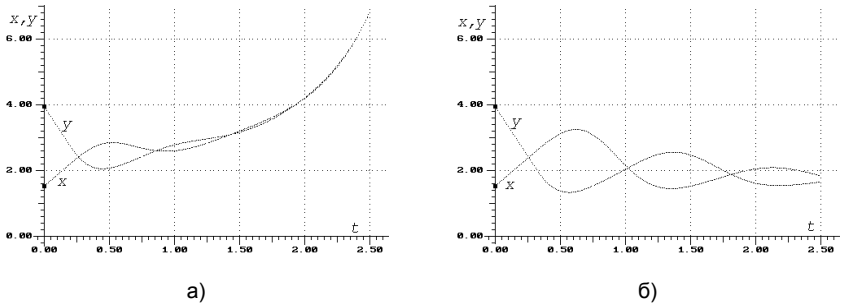


Рис. 3.10. Решение системы уравнений (6) для *варианта* 3.2 при различных величинах времени запаздывания τ: а – 0,2205; б – 0,3405

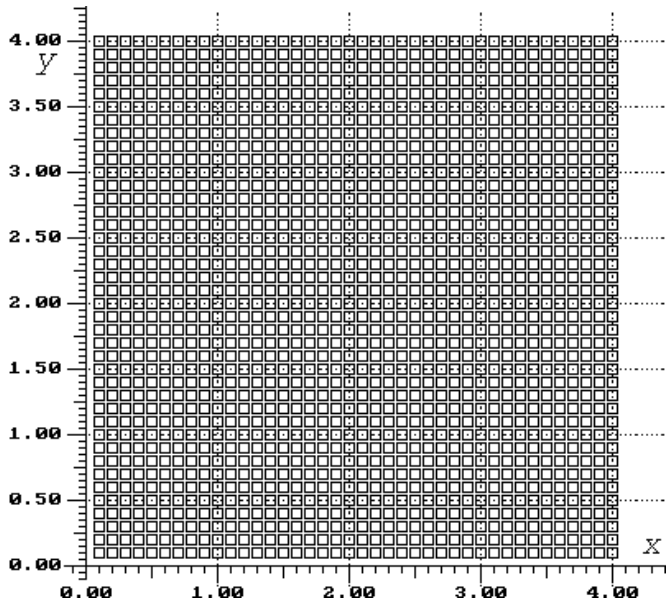


Рис. 3.11. Инициально-финальное отображение системы (6) для *случая* II ($c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = -1$) при $b_1 = 1{,}5$, $b_2 = 1{,}9$ для величины времени запаздывания $\tau = 0{,}0005$ (нулевое запаздывание)

Стационарные значения макропеременных составляют $x = y = 0{,}4$. Режим синфазных колебаний надежно идентифицируется при $\tau = 1{,}57$. Первая бифуркация удвоения периода имеет место, когда $2{,}00 < \tau < 2{,}01$, т.е. при большем – по сравнению с *вариантом* 2.2 – запаздывании. Из-за того, что $b_1 = b_2$, участки фазовой траектории, где $x = 0$ или $y = 0$, формируются почти одновременно (рис. 3.8, а) при $\tau = 2{,}19$ (в отличие от *варианта* 2.2 при $\tau = 2{,}15$). Рост запаздывания вызывает появление петель (при $2{,}55 < \tau < 2{,}65$) и увеличение их размера (рис. 3.8, б для $\tau = 3{,}25$) вблизи удлиняющихся участков, где $x = 0$ или $y = 0$. Эти петли смыкаются, когда $\tau = 3{,}297$ (рис. 3.8, в), и этот фазовый портрет типичен вплоть до $\tau = 6{,}6$.

Чтобы выяснить детали совместного влияния начальных условий и запаздывания на финал эволюции направлений X и Y, обратимся к инициально-финальным отображениям при различных значениях τ.

Для *варианта* 2.1, когда $b_1 = b_2 = 0{,}5$, из структуры фазового портрета (рис. 3, а [84]) вытекает, что при $\tau = 0$ инициально-финальное отображение должно содержать три области. Одна из них есть прямая, соответствующая статическому режиму – седловой точке (на рис. 3.6, а прямая изображена пустыми квадратиками). Она совпадает с прямой (14) $y = x$, покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями. Вторая и третья области лежат выше и ниже этой прямой. Они соответствуют деградации направления X либо Y. Однако, по данным вычислительного эксперимента (рис. 3.6, а), эти области остаются пустыми, т.е. финалы в них не отвечают ни одному из критериев, описанных в табл. 3.1.

Как и прежде, это противоречие можно объяснить асимптотическим характером стремления одного из научных направлений к нулю при $t \to +\infty$. С увеличением запаздывания ($\tau = 0{,}2$) этот асимптотический характер нарушается: в верхнем правом углу плоскости ИФО появляются соответствующие области (рис. 3.6, б). Их размер становится всё значительнее, и при $\tau = 0{,}4$ они заполняют нижнюю и верхнюю части плоскости ИФО (рис. 3.6, г). Свойства решений на прямой (14) не изменяются, по крайней мере, до $\tau = 0{,}9$. Условия существования прямой (15) не выполняются.

Для *варианта* 2.2, когда $b_1 = 1{,}5$, $b_2 = 1{,}9$, при малых запаздываниях (по крайней мере, до $\tau = 1{,}3$) ИФО, как и следует из рис. 3, *а* [84], содержит лишь одну область, соответствующую статическому режиму сосуществования обоих направлений (см. рис. 3.11). Более сложные динамические режимы (и трансформация строения ИФО) возникают при больших величинах τ, причём на ИФО возникает асимметричная (поскольку $b_1 \neq b_2$) пустая область

начальных условий (см. рис. 3.13, а). По мере дальнейшего увеличения запаздывания (τ = 1,345) область, соответствующая статическому режиму сосуществования обоих направлений, «прижимается» к слабо искривлённым участкам пары фазовых траекторий, проходящих вблизи точек (0,65; 0), (0; 0,55) и устойчивого узла (рис. 3.13, б). Узел хорошо различим на рис. 3, *б* [84].

Заметим, что условие существования прямой (14) $y = 0{,}5(5) \cdot x$, покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями, выполняется, а условие существования прямой (15), проходящей через точки (0; 0,53) и (0,66; 0), – нет. Заинтересованный взгляд способен увидеть близость этих точек к найденным из рис. 3.13, б точкам (0; 0,55), (0,65; 0), около которых проходят слабо искривлённые участки пары фазовых траекторий. Такое совпадение естественно трактовать как верификационный факт.

Для *варианта* 2.3, когда $b_1 = b_2 = 1{,}5$, подобно *варианту* 2.2 при малых запаздываниях (по крайней мере, до τ = 0,9) ИФО содержит лишь одну область, соответствующую установлению статического режима сосуществования обоих направлений (рис. 3.12). Вполне объяснимое отличие (связанное с тем, что $b_1 = b_2$) состоит в том, что при больших величинах τ на ИФО возникает симметричная пустая область начальных условий (рис. 3.14, а). С увеличением запаздывания (τ = 1,345) область, соответствующая статическому режиму сосуществования X и Y, «прижимается» к слабо искривлённым участкам пары фазовых траекторий, проходящих теперь вблизи точек (0,6; 0), (0; 0,6) и устойчивого узла (рис. 3.14, б).

Как и в *варианте* 2.2, условие существования прямой (14) $y = x$ выполняется, а прямой (15), проходящей через точки (0; 0,67) и (0,67; 0), – нет. Эти точки близки к точкам (0,6; 0), (0; 0,6), найденным из рис. 3.14, б.

Сопоставляя серии фазовых портретов, относящихся к *вариантам* 2.1, 2.2, 2.3, можно сделать ряд выводов:

1) Вывод «1» для *случая* **I** справедлив и для *случая* **II**.

2) Наличие запаздывания способно повлечь обратимое (во времени t) падение до нуля обеих макропеременных x, y.

3) Взаимодействие макропеременных x, y при варьировании запаздывания демонстрирует большее разнообразие типов динамики, чем в случае, когда $x = 0$.

4) *Вариант* 2.2 при изменении запаздывания в некоторых пределах допускает явление «чередования сложности движения».

5) Увеличение параметра b_2 и создание неравенства $b_1 \neq b_2$ обеспечивают большее разнообразие бифуркационного поведения.

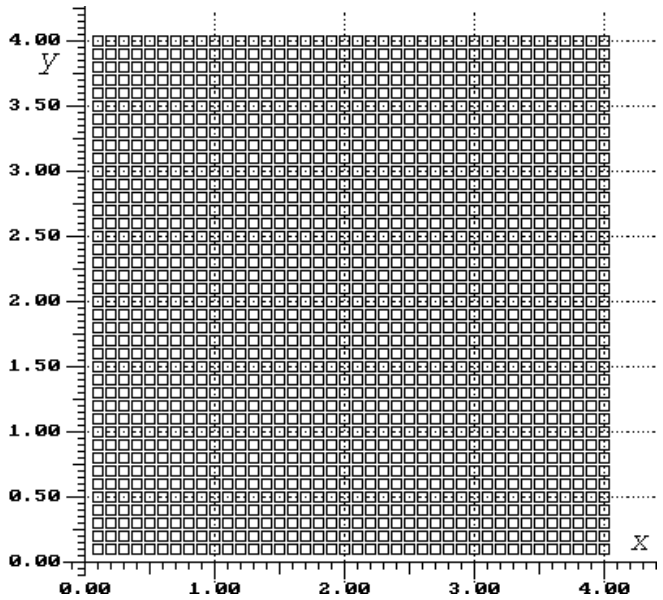
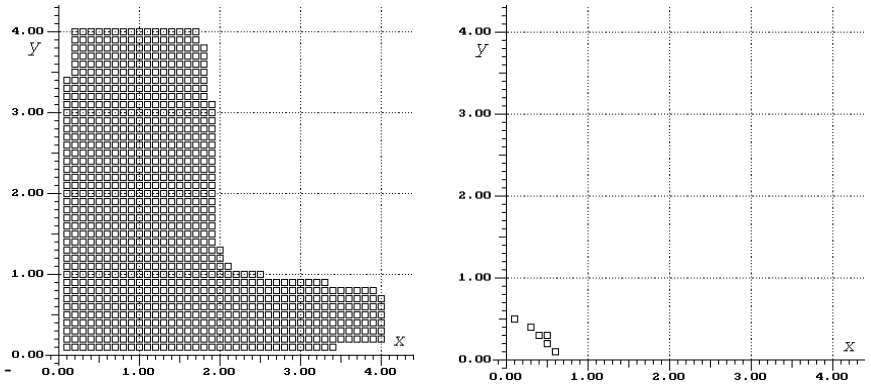
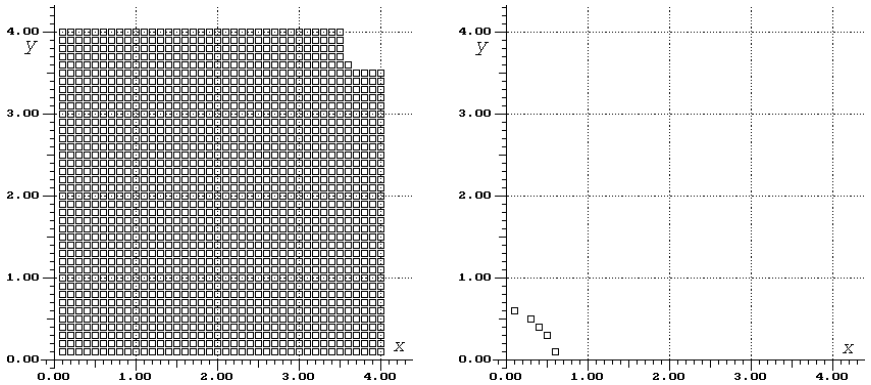


Рис. 3.12. Инициально-финальное отображение системы (6) для *случая* II ($c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = -1$) при $b_1 = b_2 = 1{,}5$ для величины времени запаздывания $\tau = 0{,}0005$
(нулевое запаздывание)



а) б)

Рис. 3.13. Инициально-финальное отображение системы (6) для *случая* II ($c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = -1$) при $b_1 = 1{,}5$, $b_2 = 1{,}9$ для различных величин времени запаздывания τ: а – 1,3050; б – 1,3450



а) б)

Рис. 3.14. Инициально-финальное отображение системы (6) для *случая* II ($c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = -1$) при $b_1 = b_2 = 1{,}5$ для различных величин времени запаздывания τ: а – 1,3000; б – 1,3450

6) При $b_2 > 1$ (*варианты* 2.2, 2.3) увеличение запаздывания ведёт к трансформации строения инициально-финальных отображений: для достаточно больших величин τ область начальных условий, соответствующая сосуществованию научных направлений *X* и *Y* в статическом режиме, «прижимается» к участкам пары фазовых траекторий, близким к устойчивому узлу и обладающим малой кривизной. Её место на ИФО занимает режим незатухающих колебаний продуктивности. При $b_2 < 1$ (*вариант* 2.1) запаздывание не влияет на вид инициально-финального отображения.

Как подсказывает наша интуиция, эти участки фазовых траекторий соответствуют условному локальному минимуму некоторой потенциальной функции, рассматриваемой на подмножестве точек плоскости *xOy*, задаваемом уравнением прямой $y = k \cdot x + \text{const}$, пересекающей один из участков.

3.3. Случай дополняющих отношений $c_i = 1$

Когда оба направления «затухающие», а их взаимное влияние положительно ($c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 1$), то условие существования прямой (14), покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями, выполняется, а прямой (15) – нет, поскольку предполагается, что параметры ограничения развития $b_i > 0$. Здесь имеют место следующие особенности.

Вариант 3.1*:* $b_1 = b_2 = 0{,}5$, $x_0 = 1{,}5$, $y_0 = 2{,}6$. Как и в случае $\tau = 0$ [84], сохраняется склонность научных направлений к падению продуктивности (см. рис. 6, а в [84]). Но наличие запаздывания τ (формально нормированное к $1/|c_2|$) приводит к возникновению противофазных затухающих колебаний макропеременных *x* и *y*. Их амплитуды возрастают с увеличением запаздывания, становясь различимыми на графике при $\tau = 0{,}155$ (рис. 3.9, а). Благодаря колебательной динамике характеристики продуктивности *x*, *y* достигают нулевых значений не одновременно. Из-за роста амплитуд колебаний при увеличении τ (например, при $\tau = 0{,}535$ на рис. 3.9, б) момент достижения нуля, т.е. касания графиком оси абсцисс в точке минимума продуктивности, наступает всё раньше и раньше (рис. 3.9, в). А так как колебания противофазны, то первым достичь нуля продуктивности может любое из направлений вне зависимости от соотношения их стартовых условий развития. После достижения нулевого значения макропеременная способна вновь возрасти, однако в ходе дальнейшей эволюции величины *x*, *y* необратимо становятся равными нулю (рис. 3.9, в).

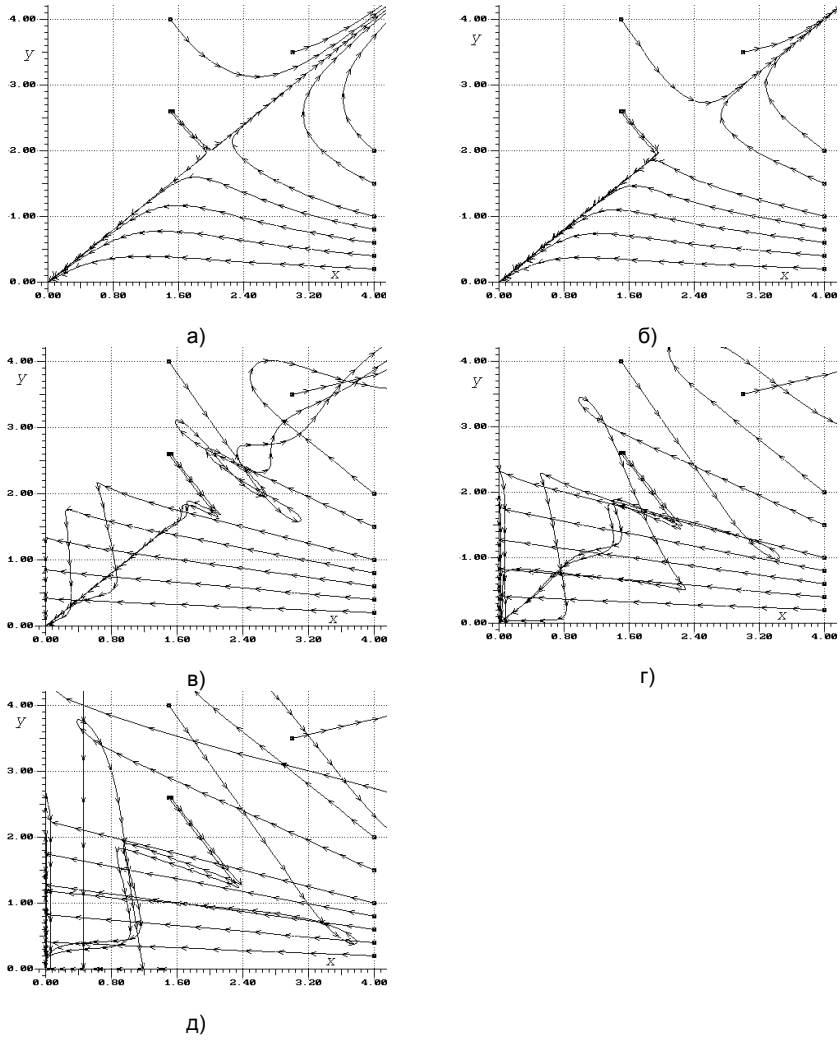


Рис. 3.15. Структура фазового пространства системы уравнений (6) для *случая* III (c_1 = = c_2 = c_3 = c_4 = 1) при b_1 = b_2 = 0,5 для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,0005 (нулевое запаздывание); б – 0,1000; в – 0,3000; г – 0,4000; д – 0,5000

Вариант 3.2*:* $b_1 = b_2 = 0{,}5$, $x_0 = 1{,}525$, $y_0 = 2{,}6$. Если время запаздывания не превышает 0,0085, то, как и в случае $\tau = 0$ (см. рис. 6, б в [84]), сохраняется склонность научных направлений к кооперативному увеличению продуктивности каждого из них. Но при достижении запаздыванием послебифуркационного значения $\tau = 0{,}0105$ эта склонность меняется на противоположную. В этом случае эволюция макропеременных подобна изображенной на рис. 6, а в [84]. Рост запаздывания приводит к тем же эффектам, что характерны для *варианта* 3.1.

Вариант 3.3*:* $b_1 = b_2 = 0{,}5$, $x_0 = 1{,}5$, $y_0 = 4{,}0$. В противоположность *варианту* 3.2 с ростом запаздывания сначала возникают колебания макропеременных, когда $\tau = 0{,}2205$ (рис. 3.10, а), а потом (при $\tau = 0{,}3405$) тенденция к развитию научных направлений сменяется тенденцией к их затуханию (рис. 3.10, б).

Вариант 3.4*:* $b_1 = b_2 = 0{,}5$, $x_0 = 3{,}0$, $y_0 = 3{,}5$. В отличие от *варианта* 3.3, колебания макропеременных обнаруживаются на графике при $\tau = 0{,}1605$. Но при дальнейшем росте τ смены тенденций, присущей *варианту* 3.3, не наблюдается. Эволюция научных направлений подобна изображённой на рис. 3.10, а.

Анализ хода временных зависимостей макропеременных x, y целесообразно дополнить построением структуры разбиений проекции фазового пространства на траектории при разных запаздываниях. На фазовых портретах (рис. 3.15, а-д) траектории, начинающиеся в точках, которые лежат над диагональю $x = y$, соответствуют *вариантам* 3.1-3.4.

Пока величина τ мала (рис. 3.15, а), фазовый портрет имеет тот же вид, что и структура разбиений фазовой плоскости на траектории на рис. 5, б в статье [84]. При $\tau = 0{,}1$ (рис. 3.15, б) траектория, соответствующая *варианту* 3.2, становится нисходящей (угасание научных направлений). При $\tau = 0{,}3$ (рис. 3.15, в) все траектории отражают колебательный характер эволюции X, Y. При $\tau = 0{,}4$ (рис. 3.15, г) траектория, соответствующая *варианту* 3.3, становится нисходящей. Рост τ, вызывая увеличение амплитуд колебаний x, y, приводит к образованию фазовых траекторий в форме петель (рис. 3.15, д).

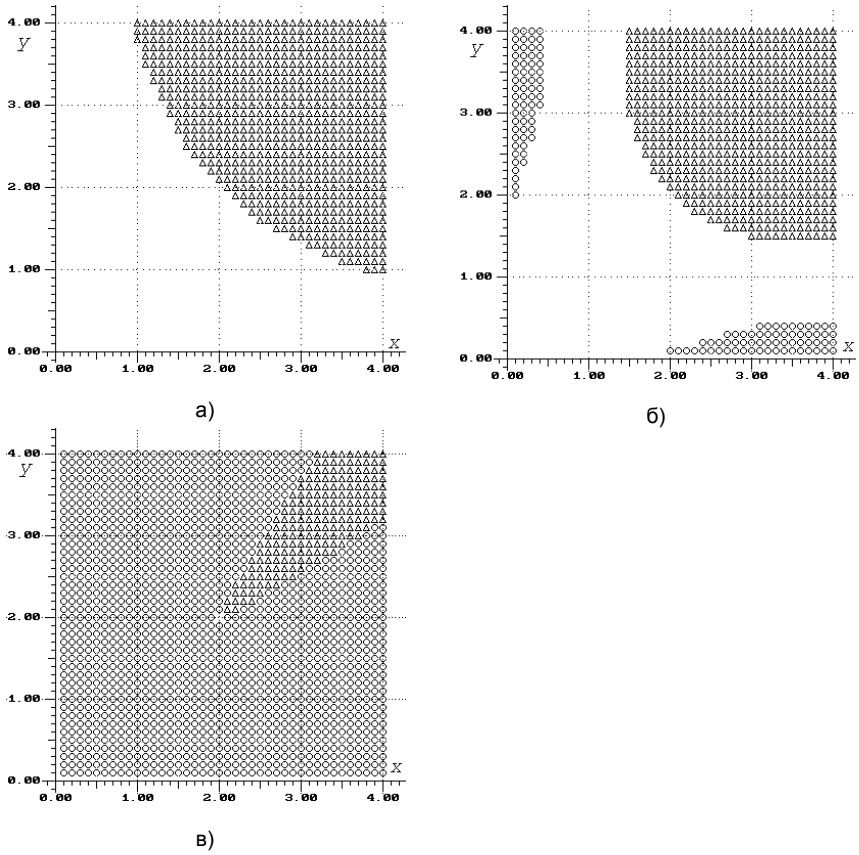


Рис. 3.16. Инициально-финальные отображения системы (6) для *случая* III ($c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 1$) при $b_1 = b_2 = 0{,}5$ для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,0005 (нулевое запаздывание); б – 0,3000; в – 0,9000

Обобщая содержание упоминавшихся фазовых портретов, можно утверждать: при наличии запаздывания, траектории, начинающиеся достаточно далеко от диагонали, колеблются поперек неё, быстро увеличивая размах, но вдоль диагонали они удаляются от начала координат не столь быстро. В итоге траектория касается одной из осей координат и научные направления *X*, *Y* угасают.

Чтобы в деталях выяснить совместное влияние начальных условий и запаздывания на финал эволюции научных направлений, обратимся к серии рисунков, на которых изображены инициально-финальные отображения при различных значениях τ.

Для варианта, когда $b_1 = b_2 = 0{,}5$, из структуры фазового портрета (рис. 5, б [84]) вытекает, что при $\tau = 0$ инициально-финальное отображение должно содержать две области. Первая – покрыта треугольниками (продуктивность обоих научных направлений растет без видимого предела). Вторая область, прилежащая к осям координат, покрыта кружками (научные направления деградируют). Однако по данным вычислительного эксперимента вторая область остаётся пустой, т.е. не финалы в ней не отвечают ни одному из четырёх, описанных ранее, условий (рис. 3.16, а).

Объясняя это противоречие, примем во внимание, что научные направления *X* и *Y* угасают, приближаясь к нулю асимптотически ($x, y \to 0$ при $t \to +\infty$). Следовательно, ни один из критериев № 1-3 исчезновения направлений (табл. 3.1) не может выполниться за конечное время расчёта. Поэтому вторую область отображения следует трактовать как соответствующую необратимому разрушению научных направлений.

С увеличением запаздывания в верхнем левом и нижнем правом углах ИФО образуются и расширяются области, соответствующие угасанию обоих научных направлений (рис. 3.16, б). А область, соответствующая неограниченному росту продуктивности обоих направлений, локализуется вблизи асимптоты $x = y$ (частный случай прямой (14), покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями), где $x > x_s$, $y > y_s$, x_s, y_s – координаты седла, показанного на рис. 5, б в статье [84] (рис. 3.16, в). Это обстоятельство согласуется с первым тезисом, выдвинутым в конце подраздела 2.2.

Сопоставляя характер эволюции макропеременных применительно к *случаю* **III**, можно сделать ряд выводов.

1) Наличие запаздывания τ делает возможным колебательное изменение продуктивности научных направлений (отсутствующее, если $\tau = 0$ [84]), причём размах колебаний возрастает с увеличением τ.

2) Рост запаздывания вызывает сокращение размеров областей начальных условий x_0, y_0 на плоскости макропеременных x, y, при которых возможно развитие научных направлений.

3) Наличие запаздывания τ способно повлечь как обратимое (во времени t), так и необратимое снижение до нуля макропеременных x, y.

4) Наличие запаздывания делает возможным пересечение проекций фазовых траекторий на плоскость (x, y) (при $x(t) = x(t')$, $y(t) = y(t')$, где t' – некоторый момент времени, не равный t), но не приводит к образованию предельных циклов.

5) Анализ предложенных инициально-финальных отображений показывает, что рост запаздывания ведёт к доминированию области, соответствующей угасанию обоих научных направлений, а область, соответствующая неограниченному росту их продуктивности, примыкает к асимптоте $x = y$ и в пределе вырождается в луч, лежащий на ней.

3.4. Случай синергии $c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$

Когда научные направления противоположных типов X и Y действуют в режиме синергии, т.е. взаимодействуют по принципу положительной обратной связи ($c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = –1$), то условие существования прямой (14), покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями, не выполняется, а для прямой (15) это условие сводится к равенству $b_1 = b_2$. Нелинейная динамика направлений отличается следующим.

Вариант 4.1*:* $b_1 = b_2 = 0{,}8$, $x_0 = y_0 = 0{,}1$. При наличии относительно малого запаздывания ($\tau = 0{,}08050$) характер эволюции направлений X, Y подобен случаю, когда $\tau = 0$ (рис. 8, а в [84]), и продуктивность направлений X, Y неограниченно нарастает со временем.

Но с ростом запаздывания минимум продуктивности «затухающего» научного направления X снижается, достигая нуля при $\tau = 0{,}4782497$ (используя метод Эйлера, мы брали шаг расчёта по времени равным 1 / 2000). Однако падение x до нуля является временным. По мере увеличения запаздывания продолжительность времени, в течение которого $x = 0$, возрастает (рис. 3.17, а). При переходе от запаздывания $\tau = 0{,}4782497$ к $\tau = 0{,}4782498$ падение x до нуля становится необратимым. «Гибель» направления X влечёт ограничение роста продуктивности направления Y (рис. 3.17, б). Приблизительно при этом же запаздывании τ эволюция макропеременной y в направлении её предельного значения приобретает колебательный характер. Размах колебаний возрастает с увеличением запаздывания (рис. 3.17, в).

Вариант 4.2*:* $b_1 = b_2 = 0{,}8$, $x_0 = 2{,}5$, $y_0 = 0{,}05$. Общие закономерности в характере эволюции продуктивности научных направлений *X*, *Y* проявляются при б**о**льших значениях запаздывания, чем в *варианте* 4.1. Макропеременная *x* достигает нуля при $\tau = 0{,}2030$, причём необратимо, вызывая ограничение роста *y*. Начиная с $\tau = 0{,}4905$, на графике становятся заметными колебания продуктивности, и их размах возрастает с увеличением запаздывания.

Вариант 4.3*:* $b_1 = 1{,}5$, $b_2 = 0{,}8$, $x_0 = y_0 = 0{,}1$. В отличие от *вариантов* 4.1 *и* 4.2, уже при $\tau = 0{,}458$ минимум продуктивности *x* достигает нуля, а динамика *y* становится колебательной.

Чтобы выявить особенности динамики взаимодействия научных направлений, построим фазовые портреты.

Когда $b_1 = b_2 = 0{,}8$ (*варианты* 4.1, 4.2), фазовый портрет имеет тот же вид, что и структура разбиений фазовой плоскости на траектории на рис. 7, а в статье [84], пока величина τ мала. С ростом запаздывания τ фазовые траектории становятся способны пересечь прямую (15), покрытую принадлежащими ей фазовыми траекториями, и тогда возникают их колебания около неё (рис. 3.18, а). Дальнейшее увеличение запаздывания приводит к тому, что некоторые фазовые траектории практически сразу достигают одну из осей, а другие сначала описывают замысловатые фигуры, после чего растут в колебательном режиме (подобно *случаю* **III**). Затем они касаются какой-либо из осей координат (рис. 3.18, б).

Когда $b_1 = b_2 = 1{,}5$, при малых значениях τ фазовый портрет имеет тот же вид, что и структура разбиений фазовой плоскости на траектории на рис. 7, б [84]. С увеличением τ фазовые траектории, как и в предыдущем варианте, начинают колебаться, пересекая прямую (15), но теперь они стремятся в область малых значений *x*, *y* (рис. 3.19). В отличие от предыдущего варианта, с ростом запаздывания траектории, напоминающие ломаные линии, быстро достигают той или иной оси, не успевая приобрести сложную конфигурацию.

Когда $b_1 = 1{,}5$, $b_2 = 0{,}8$ (*вариант* 4.3), фазовый портрет при $\tau = 0$ изображён на рис. 3.20, а. Видимо, из-за технической ошибки рис. 7, в из статьи [84] повторяет рис. 7, *б* там же, что противоречит смыслу рис. 8, в [84]. Поскольку $b_1 \neq b_2$, то условие существования прямой (15), покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями, не выполняется. Но с ростом величины τ (например, до значения 0,100) фазовые траектории пересекают бывшую (при $\tau=0$) слабо искривлённую фазовую траекторию, близкую к прямой (15). В итоге возникают (затухающие) колебания фазовых траекторий, как и в прежних вариантах. При больших τ некоторые из траекторий быстро достигают одной из осей (рис. 3.20, б).

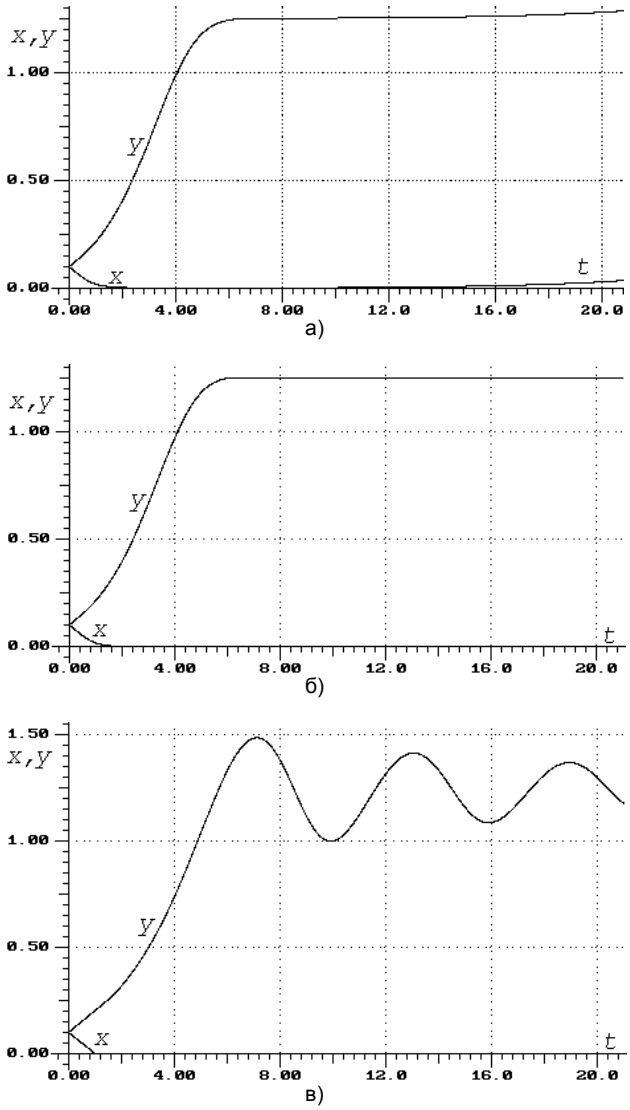
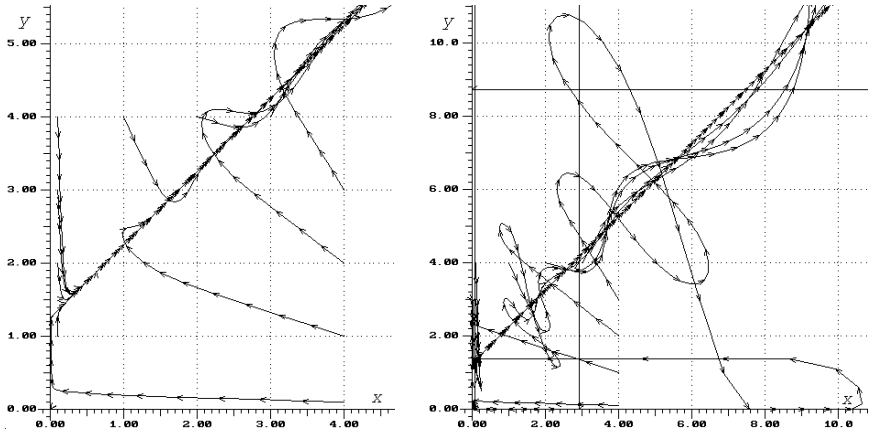


Рис. 3.17. Решение системы уравнений (6) для *варианта* 4.1 при различных величинах времени запаздывания τ: а – 0,4205; б – 0,4805; в – 1,421



а) б)

Рис. 3.18. Структура фазового пространства системы уравнений (6) для *случая* IV (c_1 = = c_2 = c_3 = 1, c_4 = –1) при b_1 = b_2 = 0,8 для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,1500; б – 0,3000

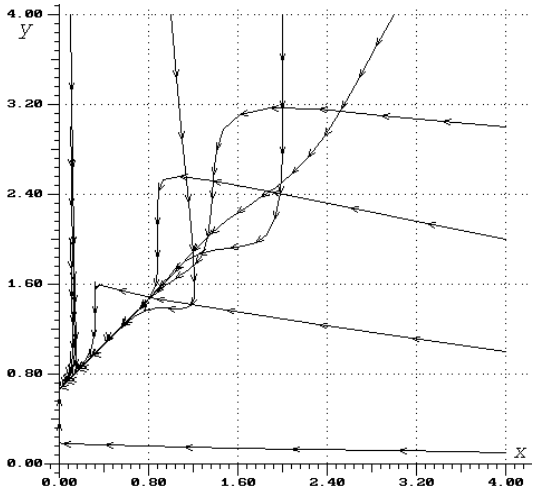
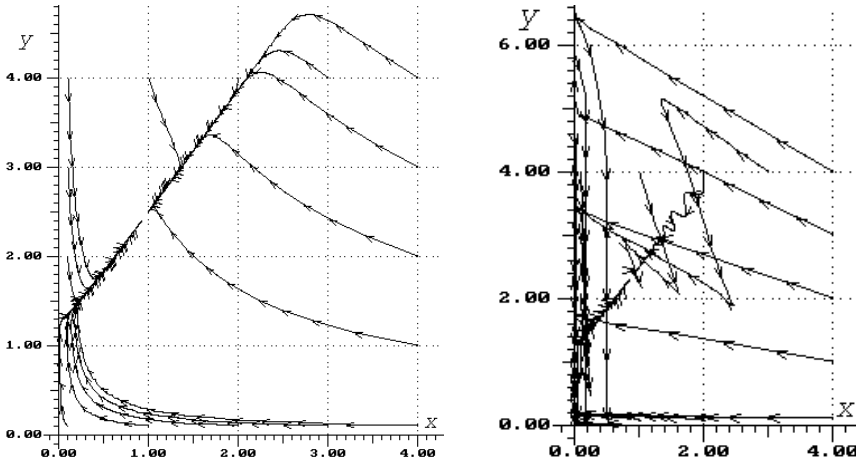


Рис. 3.19. Структура фазового пространства системы уравнений (6) для *случая* IV (c_1 = c_2 = c_3 = 1, c_4 = –1) при b_1 = b_2 = 1,5 и τ = 0,1000



а) б)

Рис. 3.20. Структура фазового пространства системы уравнений (6) для *случая* IV ($c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$) при $b_1 = 1{,}5$ и $b_2 = 0{,}8$ для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,0005 (нулевое запаздывание); б – 0,3000

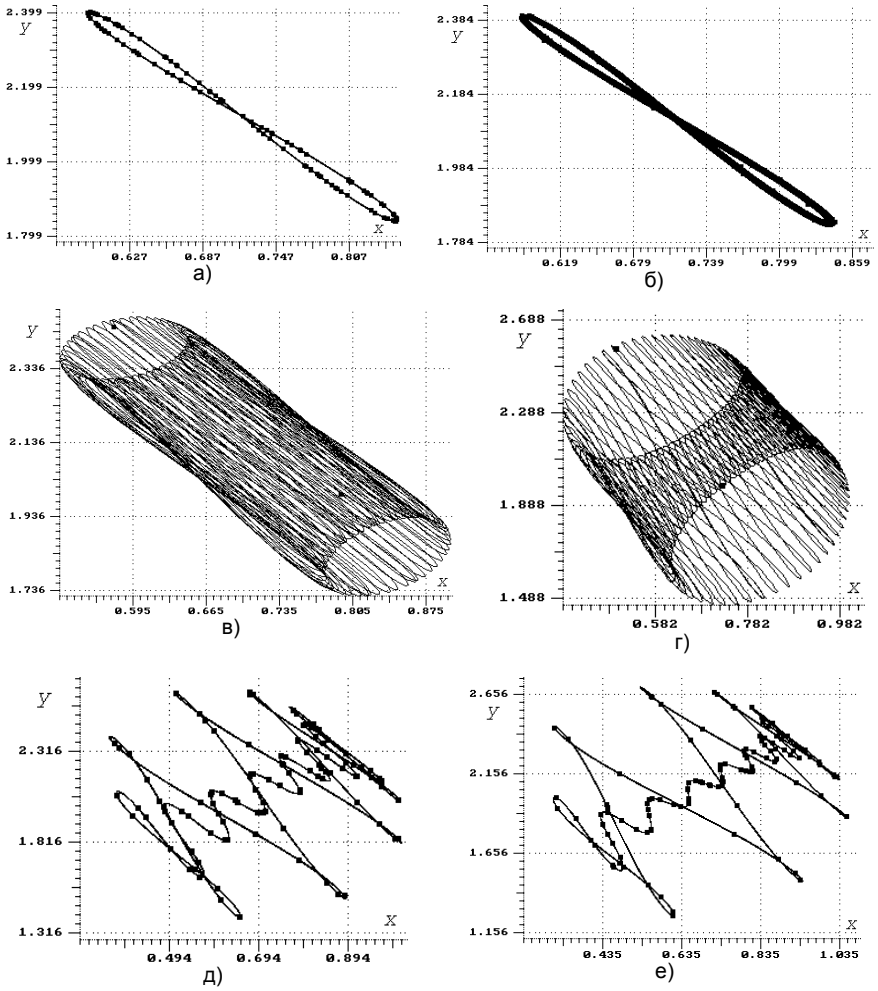


Рис. 3.21. Фазовая траектория системы (6) для *случая* IV ($c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$) при $b_1 = 1{,}5$, $b_2 = 0{,}8$, $x_0 = 1{,}0$ и $y_0 = 2{,}0$ для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,596; б – 0,5985; в – 0,5995; г – 0,6045; д – 0,6065; е – 0,6110. Интервал модельного времени при построении рисунков в и г был много меньше 7000 c_1

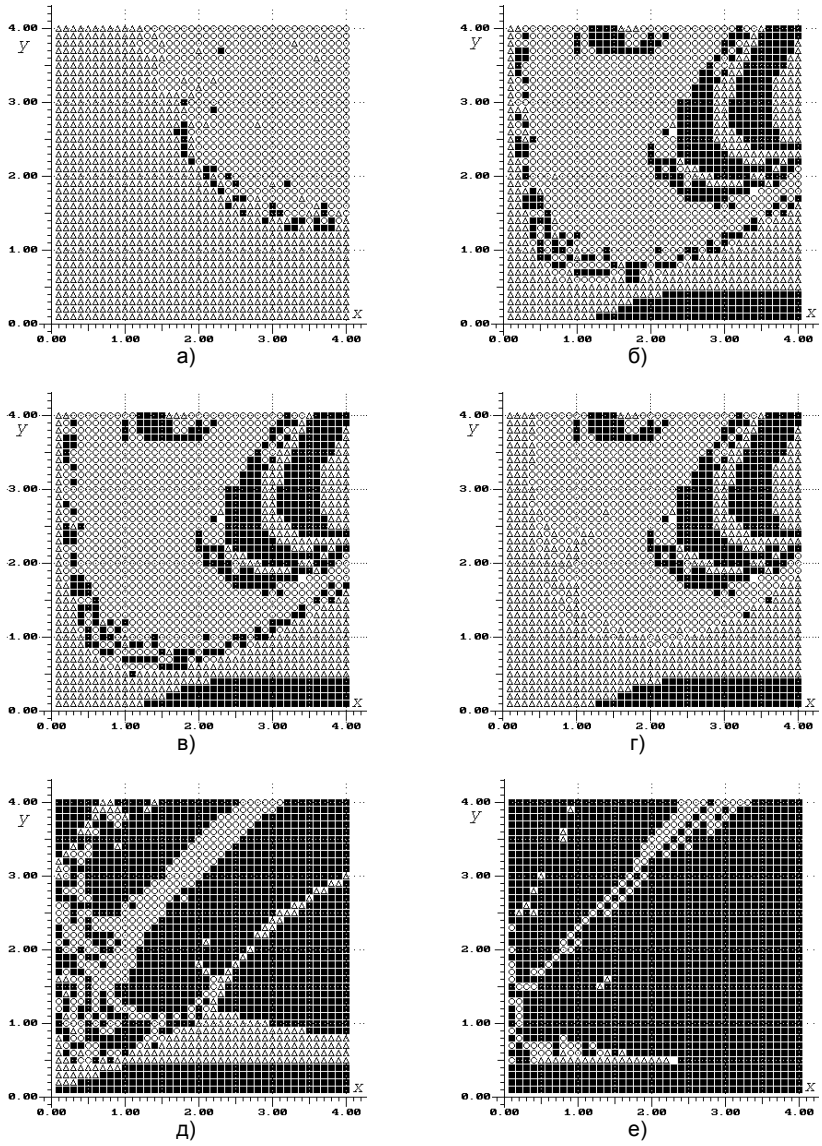


Рис. 3.22. Инициально-финальные отображения системы (6) для *случая* IV ($c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$) при $b_1 = b_2 = 0{,}8$ для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,1000; б – 0,3000; в – 0,3000; г – 0,3000; д – 0,5000; е – 0,9000. При построении рисунков в и г использовались модифицированные критерии прекращения вычислений: в – $x>10^{700}$ или $y>10^{700}$; г – $x>10^{100}$ или $y>10^{100}$

Примечательно, что для запаздывания, превышающего некоторое пороговое значение, существует особая область начальных условий: если траектория начинается в ней, то имеет место незатухающий колебательный режим. Рассмотрим условия его реализации более подробно.

Проследим за трансформацией проекции фазовой траектории, начинающейся в точке x_0 = 1, y_0 = 2. Вычисления велись в течение модельного времени, равного 15000 c_1, в предположении, что за это время все переходные процессы завершаются. Затем в течение модельного времени 7000 c_1 расчётные значения отображались на графике – фазовом портрете. Величина запаздывания варьировалась с шагом 0,0005 c_1.

Оказалось, что в диапазоне значений τ от 0,45 до 0,59 возникают незатухающие колебания (с периодом 2,00 при τ = 0,50 и периодом 2,39 при τ = 0,5960), предельный цикл для которых имеет характерный вид «восьмёрки» (рис. 3.21, а). С увеличением запаздывания до τ = 0,5985 «восьмёрка» испытывает равномерное утолщение, что свидетельствует о появлении модуляции среднего значения макропеременных. С ростом запаздывания очертания «восьмёрки» расплываются (рис. 3.21, б), что служит симптомом хаотизации. Структуру хаотического движения иллюстрирует рис. 3.21, в, при построении которого интервал модельного времени был существенно меньше 7000 c_1. Форма последнего позволяет диагностировать динамику взаимодействия научных направлений как движение на эргодическом торе [64]. Увеличение запаздывания τ вызывает модуляцию формы поперечного сечения эргодического тора (рис. 3.21, г) (при построении этого рисунка время накопления было также существенно меньше 7000 c_1).

Рост τ влечёт как увеличение, так и снижение степени сложности динамики: она минимальна в узких (с шириной не более 0,001 c_1) «окнах периодичности», где имеет место резонанс на торе. Они наблюдались, например, при запаздывании τ = 0,6065 и 0,6110 (с периодом 26,77 и 29,46 соответственно). На рис. 3.21, д и рис. 3.21, е отчётливо видно наличие модуляции поперечных размеров тора. Рост запаздывания (τ = 0,6070, τ = 0,6115) вновь возвращает динамику к ситуации эргодического тора.

Когда b_1 = 0,2, b_2 = 1,5, при малых значениях τ фазовый портрет тот же, что и на рис. 7, г в статье [84], причём в области, прилежащей к осям, его вид близок к портрету на рис. 7, б в [84], а в остальной части – к портрету на рис. 7, а в [84]. Такое сходство сохраняется в целом и при увеличении τ.

Как и прежде, обратимся к инициально-финальным отображениям.

Для *вариантов* 4.1, 4.2, когда $b_1 = b_2 = 0{,}8$, из структуры фазового портрета (рис. 7, а в [84]) вытекает, что при $\tau = 0$ инициально-финальное отображение должно иметь вид квадрата, равномерно покрытого треугольниками (продуктивность обоих научных направлений неограниченно растет со временем). Такой вид отображения и был получен в расчётах. С увеличением запаздывания в верхнем правом углу квадрата образуется и расширяется область, соответствующая угасанию обоих научных направлений (рис. 3.22, а). Но далее в пределах этой области возникают и увеличиваются районы, где продуктивность научных направлений безгранично растёт, и районы, где сохраняется только направление *Y*. Последний формируется также вдоль оси *Ox* в правой её части (рис. 3.22, б). Напомним, что выявление областей, где продуктивность научных направлений безгранично растёт, связано с выполнением критерия прекращения вычислений (табл. 3.2): $x > 10^{500}$ или $y > 10^{500}$.

Заметим, что если выбрать иной критерий: $x > 10^{100}$ или $y > 10^{100}$ ($x > 10^{700}$ или $y > 10^{700}$), то строение инициально-финального отображения изменяется. Так, при увеличении параметра критерия размер области безграничного роста продуктивности уменьшается за счет расширения области исчезновения обоих направлений либо области исчезновения направления *X* (рис. 3.22, г, в). Следовательно, не все точки, принадлежащие области, которая обозначена треугольниками, соответствуют случаю неограниченного роста продуктивности.

Дальнейший рост запаздывания изменяет структуру отображения в пользу области, где сохраняется лишь направление *Y* (рис. 3.22, д, е). А область угасания обоих направлений ориентируется вдоль фазовой траектории, принадлежащей прямой (15), чьё уравнение в *случае* **IV** сводится к виду: $y = x + (1/b_2)$. Эта фазовая траектория изображена на рис. 7, а в статье [84].

Но в силу второго тезиса (сформулированного в конце подраздела 2.2) траектории, принадлежащие этой прямой, должны стремиться к бесконечности. Другими словами, на инициально-финальных отображениях должна присутствовать прямая (15), обозначаемая треугольниками. Но поскольку начальные значения макропеременных *x*, *y* не попадают точно на прямую (15), то такая линия на представленных ранее отображениях не наблюдается. Если же соответствующим образом изменить алгоритм выбора начальных условий, то вне зависимости от величины запаздывания в структуре отображения появляется прямая (15), обозначаемая треугольниками.

Для варианта, когда $b_1 = b_2 = 1{,}5$, из структуры фазового портрета (рис. 7, б в [84]) вытекает, что при $\tau = 0$ инициально-финальное отображение должно иметь вид квадрата, покрытого пустыми квадратиками (продуктивность обоих научных направлений стремится к стационарному значению), и/или покрытого заполненными квадратиками (научное направление *X* угасает – сюжет, противоположный одному из рассмотренных в *варианте* 1.1). Однако в вычислительном эксперименте мы наблюдаем инициально-финальное отображение в виде ничем не заполненного квадрата (т.е. выполняется критерий № 6 прекращения счёта (табл. 3.1): $t > t_{max}$ – ничего нельзя сказать о финале эволюции научных направлений).

Такое несовпадение вида полученного отображения с ожидаемым происходит по двум причинам:

1) Научное направление *X* угасает, приближаясь к нулю асимптотически ($x \to 0$ при $t \to +\infty$). Следовательно, критерий № 2 (табл. 3.1) полного угасания *X* не может выполниться за конечное время расчёта.

2) В критерии № 5 (табл. 3.1) стремления продуктивностей научных направлений к стационарному значению фигурируют неравенства: $|(dy/dt) / y| < 2 * 10^{-6}$, $|(dx/dt) / x| < 2 * 10^{-6}$. Однако, когда $x \to 0$ ($t \to +\infty$),то отношение $(dx/dt) / x \to c_1 * y_{st} - c_2 \neq 0$, где стационарное значение макропеременной $y_{st} = 1 / b_2$ согласно [84]. Следовательно, $(dx/dt) / x \to -1/3$ и последнее неравенство критерия № 5 не выполняется.

С учётом сказанного инициально-финальное отображение, действительно, должно иметь вид квадрата, покрытого заполненными квадратиками.

При наличии запаздывания для некоторых точек плоскости инициально-финального отображения (иначе говоря, плоскости *xOy*) начинает выполняться критерий № 2 (табл. 3.1), т.е. угасание *X*. Причём с ростом τ число таких точек растёт (рис. 3.23, а, б).

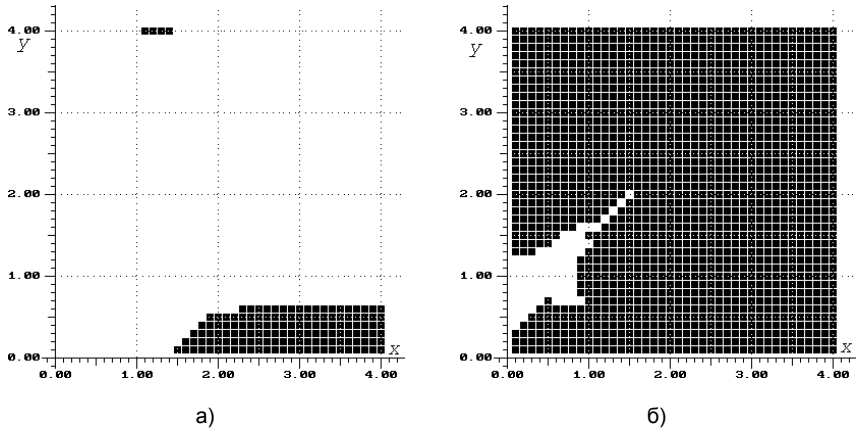


Рис. 3.23. Инициально-финальные отображения системы (6) для *случая* IV ($c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$) при $b_1 = b_2 = 1{,}5$ для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,2000; б – 0,7000

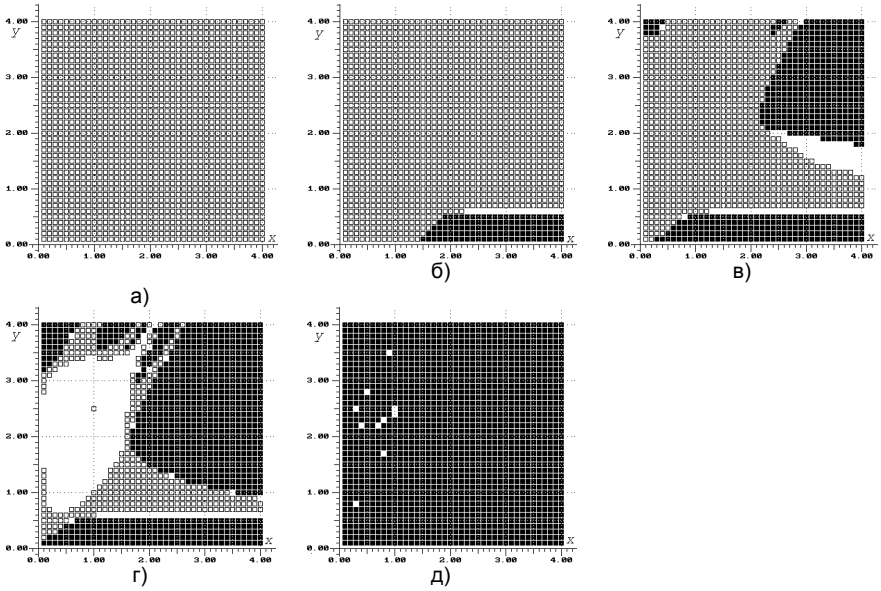


Рис. 3.24. Инициально-финальные отображения системы (6) для *случая* IV ($c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$) при $b_1 = 1{,}5$ и $b_2 = 0{,}8$ для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,0005 (нулевое запаздывание); б – 0,2000; в – 0,4000; г – 0,5000; д – 0,9000

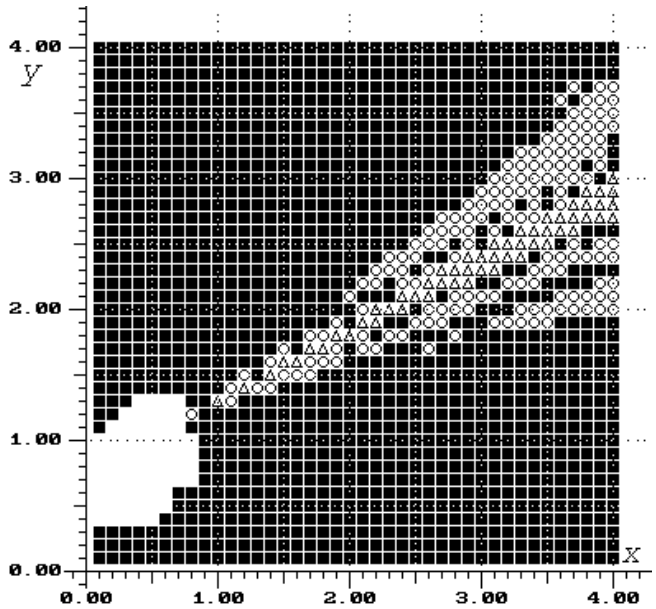


Рис. 3.25. Инициально-финальное отображение системы (6) для *случая* IV ($c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$) при $b_1 = 0{,}5$, $b_2 = 1{,}5$ и величине времени запаздывания $\tau = 0{,}9000$

Для варианта, когда b_1 = 1,5, b_2 = 0,8, из структуры фазового портрета (рис. 3.24, а) вытекает, что при τ = 0 инициально-финальное отображение должно иметь вид квадрата, покрытого пустыми квадратиками (продуктивность обоих научных направлений стремится к стационарному значению), что и наблюдалось в компьютерном эксперименте.

Рост запаздывания τ приводит к появлению области отображения, где сохраняется лишь направление *Y*, причем с ростом τ размер области растёт (рис. 3.24, б, в). Причиной этого служит возникновение (при больших τ) траекторий, быстро достигающих одной из осей (ср. с рис. 3.20, б).

В то же время на плоскости отображения формируются области, для которых выполняется критерий № 6 из табл. 3.1 (рис. 3.24, г). Выполнение его в центральной части отображения вызвано наличием незатухающих колебаний макропеременных (рис. 3.21, а). Следовательно, при выборе начальных условий, соответствующих этой части отображения, направления *X* и *Y* сохраняются и испытывают незатухающие колебания продуктивности. Ещё больший рост τ влечёт доминирование области отображения, соответствующей необратимой деградации направления *X* (рис. 3.24, д).

Для варианта, когда b_1 = 0,2, b_2 = 1,5, из структуры фазового портрета (рис. 7, г в статье [84]) следует, что при τ = 0 инициально-финальное отображение должно содержать две области. Первая – покрыта треугольниками (продуктивность обоих научных направлений растёт без видимого предела), вторая – прилежащая к осям координат, как и для варианта, когда b_1 = b_2 = 1,5, – покрыта квадратиками: пустыми (продуктивность обоих научных направлений стремится к стационарному значению) и/или заполненными (научное направление *X* угасает). Однако по данным вычислительного эксперимента вторая область остается пустой. Здесь справедливы замечания, сделанные для варианта, когда b_1 = b_2 = 1,5.

При увеличении запаздывания τ трансформация первой (второй) области сходна с трансформацией всего инициально-финального отображения для варианта, когда b_1 = b_2 = 0,8 (b_1 = b_2 = 1,5). Заметим, что в первой области (в отличие от варианта, когда b_1 = b_2 = 0,8) отчётливо виден район безграничного роста макропеременных, прилежащий к асимптоте (идущей вдоль диагонали $x = y$). Это наблюдается для всех построенных отображений при варьировании τ (рис. 3.25). Данное обстоятельство выглядит парадоксальным, поскольку при b_1 = 0,2, b_2 = 1,5 не выполняются условия существования ни для прямой (14), ни для прямой (15). Можно объяснить парадокс тем, что эта асимптота

имеет исключительно малую кривизну, представляя собой «квазипрямую». Поэтому тенденция неограниченного роста, возможно, исчезает лишь при очень высоких значениях τ.

Сопоставляя характер эволюции макропеременных x, y для *случая* **IV**, можно сделать ряд выводов.

1) Сохраняет силу вывод «1» для *случая* **III**.

2) Рост запаздывания вызывает сокращение размеров областей начальных условий x_0, y_0 на плоскости макропеременных x, y, при которых возможно развитие научного направления X.

3) Наличие запаздывания способно повлечь как обратимое (во времени t), так и необратимое падение до нуля макропеременной x.

4) Сохраняет силу вывод «4» для *случая* **III**.

5) Когда $b_1 = b_2 = 0{,}8$, при $\tau = 0$ продуктивность обоих научных направлений неограниченно растёт со временем. С увеличением запаздывания на инициально-финальном отображении появляется область угасания обоих научных направлений. В ней возникают и увеличиваются районы, где продуктивность научных направлений безгранично растёт, и районы, где сохраняется только направление Y. Затем происходит расширение области исчезновения обоих направлений либо при ещё больших τ доминирует область, где сохраняется лишь направление Y, а область угасания обоих направлений ориентируется вдоль прямой безграничного роста (15) X,Y, чье уравнение сводится к виду $y = x + (1/b_2)$.

6) Когда $b_1 = b_2 = 1{,}5$, при $\tau = 0$ инициально-финальное отображение должно иметь вид, соответствующий существованию лишь направления Y, но по данным вычислительного эксперимента ничего нельзя сказать о финале эволюции научных направлений. Несоответствие объясняется несовершенством системы критериев, используемых при построении отображений, и исчезает с увеличением τ.

7) Когда $b_1 = 1{,}5$, $b_2 = 0{,}8$, при $\tau = 0$ продуктивность обоих научных направлений стремится к стационарному значению. Рост запаздывания приводит к появлению области отображения, где сохраняется лишь направление Y, увеличивая её, а при этом в центральной части отображения формируются области, в которых продуктивность научных направлений испытывает незатухающие колебания. При ещё больших τ доминирует область упадка направления X.

8) Когда $b_1 = 0{,}2$, $b_2 = 1{,}5$, инициально-финальное отображение содержит две области. В первой выполняются закономерности, относящиеся к варианту, когда $b_1 = b_2 = 0{,}8$; во второй области (прилежащей к осям координат) выполняются те же

закономерности, что и для варианта, когда $b_1 = b_2 = 1{,}5$. Обнаружено парадоксальное обстоятельство: по крайней мере до $\tau = 5$ в первой области присутствует район безграничного роста макропеременных, прилежащий к асимптоте (идущей вдоль диагонали $x = y$), хотя не выполняются условия существования нетривиальных прямолинейных фазовых траекторий. Парадокс предлагается объяснить тем, что эта асимптота имеет исключительно малую кривизну.

9) Когда $b_1 = 1{,}5$, $b_2 = 0{,}8$, для запаздывания, превышающего некоторое пороговое значение, существует область начальных условий, при которых имеют место незатухающие колебания продуктивности научных направлений. Обнаружены предельные циклы с периодами 2,00, 2,39, 26,77, 29,46 (в том числе резонанс на торе), а также хаотический режим (эргодический тор). С ростом запаздывания проявляются «окна периодичности»: эргодический тор чередуется с резонансом на торе. Заметим, что в модели [96], где лишь $\tau_8 \neq 0$, $\tau_{10} \neq 0$, констатируется переход от периодических колебаний к хаосу через каскад удвоения периода.

3.5. Случай асимметричных отношений $c_1 = c_2 = 1$, $c_3 = c_4 = -1$

Когда «затухающее» направление X отрицательно воздействует на направление Y, развивающееся позитивно и положительно влияющее на X ($c_1 = c_2 = 1$, $c_3 = c_4 = -1$), то условие существования прямых (14) и (15), покрытых принадлежащими им фазовыми траекториями, не выполняется. Выявлены следующие особенности.

Вариант 5.1*:* $b_1 = b_2 = 0{,}2$, $x_0 = y_0 = 0{,}2$. При малых значениях запаздывания изменение продуктивности обоих направлений носит характер затухающих колебаний; при этом средние значения продуктивностей x, y стремятся к своим стационарным значениям, как и при $\tau = 0$ (см. рис. 10, а [84]). С ростом τ полный размах колебаний x, y увеличивается, а при $\tau = 0{,}2100$ затухание колебаний сменяется их нарастанием во времени (рис. 3.26, а). Авторы предлагают интерпретировать такую смену тенденций как бифуркацию, благодаря которой устойчивый фокус сменяется неустойчивым.

Из-за упомянутого увеличения размаха колебаний траектория на фазовом портрете рано или поздно достигает одной из осей. При этом наблюдается необратимое исчезновение направления X, а Y, в зависимости от начальных значений x_0 и y_0 может как угаснуть совсем, так и прийти к стационарному значению (рис. 3.27).

При $\tau = 0{,}2605$ макропеременная x во втором минимуме принимает нулевое значение, и это падение x оказывается

необратимым. Как видно из рис. 3.26, б, при таком запаздывании сохраняется лишь первый максимум каждой из макропеременных. Увеличение τ отодвигает момент наступления максимумов (рис. 3.26, в).

При τ = 0,5965 макропеременная *x* длительное время (сравнимое с 1) находится очень близко к нулю. Поэтому спустя время, равное τ, макропеременная *y* достигает значения, близкого к стационарному для случая, когда *x* = 0, а возрастание *x* приводит к падению *y*. В итоге на графике *y(t)* появляется плато (рис. 3.26, г).

При τ = 0,5975 продуктивность научного направления *X* монотонно убывает и достигает нуля раньше, чем *Y*. Поэтому продуктивность направления *Y*, не обращаясь в нуль, стремится к своему стационарному значению. Судя по рис. 3.26, д, это стремление имеет колебательный характер. Размах колебаний возрастает с увеличением запаздывания (рис. 3.26, е).

Вариант 5.2*:* $b_1 = b_2 = 0{,}2$, $x_0 = y_0 = 0{,}5$ демонстрирует те же закономерности, что и *вариант* 5.1. При τ = 0,3605 происходит необратимое падение макропеременной *x* (во втором минимуме) до нуля; продуктивность *x* монотонно убывает до нуля, а *y*, не обращаясь в нуль, стремится к своему стационарному значению (τ = 1,1405).

Вариант 5.3*:* $b_1 = b_2 = 0{,}2$, $x_0 = y_0 = 1$, аналогичен *вариантам* 5.1 и 5.2. При τ = 0,3590 макропеременная *x* в третьем минимуме необратимо падает до нуля (рис. 3.28, а), а затем (τ = 0,3605) то же происходит и с *y*. При τ = 0,4605 макропеременная *x* испытывает необратимое падение во втором минимуме, а продуктивность направления *Y*, не обращаясь в нуль, стремится к своему стационарному значению (рис. 3.28, б). При запаздывании τ = 0,5205 повторяется ситуация, которой соответствует рис. 3.26, б. Но рис. 3.28, в (τ = 1,3800) отличается от рис. 3.26, г тем, что стремление макропеременной *y* к стационарному состоянию носит колебательный характер, поэтому на графике для *y* плато отсутствует. Ситуации при запаздывании τ = 1,3900 соответствует рис. 3.26, д.

Вариант 5.4*:* $b_1 = b_2 = 0{,}2$, $x_0 = y_0 = 2{,}5$. При τ = 0,18980 ни одна из макропеременных не достигает нуля. (Напомним, что вычисления велись методом Эйлера с шагом, равным 0,0005 = 1 / 2000.) Примечательно, что ещё до того, как наступает бифуркация, благодаря которой устойчивый фокус сменяется неустойчивым, макропеременная *y* достигает нуля в первом минимуме. Это происходит обратимо при τ = 0,18988859, поэтому на графике *y(t)* возникает плато, хорошо различимое на рис. 3.29. Обратимое достижение нуля происходит, возможно, потому, что бифуркация

ещё не наступила и фазовая траектория стремится к устойчивому фокусу, т.е. – удалиться от осей. Поскольку макропеременная x приближается к нулю асимптотически (оставаясь положительной), то при «возрождении» направления Y значение x резко возрастает, т.е. научное направление X сохраняется. Необратимое падение y до нуля наблюдается при τ = 0,18988859. Если y = 0 необратимо, то x асимптотически стремится к нулю.

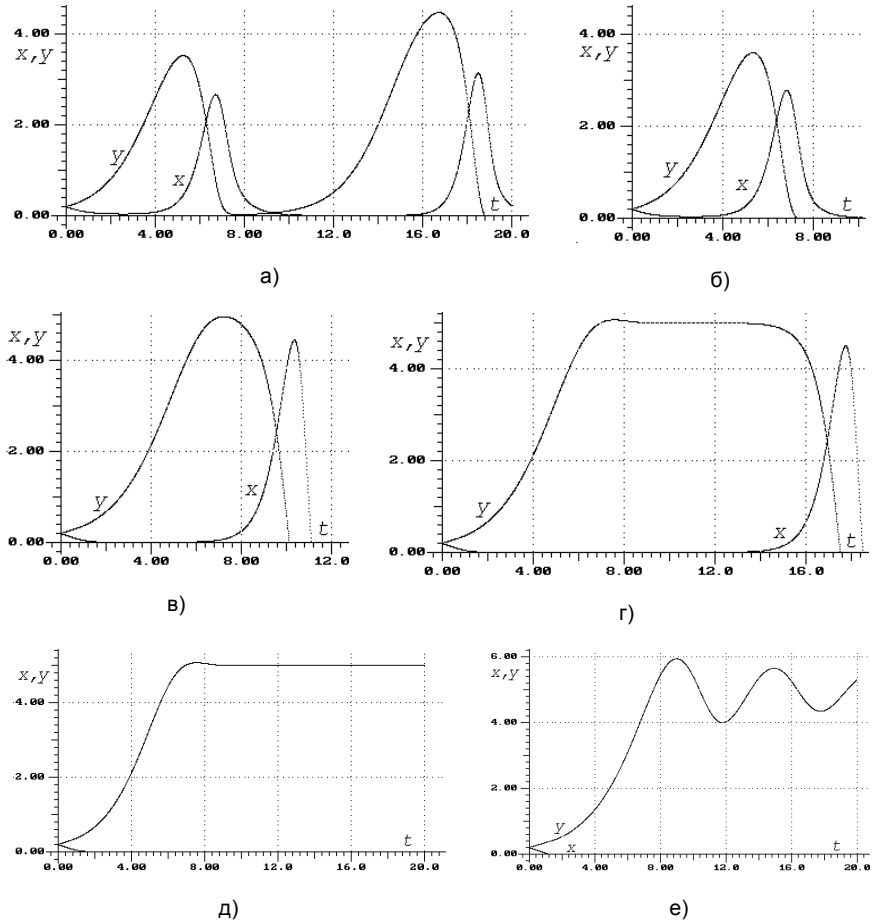


Рис. 3.26. Решение системы уравнений (6) для *варианта* 5.1 при различных величинах времени запаздывания τ; а – 0,2405; б – 0,2605; в – 0,5805; г – 0,5965; д – 0,6005;
е – 1,421

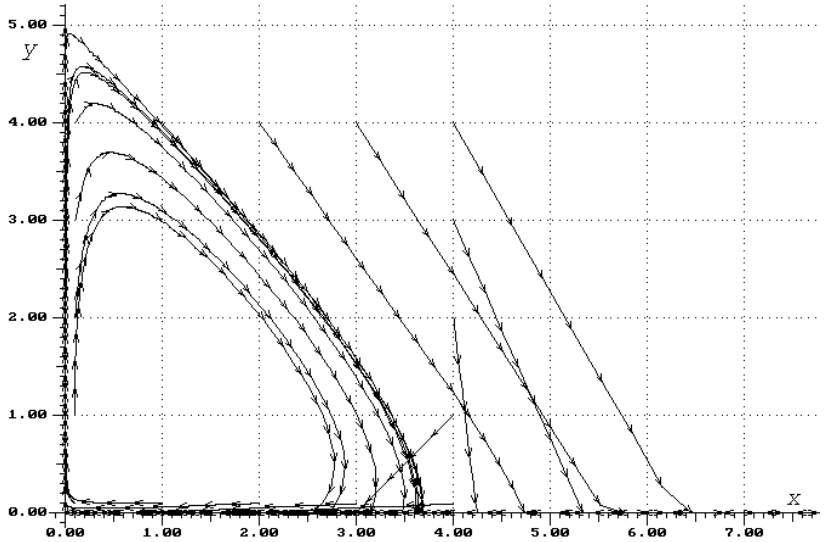


Рис. 3.27. Структура фазового пространства системы уравнений (6) для *случая* V ($c_1 = c_2 = 1$, $c_3 = c_4 = -1$) при $b_1 = b_2 = 0{,}1$ и величине времени запаздывания $\tau = 0{,}3600$

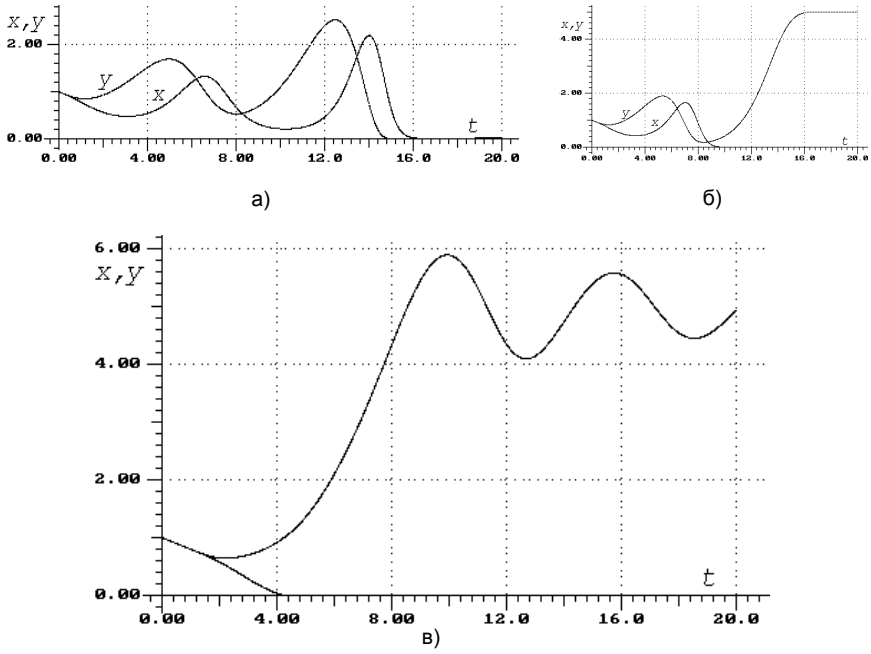


Рис. 3.28. Решение системы уравнений (6) для *варианта* 5.3 при различных величинах времени запаздывания τ; а – 0,3590; б – 0,4605; в – 1,380

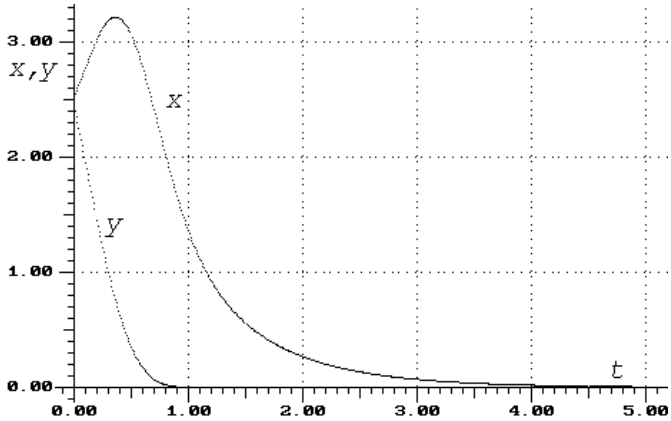


Рис. 3.29. Решение системы уравнений (6) для *варианта* 5.4 при величине времени запаздывания τ = 0,18988859

(Многократные вычисления приводят к выводу о том, что при τ_1 = 0,1898885920532704 зависимость *y(t)* имеет участок с плато, но уже при τ_2 = 0,1898885920532705 *y* необратимо становится равным нулю.)

В силу того, что необратимое угасание направления *Y* происходит до указанной бифуркации, она не приводит к существенным изменениям динамики направлений *X*, *Y*. И дальнейшее увеличение запаздывания влечёт лишь рост максимума *x*. Научное направление *X* сохраняется дольше, чем при меньших значениях τ, так что справедлива оценка: время жизни научного направления *X* больше τ.

Обратимся к инициально-финальным отображениям. Из структуры фазового портрета (см. рис. 9 в [84]) вытекает, что при τ = 0 инициально-финальное отображение должно иметь вид квадрата, равномерно покрытого пустыми квадратиками (продуктивность обоих научных направлений стремится к некой константе). Именно такое отображение и было получено в вычислительном эксперименте. Но уже при τ = 0,1 в верхнем правом углу квадрата образуется малая область, соответствующая ситуации исчезновения обоих научных направлений. По мере увеличения запаздывания эта область расширяется (рис. 3.30, а, б), практически полностью заполняя исследуемую область начальных условий при τ = 0,3 (рис. 3.30, в). Рост величины τ приводит к возникновению спиралевидной области, соответствующей случаю, когда сохраняется лишь направление *Y* (рис. 3.30, г). Число витков (длина) спирали уменьшается, а ширина увеличивается (рис. 3.30, д).

Сравнивая динамику макропеременных *x*, *y* для *случая* **V**, можно сделать ряд выводов.

1) Сохраняют силу выводы «2», «3» для *случая* **III**.

2) Размах колебаний продуктивности направлений возрастает с увеличением запаздывания.

3) При достижении запаздыванием бифуркационного значения устойчивый фокус сменяется неустойчивым, вследствие чего размах колебаний растёт со временем.

4) При τ = 0 продуктивность обоих научных направлений стремится к константе. С увеличением запаздывания на инициально-финальном отображении образуется и растёт область, соответствующая исчезновению обоих научных направлений, а на её фоне возникает спиралевидная область, соответствующая сохранению лишь научного направления *Y*.

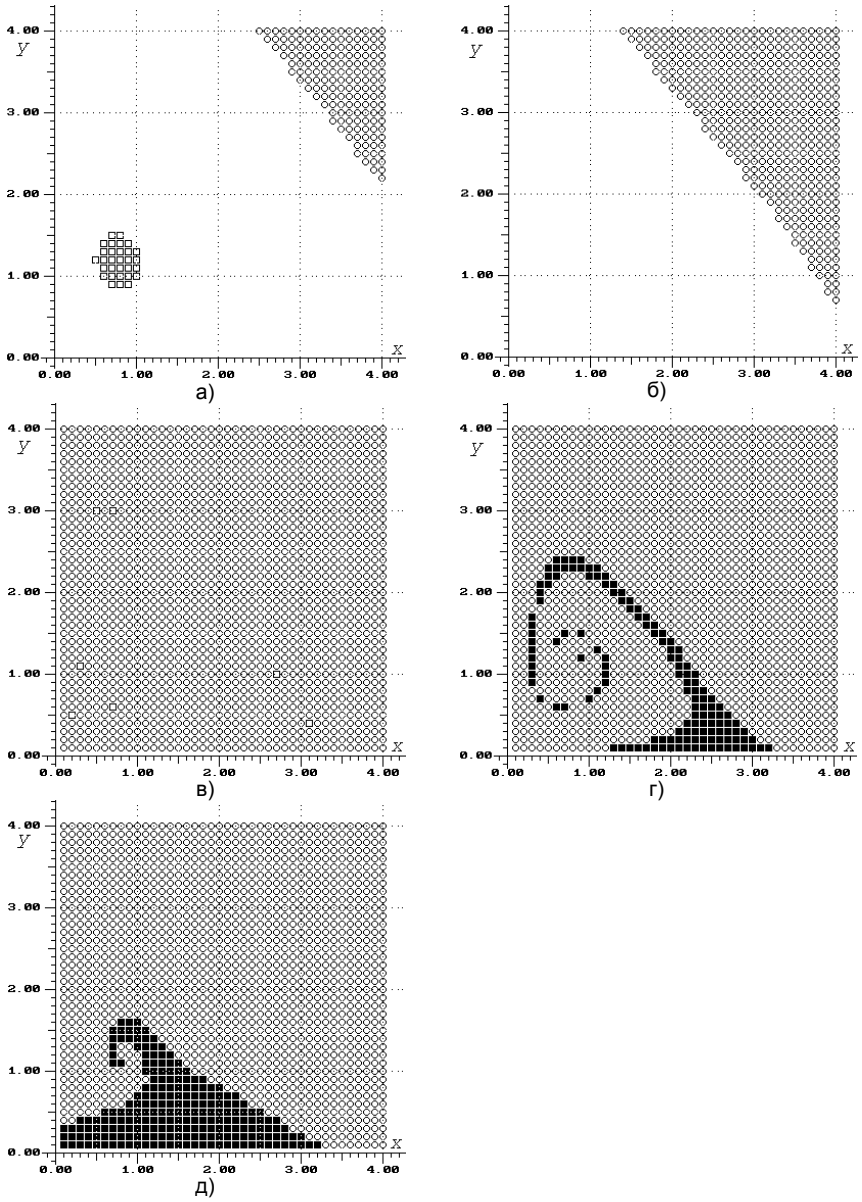


Рис. 3.30. Инициально-финальное отображение системы (6) для *случая* V ($c_1 = c_2 = 1$, $c_3 = c_4 = -1$) при $b_1 = b_2 = 0{,}2$ для различных величин времени запаздывания τ: а – 0,1300; б – 0,1800; в – 0,3000; г – 0,4000; д – 2,000

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифры убивают.
О. Шпенглер

В данной работе в контексте социальной синергетики и социальной кинетики рассмотрены нелинейные бинарные динамические системы с запаздыванием.

В качестве актуального примера затронут вопрос о формах проявления и последствиях бинарности русского культурного сознания. Исходя из этого, предложена постановка проблемы моделирования бинарности русской культуры. В качестве условия его корректности предложено обратиться к принципу сопряжённых подсистем, теории метасистемных переходов и физико-информационной концепции эволюции.

Рассмотрены кардинальные особенности социокультурных систем: нелинейность и эредитарность. Приведены основные классы математических моделей процессов в таких системах и указаны основные направления их разработки в последнее десятилетие. В качестве примера бинарной системы с запаздыванием интерпретирована история восприятия русской литературно-философской традицией трактата О. Шпенглера «Закат Европы».

Сформулированы требования к программным средствам, необходимым для исследования нелинейных математических моделей, в том числе процессов в бинарных системах.

Кратко рассмотрены особенности развития научного знания. Подвергнуто сомнению развиваемое И.П. Ильиным (2002 г.) положение о том, что умонастроение начала 1970-х годов в среде западных культурфилософов, выраженное тезисом о пришествии века глобального познавательного и ценностно-ориентационного хаоса, концептуально детерминировало версию синергетики, разработанную школой И.Р. Пригожина.

Сопоставлены направления совершенствования математических моделей взаимодействия в науке.

Разработана математическая схема построения моделей взаимодействия научных направлений с ограничением роста достижений и запаздыванием в коммуникациях между субъектами исследовательской деятельности. Показано, что из этой схемы при некоторых предположениях относительно числа участников научной деятельности (внутри каждого направления) вытекают модели

Е.С. Мчедловой и модели, предложенные авторами, в частности используемая в данной работе.

Предложен конструкт: инициально-финальное отображение (термин авторов), задающее графически отображение (функцию) множества начальных условий x_0, y_0 во множество финалов эволюции x, y системы. Конструкт позволяет установить, как влияют начальные условия на заключительное состояние динамики нелинейной бинарной системы, например, пары научных направлений, а также выяснить (путём построения серий отображений), какова роль некоторого фактора (параметра модели) в формировании структуры инициально-финального отображения.

Описаны результаты моделирования процессов взаимодействия двух научных направлений. Предложено их обобщить, выделив три аспекта: ритмический, бифуркационный и инициально-финальный.

Ритмический аспект. Наличие инерционности восприятия научных достижений, превышающей некоторые пороговые значения, – в зависимости от типа (и параметров) взаимодействия научных направлений X, Y – вызывает:

– затухающие колебания их продуктивности x, y;

– незатухающие колебания x, y (предельные циклы, в том числе резонанс на торе, эргодический тор и хаотические колебания);

– рост амплитуды затухающих колебаний;

– разрушение колебательных процессов;

– (не)обратимое во времени t снижение до нуля продуктивности x и/или y;

– изменение периода колебаний продуктивности x, y и характера динамики внутри циклического процесса: темпа и числа актов развития или деградации (вплоть до исчезновения) направлений, синфазности – в смысле совпадения локальных максимумов (как и минимумов) x, y.

Эта инерционность допускает время от времени повторение уровня показателей продуктивности, когда $x(t) = x(t')$, $y(t) = y(t')$. Но оно не гарантирует в будущем воспроизведения имевшей место эволюции научных направлений (не приводит к образованию предельных циклов).

Особенности прямолинейных фазовых траекторий таковы:

– фазовая траектория остается прямой при любых значениях запаздывания τ;

– если движение системы происходит в направлении к (устойчивой особой) точке, являющейся предельной точкой фазового пространства системы с $\tau = 0$, то наличие запаздывания не влияет на

монотонный характер изменения x, y. А если к точке, не являющейся предельной точкой, то существует значение $\tau > 0$, при котором имеют место затухающие колебания вокруг особой точки.

Усиление ограничивающего фактора для направления X, отрицательно влияющего на Y (которое положительно влияет на X), повышает устойчивость направления Y относительно роста инерционности, обеспечивая большее разнообразие режимов взаимодействия.

Наличие режима колебаний продуктивности научных направлений квалифицируется как верификационный результат в свете подобной динамики в моделях социальных процессов Г.Р. Иваницкого, Дж.У. Форрестера, Ю.М. Плотинского [133, с. 245-249].

Бифуркационный аспект. При достижении запаздыванием τ (инерционностью восприятия научных достижений) бифуркационного значения затухающие колебания продуктивности, характеризующей научные направления X, Y, сменяются:

– нарастающими колебаниями, в итоге чего деградируют либо оба направления, либо «затухающее» направление X;

– предельными циклами.

Если при отсутствии инерционности возможно сосуществование направлений X, Y, то по мере роста инерционности смена режимов взаимодействия X, Y может носить маятниковый характер. Это позволяет говорить о «чередовании сложности движения». В частности, с ростом запаздывания появляются «окна периодичности»: эргодический тор чередуется с резонансом на торе, а хаотические колебания – с периодическими.

Заметим, что в модели [96], где лишь $\tau_8 \neq 0$, $\tau_{10} \neq 0$, констатируется переход от периодических колебаний к хаосу через каскад удвоения периода.

Инициально-финальный аспект. С помощью построенных серий инициально-финальных отображений на плоскости макропеременных x, y обнаружены области начальных условий x_0, y_0, при которых имеют место незатухающие колебания продуктивности научных направлений.

Установлено, что рост запаздывания – в зависимости от типа (и параметров) взаимодействия научных направлений – вызывает многообразные трансформации областей начальных условий x_0, y_0, при которых наступают те или иные финалы эволюции X, Y (оба научных направления угасают; исчезает только X; неограниченный рост x, y; статический режим), например:

– сокращение размеров областей начальных условий, при которых возможно развитие того или иного научного направления;

– доминирование области начальных условий, соответствующей угасанию обоих научных направлений;

– формирование области угасания обоих научных направлений, в которой возникают и увеличиваются районы, где продуктивность *X*, *Y* безгранично растет, и районы, где сохраняется только направление *Y*;

– образование и рост области угасания *X*, *Y*, на фоне которой возникает спиралевидная область существования лишь направления *Y*.

Для достаточно больших величин τ области начальных условий, отвечающих некоторым финалам эволюции *X*, *Y*, «прижимаются» к участкам фазовых траекторий, обладающим малой кривизной, например к прямой, покрытой принадлежащими ей фазовыми траекториями. В некоторых случаях запаздывание не влияет на вид инициально-финальных отображений.

Итак, в модели (6) взаимодействия научных направлений *X*, *Y* с квадратичным ограничением экспоненциального роста их продуктивности *x*, *y* [84] наличие инерционности восприятия «чужих» и «своих» научных достижений, превышающей некоторые пороговые значения, – в зависимости от типа и параметров взаимодействия *X*, *Y* – вызывает наступление различных бифуркаций (в частности, бифуркаций удвоения периода, чередование эргодического тора с резонансом на торе, хаотических и периодических колебаний), а как следствие – возникновение (не)затухающих колебаний *x*, *y*: хаотических процессов, предельных циклов, в том числе резонанса на торе, а также разрушение колебательных процессов и (не)обратимое во времени снижение до нуля *x* и/или *y*, неограниченный рост *x*, *y*. Рост инерционности влечёт многообразные трансформации структуры инициально-финальных отображений.

ЛИТЕРАТУРА

Цитата пахнет гербарием,
но взятое из него семя
может и прорасти.

А. Франс

1. Иванов Вяч. Вс. Нечет и чёт. Асимметрия мозга и динамика знаковых систем // Иванов Вяч. Вс. Избранные труды по семиотике и истории культуры. – М.: Языки русской культуры, 1999. – С. 381-603.
2. Пойзнер Б.Н. Объединитель экологии и культурологии // Высшее образование в России. – 1998. – № 4. – С. 51-56.
3. Кондаков И.В. «По ту сторону» Европы // Вопросы философии. – 2002. – № 6. – С. 3-18.
4. Гройс Б. Россия как подсознание Запада // Гройс Б. Утопия и обмен. – М.: ЗНАК, 1993. – С. 245-259.
5. Андреев М.Л. Итальянское Возрождение как зеркало русского нигилизма // Искусство и культура Италии эпохи Возрождения и Просвещения. – М.: Наука, 1997. – С. 257-261.
6. Данилевский Н.Я. Происхождение нашего нигилизма. По поводу статьи «Этюды господствующего мировоззрения» // Европейский альманах. История. Традиции. Культура. – М.: Наука, 1992. – С. 76-98.
7. Зубов В.П. К истории слова «нигилизм» // Декоративное искусство. – 1996. – № 2-4. – С.47-53.
8. Живов В.М. Маргинальная культура в России и рождение интеллигенции // Πολυτροπον. К 70-летию Владимира Николаевича Топорова. – М.: Индрик, 1998. – С. 955-975; Он же. Маргинальная культура в России и рождение интеллигенции // Новое литературное обозрение. – 1999. – № 3. – С. 37-51.
9. Топоров В.Н. Петербург и «Петербургский текст русской литературы» (Введение в тему) // Топоров В.Н. Миф. Ритуал. Символ. Образ: Исследования в области мифопоэтического: Избранное. – М.: Прогресс – Культура, 1995. – С. 259-368.
10. Шапошников В.Н. Хулиганы и хулиганство в России. Аспект истории и литературы XX века. – М.: Московский лицей, 2000. – 272 с.
11. Мусаев В.И. Преступность в Петрограде в 1917-1921 гг. и борьба с ней. – СПб.: Дмитрий Буланин, 2001. – 208 с.

12. Могильнер М. Мифология «подпольного человека». – М.: Новое литературное обозрение, 1999. – 208 с.
13. Опыт неосознанного поражения: Модели революционной культуры 20-х годов: Хрестоматия / Сост. Г.А. Белая. – М.: ИЦ РГГУ, 2001. – 455 с.
14. Чегодаева М.А. Два лика времен: 1939. Один год сталинской эпохи. – М.: Аграф, 2001. – 336 с.
15. Кивинен М. Прогресс и хаос: Социологический анализ прошлого и будущего России. – СПб.: Академический проект, 2001. – 272 с.
16. Сойфер В.Н. Красная биология: Псевдонаука в СССР. – М.: Моск. психолого-соц. ин-т, 1998. – 264 с.
17. Сумерки лингвистики. Из истории отечественного языкознания. Антология / Сост. и ком. В.Н. Базылева и В.П. Нерознака. – М.: Academia, 2001. – 576 с.
18. EXPERIMENT/ЭКСПЕРИМЕНТ: J. of Russian Culture. (Pub. the Inst. of Modern Russian Culture, Los Angeles). – 1997. – Vol. 3: The Russian Academy of Artistic Sciences. – 328 p.
19. Мартишина Н.И. Когнитивные основания паранауки. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 1996. – 187 с.
20. Джоравски Д. Сталинистский менталитет и научное знание // Американская русистика. Вехи историографии последних лет. Советский период: Антология / Сост. М. Дэвид-Фокс. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2001. – С. 208-249.
21. Шмелькова Н. Во чреве мачехи, или Жизнь – диктатура красного. – СПб.: Лимбус Пресс, 1999. – 304 с.
22. Балдаев Д.С. Татуировки заключённых: Альбом. – СПб.: Лимбус Пресс, 2001. – 168 с.
23. Рабинович Е.Г. Социология жаргона // Рабинович Е.Г. Риторика повседневности: Филологические очерки. – СПб.: Изд-во Ивана Лимбаха, 2000. – С. 13-40.
24. Кацис Л.Ф. А.Ф. Лосев. В.С. Соловьёв. Максим Горький (Ретроспективный взгляд из 1999 года) // Кацис Л.Ф. Русская эсхатология и русская литература. – М.: ОГИ, 2000. – С. 548-598.
25. Уткоречь: Антология советской поэзии / Сост., автор предисл. Д.Е. Галковский. – Псков, 2002. – 400 с.
26. Тупицын В. «Другое» искусства: Беседы с художниками, критиками, философами: 1980 – 1995 гг. – М.: Ad Marginem, 1997. – 349 с.
27. Тупицын В. Коммунальный (пост)модернизм. Русское искусство второй половины XX века. – М.: Ad Marginem, 1998. – 206 с.

28. Эпштейн М.Н. Постмодерн в России. Литература и теория. – М.: Издание Р. Элинина, 2000. – 368 с.
29. Розов Н.С. Структура цивилизации и тенденции мирового развития. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 1992. – 213 с.
30. Турчин В.Ф. Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. – М.: Наука, 1993. – 296 с.
31. Редько В.Г. Эволюционная кибернетика. – М.: Наука, 2001. – 156 с.
32. Эбелинг В., Энгель А, Файстель Р. Физика процессов эволюции / Пер. Ю.А. Данилова. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.
33. Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. Рабочая книга по социальному конструированию (Междисциплинарный проект). Ч. 2. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. – 132 с.
34. Геодакян В.А. Системно-эволюционная трактовка асимметрии мозга // Системные исследования: Ежегодник 1986. – М.: Наука, 1987. – С. 355-376.
35. Бернштейн Н.А. О построении движений // Бернштейн Н.А. Биомеханика и физиология движений. – М.; Воронеж: НПО «МОДЭК», 1997. – С. 9-340.
36. Баранцев Р.Г. Открытым системам – открытые методы // Синергетика и методы науки. – СПб.: Наука, 1998. – С. 28-39.
37. Померанц Г., Курочкина М. Тринитарное мышление и современность: Сб. ст. – М.: Фантом Пресс, 2000. – 317 с.
38. Эпштейн М.Н. Философия возможного. – СПб.: Алетейя, 2001. – 334 с.
39. Тимашёв С.Ф. Принципы эволюции нелинейных систем // Рос. хим. журн. – 1998. – № 3. – С. 18-35.
40. Степин В.С. Теоретическое знание. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 744 с.
41. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. – М.: Наука, 1994. – 239 с.
42. Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. Основы социальной информатики: пилотный курс лекций / Под ред. А.В. Винарского. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – 109 с.
43. Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. Методология дополнительности и содержание социальной кинетики // На пути к новой рациональности: Методология науки. Вып. 4: Методология дополнительности: синтез рациональных и внерациональных методов и приёмов исследования. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – С. 98-102.

44. Блехман И.И., Мышкис А.Д., Пановко Я.Г. Прикладная математика: предмет, логика, особенности подходов. – Киев: Наукова думка, 1976. – 270 с.
45. Неуймин Я.Г. Модели в науке и технике. История, теория, практика. – Л.: Наука, 1984. – 189 с.
46. Гуц А.К. Глобальная этносоциология: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во Омск. ун-та, 1997. – 212 с.
47. Мелик-Гайказян И.В., Мелик-Гайказян М.В., Тарасенко В.Ф. Методология моделирования нелинейной динамики сложных систем. – М.: Наука, 2001. – 272 с.
48. Попов Ю.П., Самарский А.А. Вычислительный эксперимент // Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Введение в информатику с позиций математического моделирования: Сб. ст. – М.: Наука, 1988. – 176 с.
49. Компьютеры и познание: очерки по когитологии. – М.: Наука, 1990. – 126 с.
50. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: Наука, 1997. – 320 с.
51. Глейк Д. Хаос: Создание новой науки. – СПб.: Амфора, 2001. – 398 с.
52. Данилов Ю.А., Кадомцев Б.Б. Что такое синергетика? // Нелинейные волны: Самоорганизация. – М.: Наука, 1983. – С. 5-17.
53. Пойзнер Б.Н. Бытие становления как объект познания // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 1994. – Т. 2. – № 3-4. – С. 101-110.
54. Аршинов В.И. Синергетика как пространство становления // Методология биологии: новые идеи (синергетика, семиотика, коэволюция). – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – С. 210-221.
55. Синергетике – 30 лет. Интервью с профессором Г. Хакеном // Вопросы философии. – 2000. – № 3. – С. 53-61.
56. Пригожин И. Перспективы исследования сложности // Системные исследования. Методологические проблемы. – М.: Наука, 1987. – С. 45-57.
57. Пригожин И. Конец определённости. Время, хаос и новые законы природы. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 208 с.
58. Трубецков Д.И. Колебания и волны для гуманитариев: Уч. пособие для вузов. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1997. – 392 с.
59. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. – М.: Наука, 1987. – 424 с.
60. Чернавский Д.С. Синергетика и информация. – М.: Наука, 2001. – 244 с.

61. Буданов В.Г. Трансдисциплинарное образование, технологии и принципы синергетики // Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – С. 285-304.

62. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: Введение в нелинейную динамику. – М.: Наука, 1997. – 255 с.

63. Мелик-Гайказян И.В. Информационные процессы и реальность. – М.: Наука, 1998. – 192 с.

64. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем. Фундаментальные основы и избранные проблемы / Под ред. В.С. Анищенко. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1999. – 368 с.

65. Евин И.А. Синергетика мозга и синергетика искусства. – М.: ГЕОС, 2001. – 163 с.

66. Ильин И.П. Хаология как модус современного познания. Гуманитарная модель на службе естественных наук // Искусство в ситуации смены циклов: Междисциплинарные исследования художественной культуры в переходных процессах. – М.: Наука, 2002. – С. 421-431.

67. Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. – М.: Мир, 1999. – 335 с.

68. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. – М.: Наука, 1997. – 285 с.

69. Измайлов И.В., Макогон М.М., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О. Моделирование согласованного излучения лазеров в бихроматическом излучателе // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – № 4. – С. 415-419.

70. Новые физические принципы оптической обработки информации: Сб. ст. / Под ред. С. А. Ахманова, М. А. Воронцова. – М.: Наука, 1990. – С. 263-326.

71. Разумихин Б.С. Устойчивость эредитарных систем. – М.: Наука, 1988. – 108 с.

72. Владимиров С.Н. Регулярная и хаотическая динамика автогенератора Ван-дер-Поля с запаздывающей обратной связью // Изв. вузов. Физика. – 1998. – Т. 41. – № 2 – С. 104-113.

73. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О. Модель взаимодействия двух развивающихся научных направлений с учетом ограничения роста достижений и запаздывания // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2000. – Т. 8. – № 1. – С. 70-79.

74. Измайлов И.В., Магазинников А.Л., Пойзнер Б.Н. Моделирование процессов в кольцевом интерферометре с

нелинейностью, запаздыванием и диффузией при немонохроматическом излучении // Изв. вузов. Физика. – 2000. – Т. 43. – № 2. – С. 29-35.

75. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, 1976. – 286 с.

76. Неклюдова В.Л. Математическая модель биологической системы паразит – хозяин // Моделирование неравновесных систем-2001: Материалы 4-го Всероссийского семинара / Под ред. А.Н. Горбаня. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. – С. 105.

77. Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Математические модели биологических продукционных процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 302 с.

78. Неклюдова В.Л. Математическая модель системы ресурс – потребитель // Моделирование неравновесных систем-2001: Материалы 4-го Всероссийского семинара / Под ред. А.Н. Горбаня. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. – С. 106.

79. Налимов В.В., Мульченко З.М. Наукометрия. Изучение развития науки как информационного процесса. – М.: Наука, 1969. – 192 с.

80. Яблонский А.И. Математические модели в исследовании науки. – М.: Наука, 1986. – 352 с.

81. Хайтун С.Д. Проблемы количественного анализа науки. – М.: Наука, 1989. – 280 с.

82. Хайтун С.Д. Мои идеи. – М.: Агар, 1998. – С. 53-149.

83. Качак В.В., Мчедлова Е.С. Модель взаимодействия и эволюции двух научных направлений // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 1997. – Т. 5. – № 4. – С. 110-117.

84. Качак В.В., Мчедлова Е.С. Модель взаимодействия двух научных направлений с учетом ограничения экспоненциального роста достижений // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 1998. – Т. 6. – № 2. – С. 85-93.

85. Качак В.В., Усанов Д.А. К вопросу о взаимодействиях научных школ, или Об одном аргументе «за» интеграцию образовательных структур // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 1998. – Т.6. – № 2. – С. 95-102.

86. Гусев С.С. Самоограничительные тенденции в науке // Альтернативные миры знания / Под ред. В.Н. Поруса и Е.Н. Чертковой. – СПб.: РХГИ, 2000. – С. 63-79.

87. Пойзнер Б.Н. Кинетическая модель взаимодействия двух традиций / Том. гос. ун-т. Томск, 1988. 17 с. Библиогр.: 46 назв. Деп. в ИНИОН 13.07.88, № 34784.

88. Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. Лазерная модель творчества (от теории доминанты – к синергетике культуры): Учеб. пособие / Под ред. А.В. Войцеховского. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1997. – 150 с.

89. Тиме Г.А. Миф о «закате Европы» в мировоззренческой самоидентификации России начала 1920-х годов // Вопросы философии. 2002. – № 6. – С. 149-162.

90. Освальд Шпенглер и Закат Европы / Н.А. Бердяев, Я.М. Букшпан, Ф.А. Степун, С.Л. Франк. – М.: Берег, 1922. – 95 с.

91. Ишимбаева Г.Г. Трансформация фаустовского сюжета (Шпис – Клингер – Гёте) и диалектика трагического // Вопросы литературы. – 1999. Ноябрь – декабрь. – С. 166-177.

92. Парамонов Б.М. Шпенглер о России // Парамонов Б.М. След: Философия. История. Современность. – М.: Изд-во «Независимая газета», 2001. – С. 114-134.

93. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О. Моделирование самоорганизации двух научных направлений с учетом инерционности их взаимодействия // Материалы 2-го научного семинара «Самоорганизация устойчивых целостностей в природе и обществе» (13-15 августа 1998 г., г. Томск). – Томск, 1998. – С. 124-126.

94. Измайлов И.В., Раводин В.О. Особенности самоорганизации при запаздывающем взаимодействии двух научных направлений // Материалы 2-й международной конференции «Самоорганизация природных, техногенных и социальных систем: междисциплинарный синтез фундаментальных и прикладных исследований» (1-4 сент., 1998 г., г. Алма-Ата). – Алма-Ата, 1998. – С. 139-140.

95. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О. Моделирование влияния запаздывания на взаимодействие двух научных направлений // Тезисы докладов 5-й международной школы «Хаотические автоколебания и образование структур» (6-10 октября 1998 г., г. Саратов). – Саратов, 1998. – С. 91.

96. Mchedlova E.S. The model of two time-delayed systems: from periodicity to chaos // Тезисы докладов 5-й международной школы «Хаотические автоколебания и образование структур» (6-10 октября 1998 г., г. Саратов). – Саратов, 1998. – С. 109.

97. Качак В.В., Мчедлова Е.С. Нелинейная система с запаздывающим аргументом применительно к моделированию взаимодействий в науке // Тезисы докладов 5-й международной школы «Хаотические автоколебания и образование структур» (6-10 октября 1998 г., г. Саратов). – Саратов, 1998. – С. 111.

98. Мчедлова Е.С. Влияние временного запаздывания на динамику взаимодействующих научных направлений // Изв. вузов.

Прикладная нелинейная динамика. – 2000. – Т. 8. – № 4. – С. 113-121.

99. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О. Модель взаимодействия двух научных направлений (одно или оба из которых затухающие) с ограничением роста достижений и запаздыванием // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2001. – Т. 9. – № 4-5. – С. 91-119.

100. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О. Движение на торе в модели кооперации двух научных направлений с запаздыванием Abstracts of the 6th Intern. School on Chaotic Oscillations and Pattern Formation (Saratov, Russia, October 2-7, 2001). – Saratov: SESC «College», 2001. – P. 75-76.

101. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О. Движение на торе как образ взаимодействия двух научных направлений // Организация структур в открытых системах: Тезисы докладов Международной конф. (24-27 сентября 2001 г., г. Алматы, Казахстан). – Алматы, 2001. – С. 28-29.

102. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Раводин В.О. Резонанс на торе как циклический режим в модели взаимодействия двух научных школ // Циклы. Материалы 3-й Междунар. конф. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2001. – С. 84-85.

103. Раводин В.О. Библиотека программных модулей, ориентированная на задачи нелинейной динамики // Интеллектуальные системы в управлении, конструировании и образовании: Сб. ст. В печати.

104. Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем // Наука, технология, вычислительный эксперимент. – М.: Наука, 1993. – С. 6-32.

105. Садовский В.Н. Эволюционная эпистемология Карла Поппера на рубеже XX и XXI столетий // Эволюционная эпистемология и логика социальных наук: Карл Поппер и его критики / Сост. Д.Г. Лахути, В.Н. Садовского, В.К. Финна. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – С. 3-51.

106. Смирнова Н.М. Глобальный эволюционизм и становление современного образа науки // Методология биологии: новые идеи (синергетика, семиотика, коэволюция). – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – С. 112-130.

107. Корогодин В.И. Информация и феномен жизни. – Пущино: Пущинский научный центр РАН, 1991. – 204 с.

108. Голицын Г.А. Информация и творчество: на пути к интегральной культуре. – М.: Русский мир, 1997. – 304 с.

109. Евдокимов Е.В., Шаповалов А.В. Детерминированный хаос в динамике популяций как эволюционный фактор //

Эволюционная биология / Под ред. В.Н. Стегния. – Томск: ТГУ. – 2001. – Т. 1. – С. 245-263.

110. Байко И.Ю., Истомин Е.А., Пойзнер Б.Н. Лидеры и аутсайдеры тридцатилетнего марафона газоразрядных лазеров // Квантовая электроника. – 1994. – Т. 21. – № 11. – С. 1103-1104.

111. Антонов А.Н. Преемственность и возникновение нового знания в науке. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 172 с.

112. Нееман Ю. Счастливый случай, наука и общество. Эволюционный подход // Путь. – 1993. – № 4. – С. 70-90.

113. Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. Эволюционный и серендипический способы получения знания // Социальное знание в поисках идентичности. – Томск: Водолей, 1999. – С. 123-126.

114. Дубнищева Т.Я. Ретрофизика в зеркале философской рефлексии: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 1997. – 334 с.

115. Пойзнер Б.Н., Ситникова Д.Л. Big bifurcation: рождение математического моделирования // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2000. – Т. 8. – № 5. – С. 82-97.

116. Ирхин В.Ю., Кацнельсон М.И. Уставы небес. – Екатеринбург: У-Фактория, 2000. – 512 с.

117. Свасьян К.А. Судьбы математики в истории познания Нового времени // Вопросы философии. – 1989. – № 12. – С. 41-54.

118. Хофштадтер Д. Гёдель, Эшер, Бах: эта бесконечная гирлянда. – Самара: Изд. дом «Бахрах – М» , 2000. – 752 с.

119. Павленко А.Н. «Экологический кризис» как псевдопроблема // Вопросы философии. – 2002. – № 7. – С. 66-79.

120. Бажанов В.А. К вопросу об особенностях ассимиляции крупных открытий в логике // Смирновские чтения. Тр. 2-й конф. – М., 1999. – С. 96-97.

121. Чижевский А.Л. Неизданное. Библиография. Размышления. Развитие идей. – М., 1998. – 360 с.

122. Кун Т. Структура научных революций. – М.: АСТ, 2001. – 608 с.

123. Бажанов В.А. Прерванный полёт. История «университетской» философии и логики в России. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 109 с.

124. Ильин И.П. Постмодернизм. Словарь терминов. – М.: ИНИОН РАН – Intrada, 2001. – 384 с.

125. Неймарк Ю.И. А.А. Андронов и теория колебаний. – Нижний Новгород, 2001. – 20 с.

126. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. – М.: Наука, 2000. – 431 с.

127. Прытков В.П. Оправдание синергетики // Вопросы философии. – 2001. – № 4. – С. 146-149.

128. Пойзнер Б.Н. Хаос, порядок, время в древних картинах мира // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 1993. – № 3,4. – С. 97-109.

129. Концепция самоорганизации в исторической ретроспективе. – М.: Наука, 1994. – 239 с.

130. Самоорганизация: психо- и социогенез / Под ред. В.Н. Келасьева. – СПб: Изд-во СПбГУ, 1996. – 200 с.

131. Трубецкова Е.Г. Философия случая в романах М. Алданова: синергетический аспект // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1998. – Т.6. – № 2. – С. 97-106. Она же. Морис Эшер и Владимир Набоков: диалог эстетик // Языки науки – языки искусства. Тезисы докладов 7-й международной конф. серии «Нелинейный мир» (24-29 июня 2002 г., г. Суздаль). – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – С. 99.

132. Розов М.А. Наука и литература: два мира или один? (Опыт эпистемологических сопоставлений) // Альтернативные миры знания / Под ред. В.Н. Поруса и Е.Н. Чертковой. – СПб.: РХГИ, 2000. – С. 80-101.

133. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов: Учеб. пособие. – М.: Логос, 2001. – 296 с.

134. Неймарк Ю.И. Математическая модель общества, позволяющая ответить на вопрос о принципах его функционирования, организации и управления // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2000. – Т. 8. – № 1. – С. 64-71.

135. Мчедлова Е.С. Решётка связанных отображений с неоднородной диффузией как возможная модель интеграции высшей школы // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2000. – Т. 8. – № 6. – С. 35-43.

136. Буфалов С.А., Бухтяк М.С., Пойзнер Б.Н. Учёт когнитивности – критерий полноты моделей самоорганизации в социуме // Порядок и хаос в развитии социально-экономических систем: Материалы 2-го научного семинара «Самоорганизация устойчивых целостностей в природе и обществе» (13-15 авг. 1998 г., г. Томск). – Томск: Ин-т оптического мониторинга СО РАН, 1998. – С. 121-124.

137. Башляр Г. Научное призвание и душа человека // Башляр Г. Новый рационализм. – М.: Прогресс, 1987. – С. 328-345.

138. За «железным занавесом»: мифы и реалии советской науки. – СПб.: Дмитрий Буланин, 2002. – 526 с.

139. Философия и методология науки: Учеб. пособие / Под ред. В.И. Купцова. – М.: Аспект-Пресс, 1996. – 516 с.

140. Мамчур Е.А., Овчинников Н.Ф., Огурцов А.П. Отечественная философия науки: предварительные итоги. – М.: РОССПЭН, 1997. – 360 с.

141. Соснин Э.А. Условия смены нормативов в науке (о том, как конструируются научные институты) // Сб. тр. 2-й ежегодной сессии всерос. сем. «Методология науки». Вып. 2: Нетрадиционная методология. – Томск: Изд-во Том. ун.-та, 1997. – С. 236-238.

142. Пойзнер Б.Н. ГАХН и формирование норм смены норм художественной активности // Вопросы искусствознания. – 1997. – Вып. XI (2). – С. 110-120.

143. Пойзнер Б.Н. Наследие РАХН – университет для гуманитариев университета // Вестник Том. гос. ун-та. – Томск, 1999. – № 268 (нояб.). – С. 156-157.

144. Низовцев В.В. Время и место физики XX века. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 308 с.

145. Бернатосян С.Г. Воровство и обман в науке. – СПб.: Эрудит, 1998. – 384 с.

146. Pugacheva E. Evolutionary Model of Labour Market of Specialists in Russia // Galileu: Rev. de Economia e Direito. – 2001. – V. 6. – № 2. – P. 43-56.

147. Friedel R. Serendipity is no accident // The Kenyon Review. – 2001. – V. 23. – № 2. – P. 36-45.

148. Копылов Г. Возможные пути рационализации экстрасенсорных феноменов: злая судьба «лженаук» // Кентавр. 2001. – № 24. – С. 39-47.

149. Трубецков А.Д. Культурологические аспекты современного здравоохранения // Языки науки – языки искусства. Тезисы докладов 7-й международной конф. серии «Нелинейный мир» (24-29 июня 2002 г., г. Суздаль). – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – С. 98.

150 Лук А.Н. Психология творчества. – М.: Наука, 1978. – 126 с.

151. Юревич А.В. Социальная психология науки. – СПб.: РХГИ, 2001. – 352 с.

152. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. – Томск: МП «Раско», 1991. – 236 с.

153. Абушенко В.Л. Конструкт // Новейший философский словарь / Сост. А.А. Грицанов. – Минск: Изд. В.М. Скакун, 1999. – С. 327.

154. Храмов А.Е. Сложная динамика когерентных структур в двухпотоковом виркаторе // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 1998. – Т. 6. – № 2. – С. 42.

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ 5
1. Моделирование бинарных систем 10
1.1. Нелинейность социокультурных систем 10
1.2. Эредитарность социокультурных систем 12
1.3. Требования к программным средствам 15
2. Модели взаимодействия научных направлений 20
2.1. Особенности развития научного знания 20
2.2. Модели взаимодействия научных направлений: возможные подходы и конкретные реализации 26
2.3. Особенности моделирующих программ 35
3. Моделирование взаимодействия двух научных направлений с учётом запаздывания и ограничения роста достижений 40
3.1. Случай асимметричных отношений $c_1 = 1$, $c_2 = c_3 = c_4 = -1$ 40
3.2. Случай конкурентных отношений $c_i = -1$ 53
3.3. Случай дополняющих отношений $c_i = 1$ 62
3.4. Случай синергии $c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$ 67
3.5. Случай асимметричных отношений $c_1 = c_2 = 1$, $c_3 = c_4 = -1$ 81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 89
ЛИТЕРАТУРА 93

Электронная почта авторов: deka@ic.tsu.ru, В.О. Раводину.
Адрес для переписки:
634034, г. Томск, пр. Ленина, 43, физ. корпус, кв. 5, Б.Н. Пойзнеру.

Contents

PREFACE **5**
1. Modeling of binary systems **10**
1.1. Non-linearity of social cultural systems 10
1.2. Hereditary of social cultural systems 12
1.3. Requirements for soft 15
2. Models of scientific fields interaction **20**
2.1. Peculiarities of scientific knowledge development 20
2.2. Models of scientific fields interaction: possible approaches and concrete realizations 26
2.3. Peculiarities of model programs 35
3. Modeling of two scientific fields interaction taking account of delay and achievements growth limitation **40**
3.1. Case of asymmetrical relations $c_1 = 1$, $c_2 = c_3 = c_4 = -1$ 40
3.2. Case of competition relations $c_i = -1$ 53
3.3. Case of complement relations $c_i = 1$ 62
3.4. Case of synergia $c_1 = c_2 = c_3 = 1$, $c_4 = -1$ 67
3.5. Case of asymmetrical relations $c_1 = c_2 = 1$, $c_3 = c_4 = -1$ 81
CONCLUSIONS **89**
BIBLIOGRAPHIC LIST **93**

Данный файл был загружен с сайта xaoc.ru: http://www.xaoc.ru/a90

Научное издание

Игорь Валерьевич Измайлов
Борис Николаевич Пойзнер
Владимир Олегович Раводин

СИНЕРГИЯ, КОНКУРЕНЦИЯ, ХАОС В МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

В оформлении обложки использована гравюра Иоганна Теодора Де Бри (1561-1623), книгоиздателя и гравёра, иллюстрировавшего трактат “*Utriusque cosmi*, *maioris scilecet et minoris*, *metaphysica*, *physica atque technica historia*” (*Oppenheim*, 1617, 1619), известный под кратким названием “История Макро- и Микрокосма”. Его автор, *Robert Fludd* (1574-1637), английский врач парацельсовского толка, религиозный герметист, каббалист, розенкрейцерский философ. Свои сочинения, призывавшие, в частности, совершенствовать математические науки (геометрию, музыку, военное искусство, арифметику, алгебру и оптику), он подписывал именем *R. De Fluctibus*, т.е. “поток”.

Редактор **Е.В. Лукина**

Изд. лиц. ИД 04617 от 24.04.2001 г.
Подписано к печати 10. 09. 2002 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс
Печать офсетная. Печ. л. 7,1. Усл. печ. л. 6, 6. Уч.-изд. л. 6,4.
Тираж 250 экз. Заказ №

Издательство ТГУ, 634029, г. Томск, ул. Никитина, 4
Типография «Иван Фёдоров», 634003, г. Томск, Октябрьский взвоз, 1

1) Y заменить *ЧЕТЫРЕЖДЫ* на символ Y в (7) на с. 26-27.

2) ($\tau \neq 0$)

3) при $2{,}15 < \tau < 2{,}16$

4) $c_1 \neq 0$, $c_3 \neq 0$

5) е к $1/|c_2|$) н

I	$\bullet_1$	$\blacksquare_2$	$\circ_3$	Δ_4	$\square_5$	$\bullet$		
II	$\bullet$	$\blacksquare$	$\circ$	Δ	$\square$	$\bullet$	$\blacksquare$	

	Критерий прекращения вычислений					
	1	2	3	4	5	6
x	Любое	0	0	∞	const	$t > t_{max}$
y	0	const	∞	∞	const	
	Способ отображения на плоскости (x, y)					
III	$\circ$	$\circ$	$\circ$	Δ	$\square$	
IV	$\circ$	$\blacksquare$	$\blacksquare$	Δ	$\square$	
V	$\circ$	$\blacksquare$	$\blacksquare$	Δ	$\square$	

сложное ↔ относительно простое, относительно сложное ↔ простое, простое ↔ относительно простое, простое ↔ тривиальное.

6) ($y \to 0$ при $t \to +\infty$). Следовательно, ни один из критериев (табл. 3.1)

7) чивается при $\tau > 0{,}7$. При $\tau \in (0{,}7;\ 0{,}8)$ возникает вторая пустая область (вблизи оси Oy, вдали от оси Ox) – рис. 3.4, в. При $\tau \in (0{,}8;\ 0{,}9]$

[84], а также влечёт и каскады удвоения периода колебаний ($T \to 2T$), и переход $2T \to T$.

8) асимметричная (поскольку $b_1 \neq b_2$) пустая область начальных

9) времён запаздывания в типичном случае $\tau_3 \leq \tau_1 \leq \tau_2$. Заметим, что

10) близок к $12{,}8 \approx 5{,}3 * \tau$. Близость x к нулю в момент t влечёт