

На правах рукописи



Хавинсон Михаил Юрьевич

**ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ ЗАНЯТОГО НАСЕЛЕНИЯ
В ЭКОНОМИКЕ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ ЕВРЕЙСКОЙ
АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ)**

Специальность 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы
экономики»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

**Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном
учреждении науки Институте комплексного анализа региональных
проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук**

Научный руководитель: Фрисман Ефим Яковлевич, член-корреспондент РАН

Официальные оппоненты:

Давыдов Денис Витальевич, доктор экономических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет», кафедра математических методов в экономике, заведующий кафедрой

Гиричева Евгения Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, лаборатория математического моделирования экологических процессов, старший научный сотрудник

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экономических исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук

Защита состоится «27» сентября 2013 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.056.14 в ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет» по адресу: 690922, г. Владивосток, о. Русский, б. Аякс-10, корп. 24, 10 этаж, зал заседаний диссертационных советов.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет».

Автореферат разослан «11» июля 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Е.Б. Олейник

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Острые кризисные явления национальных и мировой хозяйственных систем подчеркнули необходимость нового подхода к системному представлению экономики (Полтерович, 1998; Минакир, Демьяненко, 2010). Альтернативой основному течению экономической теории выступили экономическая синергетика и эконофизика (Zhang, 2002; Короновский, Трубецков, 2002; Капица, Курдюмов, Малинецкий, 2003; Chena, Lib, 2012), основанные на принципах самоорганизации (Haken, 1977; Prigogine, Stengers, 1984), в рамках которых, кроме общих теоретических проблем, рассматриваются и вопросы развития рынка труда.

Справедливо отметить, что моделирование занятости в мейнстриме (основном течении) экономической теории дало ряд важнейших результатов в понимании закономерностей динамики численности занятых. Исследованы вопросы расчета индексных характеристик занятости (Хицкова, 2009; Узяков, Сапова, Херсонский, 2010; Parteka, 2010), эконометрического анализа колебаний занятости (Prasad, 1998; Thomas, 1998; Губанов, 2006; Belke, Heine, 2006), структурных особенностей трудовой миграции и ее влияния на региональный рынок труда (Cushing, Poot, 2003; Гайанов, Галлямов, 2006; Аралбаева, 2006; Hansen, Lofstrom, 2009; Коровкин, 2002, 2005, 2011), возрастных аспектов занятости (Миронова, 2008; Elhorst, 2008; Perugini, Signorelli, 2010) и многие другие.

Синергетическая и эконофизическая концепция эволюции социально-экономических систем сформировала новый взгляд на изучение занятости, который может значимо дополнить неоклассическую экономическую теорию. Основными результатами исследования занятости как нелинейного процесса является теоретическое осмысление и практические приложения концепции детерминированного хаоса, циклов и бифуркаций эволюции регионального рынка труда (Sordi, 1999; Милованов, 2001; Васильев, 2001; Виссен и др., 2004; Heikkinen, 2009; Misra, Singh, 2013). В рамках синергетики и эконофизики, тем не менее, недостаточно изучены весьма актуальные для дальневосточных регионов вопросы теоретического и прикладного характера, связанные с распределением работников по отраслям экономики, трудовой миграцией, возрастной составляющей занятости и динамикой трудовых ресурсов в регионе.

Объект и предмет исследования. Объектом данного исследования является социально-экономическая система спроса и предложения рабочей силы в экономике региона. Предметом исследования выступают экономико-математические модели динамики региональной занятости населения.

Область диссертационного исследования соответствует п. 1.9 «Разработка и развитие математических методов и моделей анализа и прогнозирования развития социально-экономических процессов общественной жизни: демографических процессов, рынка труда и занятости населения, качества жизни населения и др.» паспорта специальности 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы экономики».

Цель работы. Целью диссертационного исследования является разработка и исследование базовых математических моделей для выявления и описания закономерностей динамики численности занятого населения в экономике региона.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- 1) обоснование применения нелинейных динамических моделей для анализа и прогноза региональной занятости населения;
- 2) разработка и реализация алгоритмов параметрической идентификации и исследования моделей динамики численности занятого населения на основе нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами;
- 3) качественное и количественное описание новых характеристик и закономерностей изменения численности занятых в отраслях региональной экономики на основе математической модели;
- 4) качественное и количественное описание множественного равновесия и устойчивости динамики численности экономически активного населения и трудовых мигрантов в экономике региона на основе математической модели;
- 5) качественное и количественное описание закономерностей взаимодействия разновозрастных занятых в экономике региона на основе математической модели;
- 6) качественное и количественное описание, прогнозирование динамики численности занятого населения в экономике Еврейской автономной области (ЕАО) на основе разработанных математических моделей.

Методы исследования. Для построения моделей в работе использован аппарат дифференциальных уравнений. При исследовании экономико-

математических моделей применены критерии устойчивости систем, элементы качественной теории бифуркаций, математического анализа и теории многочленов. Для оценки параметров и численно-аналитического исследования моделей разработан комплекс вычислительных алгоритмов в среде MathCAD.

Научная новизна. В настоящей работе представлены три авторские математические модели, описывающие новые общие закономерности динамики численности занятого населения в отраслевом, миграционном и возрастном аспектах.

Важной особенностью исследования является оригинальное содержательное и модельное сопоставление социально-экономических и природных (физических и биологических) процессов, позволяющее более глубоко анализировать динамику региональной занятости населения в ключе синергетической концепции.

Впервые показано, что динамика численности занятых в отраслях региональной экономики со слабыми межотраслевыми связями подобна процессу охлаждения (нагрева) тела в однородной среде. Предложены новые характеристики динамики факторов производства в отраслевом разрезе: средняя продолжительность существования рабочего места, период n -кратного изменения численности работников, средняя продолжительность существования единицы стоимости основных фондов и период n -кратного изменения стоимости основных фондов.

Впервые показано, что взаимовлияние экономически активного населения и трудовых мигрантов происходит в социально-экономической системе с четырьмя состояниями равновесия, соответствующими: 1) развитию региона с использованием иностранной рабочей силы; 2) развитию региона без использования иностранной рабочей силы; 3) превращению региона в сырьевой придаток; 4) бесперспективной для освоения территории. Установлено, что переход от одного состояния равновесия к другому нетривиален и существенно зависит от скорости изменения численности занятого населения и трудовых мигрантов.

Предложена новая классификация типов взаимодействий разновозрастных занятых в экономике региона. Впервые показано, что взаимодействия работников разных возрастных групп могут приводить к периодическим или нерегулярным колебаниям численности занятого населения в экономике региона.

Разработанные модели применены для анализа и прогноза динамики численности занятого населения ЕАО. Впервые установлено, что наблюдающиеся в ряде случаев флуктуации численности занятых в ЕАО являются затухающими колебаниями, которые могут стать периодическими в случае ухудшения социально-экономической ситуации в автономии.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Динамика численности занятых в регионе со слабыми межотраслевыми связями и в окрестности равновесия подобна процессу охлаждения (нагрева) тела в однородной среде; найденная аналогия является выражением самоорганизации на региональном рынке труда.

2. Взаимовлияние экономически активного населения региона и трудовых мигрантов является системой с четырьмя состояниями равновесия, соответствующими: 1) развитию региона с использованием иностранной рабочей силы; 2) развитию региона без использования иностранной рабочей силы; 3) превращению региона в сырьевой придаток; 4) бесперспективной для освоения территории. Границы областей устойчивости этой системы нетривиальны и зависят от вектора социально-экономического развития региона.

3. Периодические или нерегулярные колебания численности разновозрастных занятых в экономике региона на среднесрочном временном интервале описываются нелинейной моделью и обуславливаются как демографическими факторами, так и предпочтениями работодателей.

Теоретическая и методологическая основа исследования.

Теоретической и методологической основой исследования послужили основные положения синергетики и теории диссипативных структур. Фактологическую базу исследования составили работы российских и зарубежных ученых, систематизированные и обработанные данные периодической печати (в частности, статистические сборники Федеральной службы государственной статистики и Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Еврейской автономной области).

Теоретическая и практическая ценность работы. Основной теоретической ценностью работы является углубление знаний о

закономерностях динамики региональной занятости на основе математического моделирования.

Разработанные модели могут служить научным инструментарием для оценки устойчивости тенденций и прогнозирования нелинейных эффектов динамики численности занятых на региональном уровне. В диссертационной работе на примере ЕАО каждый фундаментальный результат моделирования доведен до конкретного аспекта в практике анализа и планирования социально-экономического развития региона.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 14 международных, 5 всероссийских и 12 региональных конференциях: Международная научная конференция «Российско-китайское приграничье в интеграционных процессах в СВА: проблемы и перспективы», Благовещенск, 2007; XV Международная конференция «Математика. Компьютер. Образование», Дубна, 2008; Третья Международная конференция «Математическое моделирование социальной и экономической динамики (MMSSED-2010)», Москва, 2010; Международная научно-практическая конференция «Долгосрочный прогноз социально-экономического развития мегарегионов (Тихоокеанская Россия – 2050)», Хабаровск, 2010; Международные конференции «Современные проблемы регионального развития», Биробиджан, 2006, 2008, 2010, 2012; XVIII Международная конференция «Математика. Компьютер. Образование», Пушкино, 2011; Международная научно-практическая конференция «Россия и Китай: социально-экономическое взаимодействие между странами и приграничными регионами», Благовещенск, 2011; Международная междисциплинарная научная конференция с элементами научной школы для молодежи «Восьмые Курдюмовские чтения «Синергетика в естественных науках», Тверь, 2012; Международная конференция «Демографическое развитие: вызовы глобализации (Седьмые Валентеевские чтения)», Москва, 2012; Всероссийская научно-практическая конференция «Социально-экономические проблемы формирования трудовых отношений», Омск, 2008; III Международная научно-практическая конференция «Статистические исследования социально-экономических систем в условиях развития мирохозяйственных связей», Орел, 2009; Девятая Всероссийская научно-практическая конференция молодых исследователей, аспирантов и соискателей «Экономика, управление, общество: история и современность», Хабаровск, 2011; Дальневосточная математическая

школа-семинар им. академика Е.В. Золотова, Хабаровск, 2008; региональные школы-семинары молодых ученых, аспирантов и студентов «Территориальные исследования Дальнего Востока», Биробиджан, 2007, 2009, 2011; региональная межвузовская научно-практическая конференция «Высшая школа – ресурс регионального развития», Биробиджан, 2008; региональная научно-практическая конференция «Россия в постреформенный период: региональные аспекты», Биробиджан, 2009; XIV Краевой конкурс молодых ученых и аспирантов «Молодые ученые – Хабаровскому краю», Хабаровск, 2012; III Уральский демографический форум с международным участием «Демографический и миграционный потенциал Урала», Екатеринбург, 2012.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 статей, 6 из которых в изданиях, входящих в Перечень ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Работа изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 30 иллюстраций и 13 таблиц. Список литературы включает 214 наименований.

Содержание работы

Во **введении** обсуждаются аспекты изучения моделирования занятости, дается обоснование актуальности темы, ставится цель и задачи исследования, описывается объект и предмет исследования, теоретическая и методологическая основа исследования, научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы, дается краткое содержание глав диссертации.

Содержание **главы 1** формирует траекторию понимания отдельной фундаментальной и прикладной задачи, моделирования занятости, в обширном семействе современных междисциплинарных научных направлений и традиционной математической экономике.

В **разделе 1.1** приведено определение понятия занятости как с точки зрения исследователей рынка труда, так и в аспекте нормативных документов РФ. Занятость можно определить как труд, интегрированный в систему общественных отношений, при этом труд представляет собой реализованное стремление преодолеть противоречие между человеком и внешним миром;

раскрываются особенности статистического учета и моделирования занятости как непрерывного во времени социально-экономического процесса.

В **разделе 1.2** рассматриваются концептуальные подходы моделирования занятости в экономике региона, которые можно разделить на неоклассический (мейнстрим), основанный на линейных моделях, и эконофизический, использующий преимущественно нелинейные уравнения для описания социально-экономических процессов. В разделе приводятся основные принципы неоклассического подхода моделирования: максимизационный подход трактовки поведения экономических агентов и концепцию равновесия (Nelson, Winter, 1982) и описывается специфика эконофизического подхода, являющегося в аспекте занятости частью синергетики и основывающегося на принципах самоорганизации. Обсуждается возможное применение идей нелинейной динамики в моделировании занятости.

В **разделе 1.3** обсуждаются особенности моделирования занятости в отраслевом, миграционном и возрастном аспектах с учетом характера социально-экономического развития ЕАО.

В последующих трех главах представлены оригинальные модели динамики численности занятых в экономике региона в отраслевом, миграционном и возрастном аспектах. Главы составлены по единой схеме, включающей введение в проблематику исследования, описание принципов построения модели, исследование и верификацию модели на статистических данных ЕАО, содержательную интерпретацию результатов моделирования и общие выводы.

В **главе 2** представлена базовая модель динамики факторов производства для экономики региона со слабыми межотраслевыми связями.

В **разделе 2.1** описана структура уравнений и проведено аналитическое исследование модели динамики факторов производства в экономике региона, в качестве которых рассматриваются численность работников и стоимость основных фондов. Динамика численности работников описывается следующим линейным уравнением

$$dP/dt = (b_2 - b_1) - (a_2 - a_1)P \quad (1)$$

где b_2 – скорость увеличения численности работников вследствие миграции и притока из других отраслей, b_1 – скорость уменьшения численности работников вследствие миграции и притока из других отраслей, a_2 – скорость убыли численности работников вследствие смертности и перехода в категорию экономически неактивного населения (достижение пенсионного возраста, сокращение штата и др.), a_1 – скорость увеличения численности работников за счет притока из категории экономически неактивного населения.

Динамика капитала (основных фондов) отрасли может описываться уравнением типа:

$$dV/dt = (C_2 - C_1)P - (E_2 - E_1)V \quad (2)$$

где P – количество работников, занятых в отрасли, V – основные фонды, t – переменная времени, C_2 – коэффициент вложения инвестиций в прирост стоимости оборудования и транспорта, C_1 – коэффициент затрат на обеспечение охраны труда, E_2 – коэффициент износа основных фондов, E_1 – коэффициент вложения инвестиций в здания и сооружения.

Общая модель динамики факторов производства в экономике региона со слабыми межотраслевыми связями имеет вид:

$$\begin{cases} dP/dt = b_2 - b_1 - (a_2 - a_1)P \\ dV/dt = (C_2 - C_1)P - (E_2 - E_1)V \end{cases}$$

при $b_2 - b_1 = b$, $a_2 - a_1 = a$, $C_2 - C_1 = C$, $E_2 - E_1 = E$ получаем систему

$$\begin{cases} dP/dt = b - aP \\ dV/dt = CP - EV \end{cases} \quad (3)$$

Система (3) имеет единственное положение равновесия:

$$\bar{P} = \frac{b}{a}; \quad \bar{V} = \frac{bC}{aE}.$$

Типы фазовых портретов системы представлены в табл. 1.

В разделе 2.2 приводятся физические аналоги модели динамики факторов производства в экономике региона: закона Ньютона-Рихмана (закон конвекционного обмена) и закон радиоактивного распада. По аналогии с характеристиками радиоактивного распада τ и $T_{1/2}$ определены средняя

продолжительность существования рабочего места τ_p , период n -кратного изменения численности занятых в отрасли $T_{[1/n]p}$, среднее время существования единицы стоимости основных фондов и период n -кратного изменения стоимости основных фондов в отрасли $T_{[1/n]v}$.

Таблица 1.
Фазовые портреты системы (3)

Значения параметров системы		Фазовый портрет
$a \neq E$	$a > 0, E > 0$	устойчивый узел
	$a < 0, E < 0$	неустойчивый узел
	$a < 0 < E$ $E < 0 < a$	седло
$a = E$		вырожденный узел

В разделе 2.3 дается описание алгоритма параметрической идентификации системы дифференциальных уравнений, применяемых для моделирования занятости в настоящей работе. Ключевым аспектом алгоритма является составление и минимизация невязки между расчетными и фактическими данными. Задача параметрической идентификации решается путем минимизации невязки известными методами, в частности методом Левенберга-Марквардта. В данном разделе приведены результаты верификации алгоритма методом двойного пересчета, а также при варьировании начальных приближений коэффициентов и длины ряда данных.

В разделе 2.4 представлено применение и описаны возможности развития модели динамики факторов производства в экономике региона. Для верификации модели использованы соответствующие показатели динамики факторов производства в экономике ЕАО и отдельных отраслей (видов экономической деятельности промышленности, строительстве коэффициентов модели, содержательные интерпретации видов экономической деятельности иллюстрации траекторий (1

значениями выделена жирной линией) и особой точки системы (на рисунках особая точка система – точка *A*), на фазовых портретах отмечена точка *B*, соответствующая начальным данным в текущем периоде (для отраслей экономики 2000 г., для видов экономической деятельности – 2009 г.), и точка *C*, соответствующая прогнозируемому значению переменных (для отраслей экономики 2010 г., для видов экономической деятельности – 2015 г.). Под литерой «а» приведены фазовые портреты системы (3) и траектории динамики факторов производства в ЕАО по отраслям (2000-2004 гг.), под литерой «б» – по видам экономической деятельности (2004-2009 гг.). Из рис. 1 видно, что экономика ЕАО из устойчивого состояния перешла в неустойчивое по стоимости основных фондов, что можно объяснить началом реализации крупного инвестиционного проекта – строительства Кимкано-Сутарского горно-обогатительного комбината.

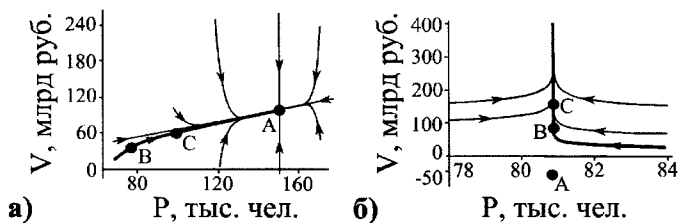


Рис. 1. Фазовый портрет системы (3) и траектории динамики факторов производства в экономике ЕАО

В данном разделе обозначены перспективы развития модели динамики факторов производства в экономике региона. Включение в модель фактора производства – ресурсов может открыть новый аспект синергетического подхода во взаимоотношениях человека и природы. Закономерности потребления полезных ископаемых могут обуславливаться нелинейными взаимодействиями экономической и природной систем, что необходимо учитывать при планировании рационального природопользования. Сформулированный вывод подтвержден результатами моделирования динамики добычи угля в ЕАО на основе модели типа «ресурс-потребитель» А.Д. Базыкина.

Глава 3 посвящена математическому моделированию взаимовлияния занятого населения и иностранных трудовых мигрантов.

В разделе 3.1 приведены принципы построения и структура модели взаимовлияния экономически активного населения и иностранной рабочей силы на региональном рынке труда. Уравнения модели имеют следующий вид:

$$\begin{cases} dx/dt = b_1x - a_1xy + c_1z - k_1x^2 \\ dy/dt = b_2y - a_2xy - k_2y^2 \\ dz/dt = b_3x - c_2z \end{cases} \quad (4)$$

где x – численность местных занятых, y – численность иностранной рабочей силы, z – численность безработных, t – переменная времени, a_1, a_2 – коэффициенты социальных взаимодействий, b_1, b_2 – коэффициенты роста численности местных и иностранных занятых, c_1 – коэффициент трудоустройства безработных, k_1, k_2 – коэффициенты, описывающие эффект мальтузианской ловушки, b_3 – коэффициент безработицы, c_2 – коэффициент сокращения безработицы.

В данном разделе также приведен содержательный смысл коэффициентов уравнений модели взаимовлияния экономически активного населения и иностранной рабочей силы в экономике региона.

В разделе 3.2 описаны результаты численного исследования модели взаимовлияния экономически активного населения и иностранной рабочей силы в экономике региона.

В системе (4) существуют 4 особые точки:

$$\begin{aligned} & A(0; 0; 0), B\left(0; \frac{b_2}{k_2}; 0\right), C\left(\frac{b_1 \cdot c_2 + b_3 \cdot c_1}{c_2 \cdot k_1}, 0, \frac{c_1 \cdot b_3^2 + b_1 \cdot c_2 \cdot b_3}{c_2^2 \cdot k_1}\right), \\ & D\left(\frac{b_1 \cdot c_2 \cdot k_2 - a_1 \cdot b_2 \cdot c_2 + b_3 \cdot c_1 \cdot k_2}{a_1 \cdot a_2 \cdot c_2 - c_2 \cdot k_1 \cdot k_2}, \frac{a_2 \cdot b_1 \cdot c_2 + a_2 \cdot b_3 \cdot c_1 - b_2 \cdot c_2 \cdot k_1}{a_1 \cdot a_2 \cdot c_2 - c_2 \cdot k_1 \cdot k_2}, \frac{b_3^2 \cdot c_1 \cdot k_2 - a_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot c_2 + b_1 \cdot b_3 \cdot c_2 \cdot k_2}{a_1 \cdot a_2 \cdot c_2^2 - c_2^2 \cdot k_1 \cdot k_2}\right), \end{aligned}$$

каждая, из которых соответствует определенному состоянию экономической системы региона. Устойчивости точки A соответствует состояние

бесперспективной для освоения территории (это могут быть северные территории, отдаленные от государственных границ, или территории с использованными ресурсами и, вероятно, с высоким уровнем загрязнения). Устойчивость точки B означает полное превращение региона в сырьевой придаток. Для добычи ресурсов привлекаются только трудовые мигранты. Развитию региона, при котором не используется иностранная рабочая сила, соответствует устойчивость точки C . Устойчивость точки D означает развитие региона с использованием ресурсов трудовой миграции. Также построены и содержательно описаны срезы параметрического пространства модели (рис. 2).

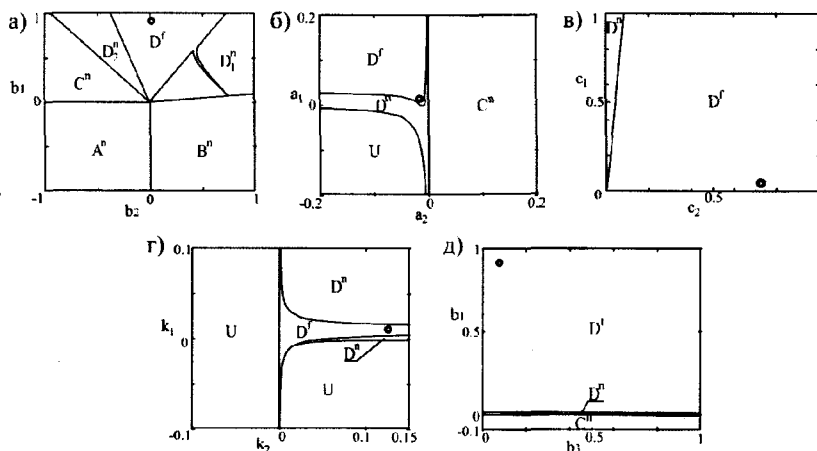


Рис. 2. Параметрические портреты модели

Области параметрических портретов с одним типом устойчивости особых точек обозначаются большими буквами A , B , C , D , соответствующие определенному стационарному состоянию системы (4), с верхним индексом f или n (f означает, что тип устойчивости особой точки – устойчивый фокус, n – устойчивый узел). Метка на рисунках означает положение на параметрическом портрете оцененных по реальным данным коэффициентов модели. В анализе параметрических портретов также особое внимание уделялось появлению и возможности управления колебаниями фазовых переменных.

В разделе 3.3 описаны сценарии динамики численности экономически активного населения и китайской рабочей силы в ЕАО. При варьировании начальных приближений параметров и решение оптимизационной задачи оказалось достаточно неоднозначным и по имеющемуся относительно короткому ряду данных невозможно получить единственную оценку параметров. В результате минимизации целевого функционала, итерационного перебора всевозможных начальных приближений параметров системы (4) и весовых коэффициентов удалось выделить три принципиально разные группы сценариев динамики численности занятых, китайской рабочей силы и безработных в ЕАО (рис. 3).

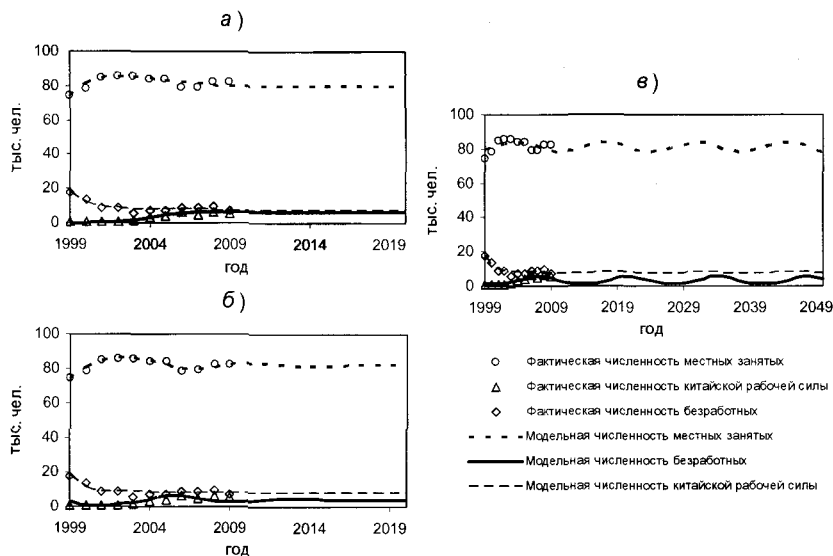


Рис. 3. Стационарный (а), колебательный (б) и периодический (в) сценарии динамики численности местных занятых, китайской рабочей силы и безработных в ЕАО

Стационарный сценарий (рис. 3 а) предполагает переход к постоянной численности местных и иностранных занятых. Колебательный режим (рис. 3 б) устанавливается в ситуации более ограниченного воспроизводства трудовых ресурсов. В случае крайне ограниченного воспроизводства трудовых ресурсов и неэффективности управленческих решений реализуются периодический

сценарий (рис. 3 в). Исходя из экономической ситуации в области, наиболее вероятным следует признать стационарный сценарий.

В главе 4 рассматривается моделирование численности разновозрастных занятых в регионе.

В разделе 4.1 приведено описание модели взаимодействия разновозрастных занятых в экономике региона. В базовом варианте возрастную структуру занятости можно учесть, рассматривая три когорты: 16-29 лет, 30-49 лет и 50 лет и старше. Обозначенные возрастные группы соответствуют трем категориям занятых: работникам с малым опытом работы, работникам со значительным опытом работы и занятым предпенсионного и пенсионного возраста. Модель имеет следующий вид:

$$\begin{cases} dx_1 / dt = b_{11} - b_{12} + b_{13} + (K_{11} - K_{12} - K_{13} + \alpha_{12}x_2 + \alpha_{13}x_3)x_1, \\ dx_2 / dt = b_{21} - b_{22} + b_{23} + (K_{21} - K_{22} - K_{23} + \alpha_{21}x_1 + \alpha_{23}x_3)x_2, \\ dx_3 / dt = b_{31} - b_{32} + b_{33} + (K_{31} - K_{32} - K_{33} + \alpha_{31}x_1 + \alpha_{32}x_2)x_3, \end{cases} \quad (5)$$

где x_i – численность занятых i -ой когорты, t – переменная времени, b_{ij} – коэффициенты миграционных потоков i -ой когорты, K_{ij} – коэффициенты перетока численности занятых и экономически неактивного населения i -ой когорты, смертности и перехода в следующую возрастную i -ой когорты, α_{ij} – коэффициенты влияния когорты i на когорту j , i – одна из когорт 16-29 лет, 30-49 лет, 50 лет и старше. При условиях $b_1 = b_{11} - b_{12} + b_{13}$, $b_2 = b_{21} - b_{22} + b_{23}$, $b_3 = b_{31} - b_{32} + b_{33}$, $K_1 = K_{11} - K_{12} - K_{13}$, $K_2 = K_{21} - K_{22} - K_{23}$, $K_3 = K_{31} - K_{32} - K_{33}$ получаем систему:

$$\begin{cases} dx_1 / dt = b_1 + (K_1 + \alpha_{12}x_2 + \alpha_{13}x_3)x_1, \\ dx_2 / dt = b_2 + (K_2 + \alpha_{21}x_1 + \alpha_{23}x_3)x_2, \\ dx_3 / dt = b_3 + (K_3 + \alpha_{31}x_1 + \alpha_{32}x_2)x_3, \end{cases} \quad (6)$$

Представленная модель может описывать различные типы взаимодействий между разновозрастными работниками. По аналогии с классификацией влияния одной популяции на другую можно определить варианты отношений занятых разных возрастных групп в регионе (табл. 2).

В разделе 4.2 описаны режимы модельной динамики численности разновозрастных занятых. В системе (6) существует 5 особых точек, между

которыми происходят серии бифуркаций, приводящих к разнообразной структуре фазового пространства.

Таблица 2.
Классификация взаимодействий разновозрастных занятых в экономике региона

Тип взаимодействия в биологии	Тип взаимодействия на рынке труда	Влияние первой когорты на вторую	Влияние второй когорты на первую
нейтрализм	отсутствие влияния	0 ($\alpha_{ij} = 0$)	0 ($\alpha_{ji} = 0$)
комменсализм	помощь	+ ($\alpha_{ij} > 0$)	0 ($\alpha_{ji} = 0$)
аменсализм	угнетение	- ($\alpha_{ij} < 0$)	0 ($\alpha_{ji} = 0$)
жертва-эксплуататор	дискриминация	+ ($\alpha_{ij} > 0$)	- ($\alpha_{ji} < 0$)
конкуренция (интерференция)	конкуренция	- ($\alpha_{ij} < 0$)	- ($\alpha_{ji} < 0$)
мутуализм	партнерство	+ ($\alpha_{ij} > 0$)	+ ($\alpha_{ji} > 0$)

* «+» – увеличение (уменьшение) численности занятых одной когорты вызывает увеличение (уменьшение) численности занятых другой; «0» – отсутствие влияния; «-» – увеличение (уменьшение) численности занятых одной когорты вызывает уменьшение (увеличение) численности занятых другой.

Обнаружено, что сложная трехмерная структура в фазовом пространстве образовывается через каскад удвоений периода цикла ($K_1 = 1,015$ и $K_1 = 1,2$) или путем постепенного зашумления предельного цикла ($K_1 = 1,04$) (рис. 4).

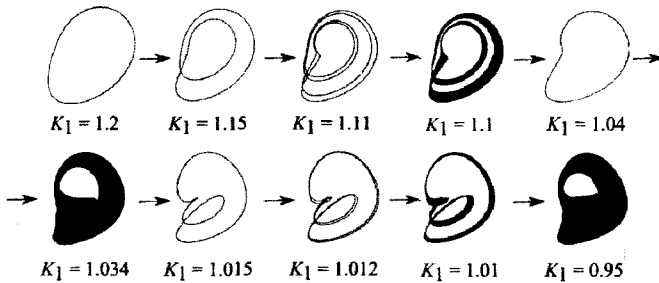


Рис. 4. Эволюция аттрактора в модели

В разделе 4.3 приводятся результаты верификации модели взаимодействия разновозрастных занятых в регионе на статистических данных Еврейской автономной области (рис. 5).

По фактическим данным о динамике численности занятых рассматриваемых возрастных групп в ЕАО получены следующие оценки коэффициентов модели:

$$\begin{cases} dx_1 / dt = 6,055 + (-2,331 + 0,042x_2 + 0,013x_3)x_1 \\ dx_2 / dt = 0,00257 + (0,491 - 0,021x_1 - 0,0039x_3)x_2 \\ dx_3 / dt = 7,585 + (-0,012 + 0,0047x_1 - 0,0103x_2)x_3 \end{cases} \quad (7)$$

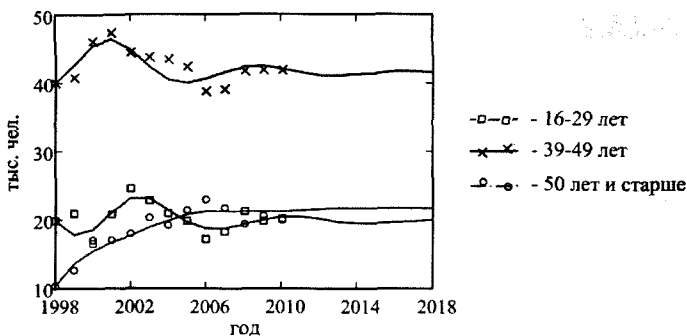


Рис. 5. Фактическая и модельная динамика численности разновозрастных занятых в ЕАО

В данном разделе содержательно описаны параметрические портреты динамики численности разновозрастных занятых в ЕАО. Области параметрических портретов с одним типом устойчивости особых точек отделены границами и обозначены буквами f , n и p (f означает, что тип устойчивости особой точки – устойчивый фокус, n – устойчивый узел, p – наличие периодических решений). Прочерком обозначены области параметрического пространства, в которых нет устойчивых аттракторов либо они находятся в части фазового пространства с отрицательными координатами (рис. 6).

В разделе 4.4 описано применение модели взаимодействия разновозрастных занятых в экономике региона для анализа и прогноза уровня занятости в ЕАО. Для определения прогнозного уровня занятости в ЕАО использован непрерывный аналог модели Лефковича:

$$\begin{cases} dp_0 / dt = m_0 - d_0 p_0 - g_0 p_0 + r_1 p_1 + r_2 p_2 \\ dp_1 / dt = m_1 - d_1 p_1 + g_0 p_0 - g_1 p_1 \\ dp_2 / dt = m_2 - d_2 p_2 + g_1 p_1 - g_2 p_2 \\ dp_3 / dt = m_3 - d_3 p_3 + g_2 p_2 \end{cases} \quad (8)$$

где p_0 – численность когорты 0-15 лет, p_1 – 16-29 лет, p_2 – 30-49 лет, p_3 – 50 лет и старше, m_j – коэффициент миграционного сальдо, d_j – коэффициент смертности, g_j – коэффициент перехода j -ой когорты в следующую возрастную группу ($j=0,1,2$), r_1 – коэффициент рождаемости когорты 16-29 лет, r_2 – коэффициент рождаемости когорты 30-49 лет.

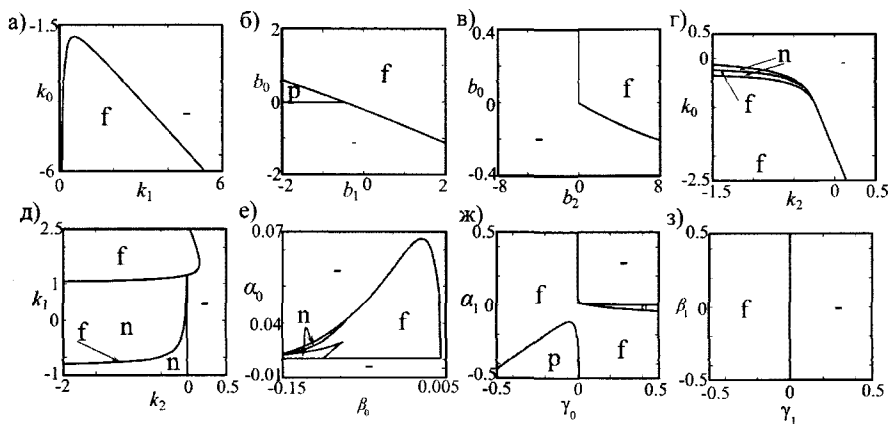


Рис. 6. Параметрические плоскости системы (7)

Получены следующие оценки коэффициентов модели (8):

$$\begin{cases} dp_0/dt = 0,590 - 0,060 p_0 - 0,016 p_0 + 0,010 p_1 + 0,006 p_2 \\ dp_1/dt = 0,498 - 0,006 p_1 + 0,016 p_0 - 0,007 p_1 \\ dp_2/dt = 0,585 - 0,014 p_2 + 0,007 p_1 - 0,021 p_2 \\ dp_3/dt = 3,415 - 0,089 p_3 + 0,021 p_2 \end{cases}$$

Расчетные значения уровня занятости показывают, что в области происходит интенсивное включение в трудовую деятельность возрастной группы 30-49 лет, стабилизация роли на рынке труда граждан 50 лет и старше, уменьшение занятости работающей молодежи.

В заключении диссертационной работы приведены основные выводы и обсуждены перспективы применения эконофизического базового моделирования для анализа и прогнозирования эволюции сложных социально-экономических систем.

В приложениях 1-3 представлены результаты верификации описанного в настоящей работе алгоритма параметрической идентификации систем дифференциальных уравнений.

Основные результаты и выводы

1. Построена и исследована базовая математическая модель динамики факторов производства в экономике региона; по аналогии с физическим процессом определены новые характеристики и общие закономерности изменения численности занятых в отраслях региональной экономики. Показано, что динамика численности занятых региона вблизи точки равновесия аналогична закону теплоотдачи.

2. Построена и частично исследована базовая математическая модель взаимовлияния экономически активного населения и трудовых мигрантов в экономике региона; проанализированы особенности множественного равновесия и устойчивости динамики численности занятого населения и иностранной рабочей силы в регионе. Показано, что значимым параметром, регулирующим численность занятого населения, является скорость изменения численности трудовых мигрантов.

3. Построена и частично исследована базовая математическая модель взаимодействия разновозрастных занятых в экономике региона; по аналогии с популяционными взаимодействиями определены виды взаимодействия занятых различных возрастных групп. Показано, что периодическая или нерегулярная динамика численности разновозрастных занятых обуславливается как демографическими факторами, так и предпочтениями работодателей.

4. Разработанные модели применены к описанию и анализу динамики численности занятого населения ЕАО. Показано, что численность занятого населения автономии в отраслевом разрезе, в условиях трудовой миграции и в возрастном аспекте в настоящее время достигает равновесного значения. Наблюдающиеся в ряде случаев флуктуации численности занятых являются затухающими колебаниями, которые могут стать периодическими в случае ухудшения социально-экономической ситуации в области.

Основные результаты настоящей диссертационной работы опубликованы. Ниже приведены основные публикации по теме диссертации.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Фрисман, Е. Я.** Системная динамика регионального развития : подходы к моделированию блока экономики (на примере Еврейской автономной области) [Текст] / Е. Я. Фрисман, М. Ю. Хавинсон, С. В. Аносова, Б. Е. Фишман, Г. И. Петров // *Пространственная экономика*. – 2007. – № 3(11). – С. 134–146.
2. **Мишук, С. Н.** Иностранная рабочая сила на рынке труда Еврейской автономной области : анализ и прогноз [Текст] / С. Н. Мишук, М. П. Кулаков, М. Ю. Хавинсон // *Проблемы Дальнего Востока*. – 2011. – № 3. – С. 110–116.
3. **Хавинсон, М. Ю.** Математическая модель динамики численности экономически активного населения и иностранной рабочей силы в регионе (на примере Еврейской автономной области) [Текст] / М. Ю. Хавинсон, М. П. Кулаков, С. Н. Мишук // *Информатика и системы управления*. – 2012. – № 1 (31). – С. 95–106.
4. **Курилова, Е. В.** Моделирование динамики добычи минеральных ресурсов в регионе : экономический подход [Текст] / Е. В. Курилова, М. П. Кулаков, М. Ю. Хавинсон, Е. Я. Фрисман // *Информатика и системы управления*. – 2012. – № 4 (31). – С. 3–13.
5. **Хавинсон, М. Ю.** Экономика и естественные науки : горизонт современного диалога (к статье Jean-Philippe Bouchaud «Economics Needs a Scientific Revolution») [Текст] / М. Ю. Хавинсон // *Пространственная экономика*. – 2012. – № 4. – С. 166–171.
6. **Хавинсон, М. Ю.** Прогнозирование динамики внешней трудовой миграции на региональном уровне [Текст] / М. Ю. Хавинсон, М. П. Кулаков, С. Н. Мишук // *Проблемы прогнозирования*. – 2013. – № 2. – С. 99–111. (англ. версия : Khavinson, M. Yu. Prediction of Foreign Labor Migration Dynamics at the Regional Level [Текст] / M. Yu. Khavinson, M. P. Kulakov, S. N. Mishchuk // *Studies on Russian Economic Development*. – 2013. – Vol. 24. – No. 2. – P. 170–178.)

Статьи в научных сборниках и периодических научных изданиях:

7. **Аносова, С. В.** Подходы к оценке влияния крупных инвестиционных проектов на экономические и экологические процессы региона (на примере строительства Кимкано-Сутарского ГОКа в ЕАО) [Текст] / С. В. Аносова, М. Ю. Хавинсон, Е. Я. Фрисман // Региональные проблемы. – 2008. – № 9. – С. 6–9.
8. **Аносова, С. В.** Анализ взаимосвязей показателей социально-экономического развития региона (на примере Еврейской автономной области) [Текст] / С. В. Аносова, М. Ю. Хавинсон // Региональные проблемы. – 2008. – № 10. – С. 5–11.
9. **Хавинсон, М. Ю.** Математическая модель конкурентных отношений разновозрастных специалистов на региональном рынке труда (на примере Еврейской автономной области) [Текст] / М. Ю. Хавинсон, М. П. Кулаков // Региональные проблемы. – 2009. – № 11. – С. 5–12.
10. **Мишук, С. Н.** Международная трудовая миграция в приграничном регионе: анализ и прогнозирование (на примере Еврейской автономной области) [Текст] / С. Н. Мишук, М. Ю. Хавинсон // Региональные проблемы. – 2010. – Т.13. – № 1. – С. 97–100.
11. **Мишук, С. Н.** Демографическая ситуация и рынок труда Еврейской автономной области: взаимосвязи и противоречия [Текст] / С. Н. Мишук, М. Ю. Хавинсон, С. А. Соловченков // Региональные проблемы. – 2010. – Т.13. – № 2. – С. 112–116.
12. **Курилова, Е. В.** Построение и исследование обобщенной модели динамики макрокомпонентов регионального развития (на примере Еврейской автономной области) [Текст] / Е. В. Курилова, М. П. Кулаков, М. Ю. Хавинсон, Е. Я. Фрисман // Региональные проблемы. – 2011. – Т. 14. – № 1. – С. 5–10.

Публикации в материалах научных мероприятий:

13. **Хавинсон, М. Ю.** Подходы к математическому моделированию конкуренции специалистов на рынке труда региона (на примере Еврейской автономной области) [Текст] / М.Ю. Хавинсон // Математическое моделирование в экологии : материалы национальной

конф. с междунар. участием / Пушкино, 1–5 июня 2009 г. – Пушкино : ИФХиБПП РАН, 2009. – С. 291–292.

14. **Khavinson, M. Yu.** Mathematical model of local and foreign workforce interaction (on the example of Jewish Autonomous Region) [Текст] / М. Ю. Khavinson, S. N. Mishchuk // Математическое моделирование социальной и экономической динамики : тез. докл. междунар. науч. конф. / Москва, 23–25 июня 2010 г. – М. : ЛЕНАД, 2010. – С. 265–266.
15. **Хавинсон, М. Ю.** Математическое моделирование динамики иностранной рабочей силы на региональном рынке труда (на примере Еврейской автономной области) [Текст] / М. Ю. Хавинсон, М. П. Кулаков, С. Н. Мишук // Математика. Компьютер. Образование : тез. докл. междунар. конф. / Пушкино, 24–30 янв. 2011 г. – М.-Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – С. 319.
16. **Хавинсон, М. Ю.** Прогнозирование динамики международной трудовой миграции с помощью модели типа «ресурс-потребитель» [Текст] / М. Ю. Хавинсон, М. П. Кулаков, С. Н. Мишук // Восьмые Курдюмовские чтения «Синергетика в естественных науках» : материалы междунар. науч. конф. / Тверь, 18-22 апр. 2012 г. – Тверь : ТГУ, 2012. – С. 237-240.
17. **Хавинсон, М. Ю.** Исследование модели динамики основных производственных факторов регионального развития с точки зрения физики [Текст] / М. Ю. Хавинсон // Современные проблемы регионального развития : материалы междунар. науч. конф. / Биробиджан, 9-12 окт. 2012 г. – Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН – ФГБОУ ВПО «ПГУ им. Шолом-Алейхема», 2012. – С. 209-210.