

Российская академия наук
Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения РАН

УДК 330.4, 519.86

№ госрегистрации

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Директор Учреждения Российской
академии наук Институт математики им.
С.Л. Соболева Сибирского отделения РАН
академик РАН

_____ Ершов Ю.Л.

« ____ » _____ 2010 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по государственному контракту № 14.740.11.0219

ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013

ПОЛИСТРУКТУРНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОЙ
ЭКОНОМИКИ

1 этап

(промежуточный)

Шифр: «2010-1.1-302-123»

Заместитель директора

д.ф.-м.н.

_____ Фокин М.В.

Руководитель темы

член-корреспондент РАН

_____ Суслов В.И.

Новосибирск 2010

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Рук. темы, зам. директора ИЭОПП СО РАН, член-корр. РАН	_____	В.И. Суслов (результаты) С.М. Лавлинский (Реферат, Введение, 1.3.1, Заключение, Приложения А-Б, результаты, подготовка)
Отв. исполнитель темы, исп. директор НОЦ, д.т.н.	_____	Береснев В.Л. (1.4.1, 1.4.2, результаты)
заместитель директора ИМ СО РАН, д.ф.-м.н.	_____	Суспицин С.А. (1.3.2, результаты)
зав. отделом ИЭОПП СО РАН д.э.н.	_____	Баранов А.О. (1.2.1,1.2.2, результаты, подготовка)
проф. НГУ, д.э.н.	_____	Кравченко Н.А. (1.1.3, результаты, подготовка)
проф. НГУ, д.э.н.	_____	Юсупова А.Т. (1.1.2, результаты)
проф. НГУ, д.э.н.	_____	Кузнецова С.А. (1.1.1, 1.1.4 результаты)
зав. кафедрой НГУ, к.т.н.	_____	Бекарева С.В. (1.1.4, результаты)
доц. НГУ, к.э.н.	_____	Береснева А.В. (1.1.1,1.1.2, результаты)
доц. НГУ, к.э.н.	_____	Ибрагимов Н.М. (1.2.3, 1.2.4, результаты)
доц. НГУ, к.э.н.	_____	Плясунов А.В. (1.5.1,1.5.2, результаты, подготовка)
с.н.с. ИМ СО РАН, к.ф.-м.н.	_____	Кочетов Ю.А. (1.5.3, результаты)
с.н.с. ИМ СО РАН, к.ф.-м.н.	_____	Алексеева Е.В. (Введение, 1.5.2, результаты, подготовка)
н.с. ИМ СО РАН, к.ф.-м.н.	_____	Руднев А.С. (1.5.3, результаты)
н.с. ИМ СО РАН, к.ф.-м.н.	_____	Орозбеков Н.А. (1.5.4, результаты)
н.с. ИМ СО РАН, к.ф.-м.н.	_____	Бобылев Г.В. (1.1.2, результаты)
м.н.с. ИЭОПП СО РАН	_____	Ащеулов Е.С. (1.3.2, результаты)
м.н.с. ИЭОПП СО РАН	_____	Коледа А.В. (1.3.2, результаты)

аспирант НГУ	_____	Халимова С.Р. (1.1.3, результаты)
аспирант НГУ	_____	Анохин Р.Н. (1.1.2, результаты)
аспирант НГУ	_____	Фурсенко Н.О. (1.1.2, результаты)
аспирант ИЭОПП СО РАН	_____	Семькина И.О. (1.3.2, результаты)
аспирант ИЭОПП СО РАН	_____	Бехтерева С.Ю. (1.3.2, результаты)
аспирант ИЭОПП СО РАН	_____	Доможиров Д.А. (1.2.3, результаты)
аспирант ИЭОПП СО РАН	_____	Неустроев Д.О. (1.2.3, результаты)
аспирант ИЭОПП СО РАН	_____	Курочкин А. А. (1.5.3, результаты)
аспирант ИМ СО РАН	_____	Давыдов И. А. (1.5.3, результаты)
аспирант ИМ СО РАН	_____	Мельников А.А. (1.4.3, результаты)
студент ММФ НГУ	_____	Панин А.А. (1.5.4.1, результаты)
студент ММФ НГУ	_____	Хмелев А.В. (1.5.4.2, результаты)
студент ФИТ НГУ	_____	Яковлев А. С. (1.5.4.1, результаты)
Нормоконтролер	_____	Кравченко С.В.

Реферат

Отчет 95 с., 1 ч., 4 рис., 1 табл., 72 источника, 2 прил.

Тема: ПОЛИСТРУКТУРНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

Ключевые слова: *структурные параметры инновационных процессов; макроэкономический анализ долгосрочного экономического роста; модели эндогенного технологического прогресса; индикативное планирование; массивы региональных индикаторов; игра Штакельберга; двухуровневые задачи размещения производства и ценообразования.*

Основным объектом исследования является задача формирования адекватного инструментария анализа и оценки инновационных возможностей основных агентов экономики и степени их реализуемости в существующих условиях. Такие условия включают специфику структуры экономики; уровень развития науки, образования и технологий, институциональное устройство; социальные и культурные паттерны взаимодействий участников инновационных процессов. Этот инструментарий должен учитывать сложность и многообразие форм взаимодействия множества экономических агентов на микро-, мезо- и макроуровнях, доминирующие модели поведения фирм, системы стимулов и барьеров для распространения «лучших практик», возможности и ограничения финансирования инвестиционной и инновационной деятельности и др.

Выполнение НИР в целом направлено на проведение фундаментальных исследований в области инновационной экономики с целью получения научных результатов мирового уровня, на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, а также формирование эффективных и жизнеспособных научных коллективов.

В процессе выполнения 1 этапа НИР проведены следующие работы.

1. Была проанализирована эволюция подходов к исследованию инновационных процессов и уточнена концепция экономического анализа структурных параметров инновационных процессов на микро- и мезоуровне.
2. Обобщен зарубежный и отечественный опыт анализа инновационных процессов на макроуровне, включая проблемы моделирования эндогенного экономического роста с учетом исследовательского сектора, обучения через практику и прикладных инноваций.
3. Сформулирована концепция индикативного планирования как основы инновационных технологий регионального управления и разработана методика построения сопоставимых массивов региональных индикаторов.

4. Разработаны математические модели конкурентной борьбы на рынке новых видов продукции с различными критериями оптимальности поведения участников рынка.
5. Приведен краткий обзор моделей размещения и ценообразования, сформулированы базовые постановки двухуровневых задач, рассмотрены точные и приближённые алгоритмы решения для задачи ценообразования.

В результате исследований проведен обзор литературы и поставлены основные задачи НИР. По ряду направлений получены новые фундаментальные результаты мирового уровня, которые доложены на различных научных форумах и опубликованы в монографиях и статьях.

Обозначения и сокращения

ИМ СО РАН - Институт математики Сибирского отделения Российской академии наук.

ИЭОПП СО РАН - Институт экономики и организации промышленного производства
Сибирского отделения Российской академии наук.

НГУ – Новосибирский государственный университет.

НОЦ – научно-образовательный центр.

ММФ – механико-математический факультет.

ФИТ – факультет информационных технологий.

Содержание

	Введение	8
1	Обзор литературы и постановка задач	10
1.1	Уточнение концепции экономического анализа структурных параметров инновационных процессов на микро- и мезоуровне	10
1.1.1	Структурные параметры инновационных процессов	12
1.1.2	Эволюция подходов к исследованию инновационных процессов	13
1.1.3	Мезоуровень инновационной системы	20
1.1.4	Микроуровень инновационной системы: фирмы	24
1.2	Обобщение зарубежного и отечественного опыта моделирования и анализа инновационных процессов на макроуровне	29
1.2.1	От экзогенного к эндогенному описанию технологического прогресса в макроэкономическом анализе и математических моделях	29
1.2.2	Моделирование эндогенного экономического роста с выделением в экономике исследовательского сектора	34
1.2.3	Моделирование эндогенного экономического роста с учетом обучения через практику и прикладных инноваций	40
1.2.4	Исследования влияния человеческого капитала и инноваций на долгосрочный экономический рост в России	44
1.2.5	Некоторые важнейшие направления развития исследований долгосрочного экономического роста и их критика	46
1.3	Формулировка концепции индикативного планирования и разработка методики построения сопоставимых массивов региональных индикаторов	49
1.3.1	Индикативное планирование – основа инновационных технологий в региональном управлении	49
1.3.2	Методика построения сопоставимых массивов региональных индикаторов	56
1.4	Разработка математических моделей конкурентной борьбы на рынке новых видов продукции с различными критериями оптимальности поведения участников рынка	60
1.4.1	Задача лидера в игре Штакельберга	60
1.4.2	Задача выбора наилучшего решения в конкурентной борьбе на рынке	62
1.4.3	Математические модели	64
1.5	Постановка моделей ценообразования и размещения производства	67
1.5.1	Обзор задач размещения и ценообразования	69
1.5.2	Постановка задачи размещения производства и ценообразования	72

1.5.3	Точные алгоритмы решения задачи ценообразования	75
1.5.4	Приближённые алгоритмы решения задачи ценообразования	78
1.5.4.1	Приближённый алгоритм с оценкой $\log n$	78
1.5.4.2	Генетический алгоритм	81
2	Показатели	84
3	Заключение	85
4	Список использованных источников	86
	Приложение А Список публикаций исполнителей	91
	Приложение Б Список сделанных исполнителями докладов	93

Введение

Перспективы дальнейшего развития России и восстановления экономического роста определяются тем, сможет ли наша страна перейти на инновационный путь развития, который является основой для получения долговременных конкурентных преимуществ как экономики в целом, так и отдельных предприятий. Достижение этой цели предполагает разработку и реализацию долгосрочной политики, прежде всего, на государственном уровне. Однако для успешной реализации любых политических решений и мероприятий необходимо сформировать адекватный инструментарий анализа и оценки инновационных возможностей основных агентов экономики и степени их реализуемости в существующих условиях. Такие условия включают специфику структуры экономики; уровень развития науки, образования и технологий, институциональное устройство; социальные и культурные паттерны взаимодействий участников инновационных процессов. Этот инструментарий должен учитывать сложность и многообразие форм взаимодействия множества экономических агентов на микро-, мезо- и макроуровнях, доминирующие модели поведения фирм, системы стимулов и барьеров для распространения «лучших практик», возможности и ограничения финансирования инвестиционной и инновационной деятельности и др.

В настоящее время исследования в области экономики инноваций в целом, влияния инноваций на конкурентоспособность национальной экономики находятся на начальном этапе своего развития и в большей степени ориентированы на выявление наиболее актуальных проблем, в то время как варианты, способы, методы, инструменты и пути их решения пока не получили полного представления в научных разработках. Основная цель НИР – создание модельно-методического инструментария анализа инновационных процессов, позволяющего принципиально изменить положение дел с этой проблематикой.

Выполнение НИР направлено на проведение фундаментальных исследований в области инновационной экономики, с целью получения научных результатов мирового уровня, на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, а также формирование эффективных и жизнеспособных научных коллективов.

Запланированные исследования 1 этапа являются заделом для всей НИР. В ходе работ предполагается уточнить концепцию экономического анализа структурных параметров инновационных процессов на микро- и мезоуровне и обобщить зарубежный и отечественный опыт анализа инновационных процессов на макроуровне. Важная роль в работах 1 этапа отведена формулировке концепции индикативного планирования и разработке методики построения сопоставимых массивов региональных индикаторов. Совместно с математическими моделями конкурентной борьбы на рынке новых видов продукции и.

моделями размещения и ценообразования, эти исследования определяют фронт работ 1 этапа и позволяют в максимальной степени конкретно поставить основные задачи, решаемые в рамках НИР.

1. Обзор литературы и постановка задач

В рамках работ первого этапа НИР был проведен обзор литературы, относящейся к тематике проекта, и обобщен зарубежный и отечественный опыт моделирования и анализа инновационных процессов. Основной акцент сделан на проблемах создания инструментария, включающего системы инструментов экономического анализа и оценки структурных параметров инновационных процессов на микро- и мезоуровне, модельно-методические комплексы для больших экономических систем, методики оценки системных последствий реализации сценариев модернизации экономики для территориальной структуры страны.

В отчете приведено описание работ по пунктам календарного плана в соответствии с техническим заданием.

1.1. Уточнение концепции экономического анализа структурных параметров инновационных процессов на микро- и мезоуровне

Большинство мировых прогнозов научно-технического развития¹ утверждают, что в будущем продолжится ускорение технологического развития, при этом будет усиливаться междисциплинарный характер создания и использования инноваций. Рост глобальной конкуренции будет сопровождаться увеличением дифференциации возможностей и движущих сил научно-технического и инновационного развития между странами и регионами. Создание, расширение и поддержание научно-технического и инновационного потенциалов потребуют значительных усилий со стороны государства, региональных органов управления, предпринимательского сектора и общественности, которые должны быть направлены на развитие законодательства, рост инвестиций в НИОКР и в сферу образования, обеспечение общественной поддержки предпринимательской деятельности и инновационных инициатив.

Реализация накопленного потенциала, которая происходит не только в форме создания новых продуктов, услуг и использования новых технологий, но в конечном счете в повышении уровня и качества жизни населения, определяется развитием не только и не столько производственных мощностей, сколько формированием институциональных условий и развитием человеческого капитала, которые и определяют содержание экономики знаний. Использование возникающих в будущем технических и технологических возможностей будет связано со многими социальными последствиями. Возможности применения новых технологий будут во все большей степени определяться нетехническими

¹ Evaluation of the European Technology Platforms, 2008.

барьерами и ограничениями, такими как рыночный спрос, затраты, инфраструктура, политика, регулирование.

В течение последних десятилетий большинство развитых стран предпринимают значительные усилия для того, чтобы стимулировать создание и развитие инноваций. В последние 10-15 лет инновационное развитие провозглашено национальным приоритетом в России, Китае, Бразилии, Индии и многих других странах. Сам факт того, что инновационное развитие становится национальной доктриной, предполагает, что существуют возможности по активизации инновационных процессов.

Создание знаний и развитие инноваций на их основе становятся все более сложными и динамическими процессами, и отдельные участники экономики не могут фокусироваться только на создании собственных знаний. Отдельные инновационные структуры и агенты должны интегрироваться в глобальные потоки исследований, знаний и инноваций.

На фоне усложнения конфигурации инновационных систем и растущего разнообразия инновационных процессов особенно важным представляются исследования структурных форм различных взаимодействий между субъектами инновационных процессов.

Безусловной проблемой современного состояния российской инновационной системы можно считать низкую степень взаимодействия локальных систем друг с другом, наличие разрывов между отдельными звеньями инновационного цикла, несбалансированность спроса и предложения на рынке инноваций.

Предлагаемый концептуальный подход к исследованию структурных форм опирается на теорию инновационных систем, которая учитывает многоуровневый характер инновационных процессов, конфликтность и комплементарность целей и интересов различных заинтересованных сторон, нелинейность и стохастичность процессов инновационного развития. Авторский подход к экономическому анализу организации инновационных процессов объединяет следующие компоненты:

1. анализ существующих структурных форм организации взаимодействия участников инновационного процесса, включая оценку их эффективности.
2. оценку применимости существующих методов и инструментов исследования структурных взаимодействий агентов инновационного процесса на мезо- и микроуровнях (включая методический аппарат теории отраслевых рынков, траекторий технологического развития, стратегического анализа).
3. разработку схемы структурного анализа инновационных процессов, сформированной на основе синтеза перечисленных подходов.
4. апробацию применения предлагаемой схемы структурного анализа инновационных процессов на примере Новосибирского научного центра.

1. 1.1. Структурные параметры инновационных процессов

Инновационные процессы представляют сложный комплекс научно-технических, производственных, организационных, маркетинговых и финансовых видов деятельности от формулирования идеи до освоения промышленного производства, выпуска продукта на рынок и достижения коммерческого эффекта

В классическом понимании процесс создания и внедрения инновации представляет собой последовательность взаимосвязанных действий, начинающихся с фундаментального научного исследования и заканчивающихся промышленным производством и распространением (диффузией) новой технологии. В последние десятилетия во всех развитых странах наблюдается тенденция возрастания вклада фундаментальных открытий в развитие промышленности.

Возрастающая сложность, комплексность и междисциплинарный характер исследований и инноваций способствуют концентрации исследований и развитию новых организационных форм их проведения: креативные сети; кластеры; технопарковые структуры; исследовательские альянсы крупных корпораций, совместные исследовательские проекты исследовательских и образовательных организаций, институты и подразделения НИОКР внутри крупных корпораций. Существенно различаясь по организационной структуре, механизмам финансирования, персоналу и исследуемым технологиям, все организационные формы преследуют общую цель: быстрый и эффективный трансфер технологий.

При структуризации инновационного процесса можно с различной степенью детализации придерживаться следующей схемы: поисковые исследования – прикладные исследования – разработки – подготовка производства и пробный маркетинг – коммерческое производство. Разумеется, не каждое нововведение проходит все эти стадии, например, стадия исследований характерна только для масштабных базовых нововведений. Последовательность этапов составляет линейную модель инновационного процесса. Простота и удобство линейной модели инновационного процесса привлекают сторонников данной концепции и обуславливают ее широкое применение.

Особенность инновационного процесса состоит в том, что неопределенность в смысле технической осуществимости (технический риск) снижается по мере продвижения продукта по стадиям, тогда как неопределенность в смысле коммерческого успеха сохраняется до начала коммерческого производства.

Практика показала, что линейная модель инноваций не отражает всю сложность взаимоотношений между участниками процесса. Анализ сложных инноваций показывает,

что между различными стадиями процесса существуют как прямые, так и обратные взаимосвязи.

В мировой практике существует ряд отличных от линейного подходов к организации инновационного процесса, характерной чертой которых является более тесное взаимодействие и реальная интеграция участников различных стадий инновационного цикла. В основе интерактивных моделей лежит положение о том, что процесс создания инновации не является четко выраженным, последовательно реализуемым многостадийным процессом. Интегрированная модель характеризуется высоким уровнем интеграции различных участников инновационного процесса, включая сложные взаимодействия, петли обратной связи, коммуникации между маркетингом, исследованиями и разработками, производством и распределением инноваций. Сетевые модели отражают растущую стратегическую и технологическую интеграцию между различными организациями во внешней среде и внутри фирмы. Открытые инновации продолжают и развивают значение взаимодействий между различными участниками инновационной системы, включая внутренние и внешние ресурсы знаний, навыков и умений.

Общим вектором изменений можно считать увеличение структурного разнообразия, распространение нелинейных структур, повышение организационной гибкости на фоне стратегической и технологической интеграции.

1.1.2. Эволюция подходов к исследованию инновационных процессов

Теоретические представления о возможностях регулирующих воздействий на инновационные процессы на национальном и региональном уровнях значительно эволюционировали. С неоклассических позиций необходимость государственного вмешательства возникает в результате провалов рынка и искажений информационных сигналов, но формы и пределы этого вмешательства не определяются. В рамках шумпетерианских взглядов государственная поддержка требуется для увеличения вложений в инновации, то есть инвестиций в исследования и разработки и в человеческий капитал. Позднее различные эволюционные и институциональные теории значительно расширили представления о возможностях государственной политики в инновационной сфере, в том числе ее пространственных характеристиках. С позиций институциональной теории основное внимание государственной политики должно концентрироваться на создании связанной инновационной системы и преодолении различных разрывов и дисбалансов между отдельными участниками и функциями. Эволюционные взгляды довольно близки к институциональным, но они особо выделяют необходимость развития творческих и когнитивных способностей на всех уровнях системы, а также разнообразия инструментов и

механизмов инновационной политики в зависимости от конкретных условий и обстоятельств. Государственная политика в инновационной сфере рассматривается как ситуационный выбор между различными инструментами, старыми и новыми, а также их различными комбинациями, при этом этот выбор происходит под воздействием множества заинтересованных участников, и чаще всего представляет собой некоторый компромисс между целями и интересами различных сторон.

Концепция национальной инновационной системы (НИС) была предложена Кристофером Фрименом в конце 80-х гг. для объяснения различий в технологическом развитии стран. Идея, которая была выдвинута также в работах Ф.Листа, заключается в том, что устойчивая конкурентоспособность основана на способности создавать и использовать знания, а не на ценовых преимуществах (низкие цены и дешевая рабочая сила) и не на эксплуатации природных ресурсов. Концепция НИС основана на представлении об инновации как процессе и результате множества случайных взаимодействий, в которых участвуют различные люди и организации. Общие результаты зависят не только от каждого отдельного элемента НИС, но и от их взаимодействий как частей коллективной системы создания и использования знаний, поддерживаемой общественными институтами, ценностями и нормами.

К этому времени и относятся первые попытки оценить и измерить инновационную систему в целом. Для получения оценок проводятся регулярные специальные обследования, создаются новые источники информации. Расширяется круг используемых показателей, делаются попытки учесть разные типы инноваций, в том числе нетехнологические, и создать основу для межстрановых сравнений. В собираемые статистикой данные включается предоставляемая компаниями информация о новых методах управления и организации, о способах ценообразования и других инновациях, не связанных непосредственно с развитием техники и технологий. В ряде стран, прежде всего в ЕС разрабатываются индексы, обобщающие системное видение инновационных процессов.

В настоящее время основные усилия в измерении и оценке инновационных систем направлены на то, чтобы отразить и учесть системные взаимодействия и их динамику: между участниками, организациями, странами. Взаимные связи включают различные формы кооперации, обмена идеями, совместные действия. Сети и кластеры становятся доминантной формой организации инновационной деятельности. Примерно две трети успешных инноваций в США связаны с какими-нибудь формами кооперации между компаниями, а также между компаниями и государственным сектором (правительственные агентства и федеральные лаборатории) и университетами. Инновации становятся результатом все более сложных взаимодействий между фирмами и при этом возрастает роль федерального

финансирования. В попытках уловить нарастание сложности и множественности взаимодействий рождается термин «тройная спираль» (Triple Helix) – бизнес, государство и университеты² образуют некое подобие цепочки ДНК, в которой закодированы перспективы будущего развития.

Еще одно важное направление связано со стремлением учесть самые разные проявления креативности как сущностного атрибута экономики знаний. Большинство исследователей и практиков подчеркивают важную роль неформализуемого знания и потоков знаний между участниками, но эти потоки трудно уловить и еще труднее оценить. Инновации создают не только ученые и инженеры. Произведения дизайна, торговые марки, даже фильмы и другие произведения искусства – это новые, получившие коммерческое признание и рыночный успех, результаты человеческого творчества.

С 2008 г. в европейские инновационные метрики включены данные о числе новых торговых марок и новых образцов дизайна, а в США предлагают учитывать число разработанных Web – сайтов, число музыкальных записей и публикации новых книг.

Ниже в таблице 1 представлены этапы развития представлений об инновациях и соответствующие изменения «метрик» инноваций.

Таблица 1.1.2.1 - Эволюция измерения инноваций.

период	1. 1950-60	2. 1970-80	3. 1990	4. 2000-е
фокус внимания	Затраты	Результаты	Процесс	Система
показатели	<ul style="list-style-type: none"> • Затраты на исследования и разработки • Научно-технический персонал 	<ul style="list-style-type: none"> • Патенты • Публикации • Продукты • Качество 	<ul style="list-style-type: none"> • Обследования • Индексы • Бенчмаркинг инновационной деятельности 	<ul style="list-style-type: none"> • Знания • Нематериальные активы • Сети • Кластеры • Методы управления • Системная динамика

ОЭСР определяет национальную инновационную систему как совокупность институтов, относящихся к частному и государственному секторам, которые индивидуально

² В отличие от России, в США университеты являются исследовательскими центрами, так что в них происходит синтез науки и образования.

и во взаимодействии друг с другом обуславливают развитие и распространение новых технологий в пределах конкретного государства (1997 г.).

Как уже говорилось выше, набор элементов, входящих в НИС, не является жестко фиксированным. Тем не менее, обобщая проведенные за последние годы исследования, можно назвать те элементы, которым уделяется основное внимание большинством авторов.

Ключевыми элементами НИС являются:

- Инновационно-активные компании, которые осуществляют инвестиции в исследования и разработки и внедрение новых технологий для создания потребительской ценности и роста доходов.
- Государственные и частные институты, поддерживающие и ведущие исследования и способствующие распространению новых технологий.
- Система высшего образования, объединяющая исследования и подготовку кадров.
- Макроэкономическая среда и инфраструктура, в том числе финансовая.

В последние годы представление об элементах и подсистемах НИС существенно расширяется – в нее включаются не только высшее образование, но и вся образовательная система, услуги, культура и «образ мышления». Идет активное обсуждение того, как именно можно определить и оценить количественно состояние инновационной системы.

Этот подход, безусловно, не является формальной теорией. Он не содержит четких и стабильных соотношений между переменными, не гарантирует причинно-следственных зависимостей, но создает основу для выявления различных факторов, которые влияют на инновационный процесс. Поэтому НИС можно точнее охарактеризовать как *концептуальный подход*³, нежели как теорию.

В настоящее время эта концепция объединяет несколько положений, среди которых наиболее важными можно считать следующие:

- Взаимодействия между наукой, технологиями и инновациями имеют сложную интерактивную природу и далеки от простой линейной модели.
- Инновационная система открыта, и не может быть замкнута, так как границы определяются преимущественно для кодируемых и, следовательно, конкретных, знаний, технологий и продуктов, в то время как выстроить границы для потоков не кодируемых, неформализуемых знаний намного сложнее.

³ См., например, Godinho M., Mendonca S., Pereira T. A Taxonomy of National Innovation System: Lessons from an exercise comprising a large sample of both developed, emerging and developing countries.; Emerging challenges for science, technology and innovation policy research: A reflexive overview// Research Policy 38 (2009), с. 571 – 582.

- Процессы технологического развития и развития инноваций имеют преимущественно эволюционный характер, и довольно редко происходят за счет спонтанного создания новых технологий.

- Инновационный потенциал отдельной страны или территории определяется не только и не столько возможностями отдельных участников (предприятий, университетов, научных организаций и др.), сколько связями и взаимодействиями между ними.

- Фирмы инвестируют в исследования и разработки не только для того, чтобы создавать новые технологии, но также для того, чтобы воспринимать и использовать результаты исследований, выполненных другими участниками.

- Очень важна системообразующая роль государства: правительство (на различных уровнях) устанавливает границы инновационной системы; определяет регулирующие нормы, стандарты и правила; предоставляет значительную часть финансирования, обеспечивает правовые режимы и принуждение к выполнению контрактов и так далее. Регулирование со стороны правительства может как стимулировать, так и ограничивать инновационную деятельность.

- Наконец, экономический рост и устойчивость не обязательно несовместимы.

В течение последних 30 лет эта концепция стала господствующей и приобрела массовую популярность в исследованиях инновационной деятельности, прежде всего, на наш взгляд, по двум причинам: во-первых, она позволяет сравнивать различные страны и регионы, а, во-вторых, она может служить инструментом государственной и региональной политики. Концепция НИС стала основой для государственной политики в области развития в ЕС, США, многих других странах. В отечественных стратегических документах в качестве приоритета называется развитие национальной и региональных инновационной системы.

Итак, современная экономическая теория предлагает достаточно убедительные аргументы в пользу того факта, что инновационная система во многом определяет возможности и перспективы развития. В данном случае речь идет не только о технологическом развитии, но о развитии общества в целом, здесь употребляются термины социально-технологическая система, техно-экономическая система и др.

Усилия ученых, аналитиков, практиков и политиков концентрируются преимущественно на двух направлениях поиска: изучение результатов инновационной деятельности, спектр которых постоянно расширяется, и на исследовании инновационных процессов. В последние годы наблюдается смещение главного фокуса исследований с результатов на процесс, что особенно отчетливо проявляется в работах европейских ученых.

Каким образом система способствует процессам инновационного развития? Это зависит от состава, степени выполнения и распределения между участниками разнообразных функций, осуществляемых в границах (и за пределами границ) инновационной системы.

В исследовательской среде используется много различных подходов к выделению функций инновационной системы. Так, в соответствии с блоками (подсистемами) инновационной системы выделяются функции генерации знаний, передачи и распространения (знаний, технологий, инноваций).

По мнению ученых из Университета Утрехта⁴ (Нидерланды), ключевые функции инновационной системы включают: предпринимательскую деятельность; генерацию новых знаний; распространение знаний; определение приоритетов; создание новых рынков; мобилизацию ресурсов; снижение «уровня сопротивления» среды.

Рассмотрим перечисленные функции более подробно.

1. Предпринимательская активность. Пожалуй, предприниматели являются наиболее важными для инновационной системы: без них инновации не происходят, а инновационная система не существует. Предпринимательская деятельность превращает потенциал новых знаний, технологий и рынков в инновационные товары и услуги, представляющие ценность для потребителей и обеспечивающие конкурентоспособность компаний. Конкретные действия предпринимателей создают и используют преимущества новых возможностей для создания и развития бизнеса.

2. Создание знаний. Цитируя Б. Лундвала⁵, «самым фундаментальным ресурсом в современной экономике является знание, и, соответственно, наиболее важный процесс – обучение». Производство нового знания и обучение – необходимые условия существования инновационной системы. Обучение означает восприятие и освоение нового знания, и включает множество процессов, начиная с научных изысканий и до освоения ноу-хау и рабочих навыков в производстве и распределении.

3. Распространение знаний. Большинство исследователей отмечают увеличение роли различных сетевых взаимодействий в процессах диффузии знаний. Особое значение сети приобретают в передаче знаний между различными уровнями инновационной системы и между ее различными участниками. Эффективность сетевой организации деятельности

⁴ Hekkert M.P., Negro S.O. Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for early claims// *Technological Forecasting & Social Change*. 76 (2009) стр. 584 -594.

⁵ Lundval B.- A. (Ed.) *National Systems of Innovation – Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter, London, 1992.

состоит в том, что ее результат нелинейно повышается при росте масштабов сети. Каждый узел сети получает дополнительный эффект от увеличения количества узлов.

Большинство успешных технологических инноваций сегодня создаются в результате объединения знаний и возможностей специалистов различных дисциплин. Гениальные одиночки существуют, но для того, чтобы открытие стало товаром, нужно управление взаимодействиями и организация совместной работы таких групп.

4. Определение приоритетов и направление исследований. Эта функция осуществляется за счет разнообразных действий внутри инновационной системы, которые помогают участникам сформировать видение о перспективных направлениях, потребностях пользователей технологических решений, долгосрочных приоритетах технологического развития, и т.д. В частности, формулирование долгосрочных целей развития, создание перечней перспективных технологий, обозначение государственных приоритетов и другие действия помогают участникам системы накапливать информацию для принятия решений и в какой-то степени снижают общий уровень неопределенности и риска, связанного с осуществлением инновационных проектов.

Например, в России в числе таких объявленных приоритетов – развитие нанотехнологий, в США – технологии использования возобновляемых источников энергии.

5. Создание рынков. Как правило, новые технологии конкурируют с уже существующими, поэтому важная функция системы – это создания режима «особого благоприятствования» для новых технологий. В частности, во многих странах используются временные «нишевые рынки» для применения новых технологий. Например, для компаний, внедряющих новые технологии, предоставляются льготные режимы налогообложения, таможенные освобождения, обеспечивающие таким компаниям временное конкурентное преимущество. В числе последних примеров - американский антикризисный «план Полсона» (Закон о неотложных мерах по стабилизации экономики, Emergency Economic Stabilization Act of 2008). В этот план включена система мер, направленных на поддержку компаний – производителей и потребителей технологий, связанных с использованием возобновляемых источников энергии. В эту систему мер входят различные льготы производителям и потребителям энергии из возобновляемых источников, а также стимулы для повышения эффективности использования электроэнергии.

6. Мобилизация ресурсов. Для всех видов инновационной деятельности необходимы ресурсы, финансовые, человеческие, материальные, информационные и другие. Мобилизации ресурсов (как общих, так и специализированных) способствуют институты инфраструктуры инновационного рынка, снижающие транзакционные издержки, с которыми связан поиск, привлечение и использование различных видов ресурсов. Важным свойством

системы является ее способность мобилизовать ресурсы из различных источников – национальных, международных, частных, государственных и формирование комбинаций, в наибольшей степени соответствующих потребностям конкретных инновационных процессов и проектов.

7. Создание условий для снижения уровня сопротивления изменениям. Новые технологии, товары и услуги обычно вступают в конкуренцию с уже существующими технологиями и товарами. Соответственно, часто возникают различные коалиции и группы участников, которые сопротивляются инновациям в различных формах и препятствуют появлению и распространению новых технологий. В функции инновационной системы входит создание легитимных стимулов для образования групп, поддерживающих инновации, которые могут снизить сопротивление изменениям. Такие стимулы значительно легче создаются в сферах, на которые распространяется государственное или отраслевое регулирование.

1.1.3. Мезоуровень инновационной системы

К мезоуровню мы относим региональные инновационные системы, секторальные (отраслевые) инновационные системы и кластеры инновационных фирм.

С середины 1990-х гг. увеличилось количество исследований, посвященных «региональным системам инноваций», в которых большее внимание уделяется анализу инновационных систем на региональном и локальном уровнях. В этих исследованиях системные элементы национальной инновационной системы переносятся на региональный уровень, при этом зачастую круг рассматриваемых вопросов ограничивается рассуждениями о том, насколько позитивно или негативно влияет региональная специфика и сложившиеся формы взаимоотношений между участниками на региональный инновационный потенциал.

Национальная инновационная система России неизбежно включает выраженную региональную составляющую, именно на уровне региона осуществляются инновационные процессы, создаются рабочие места и формируются налоговые поступления. Региональная инновационная система создает внешнюю среду и формирует стимулы для роста социального капитала, технологической модернизации традиционных производств и развития отраслей новой экономики.

Эффективность региональной инновационной системы определяется:

- ее возможностями по генерации знаний и технологий, в том числе реализацией научно-образовательного и инновационного потенциала;

- развитыми каналами и институтами трансфера и коммерциализации технологий, интегрирующими деятельность различных участников инновационных процессов;
- высокой инновационной активностью предприятий и организаций;
- системной поддержкой инновационной деятельности со стороны региональной и федеральной власти;
- наличием стратегических ориентиров инновационного развития региона, гармонизированных в рамках региональной инновационной стратегии

К наиболее важным факторам, обеспечивающим успешную реализацию любой инновации, относятся достаточное ресурсное обеспечение, человеческий капитал, наличие эффективных организационных структур, адекватную намеченным целям культуру. На рисунке перечисленные факторы обобщены применительно к инновационной системе.

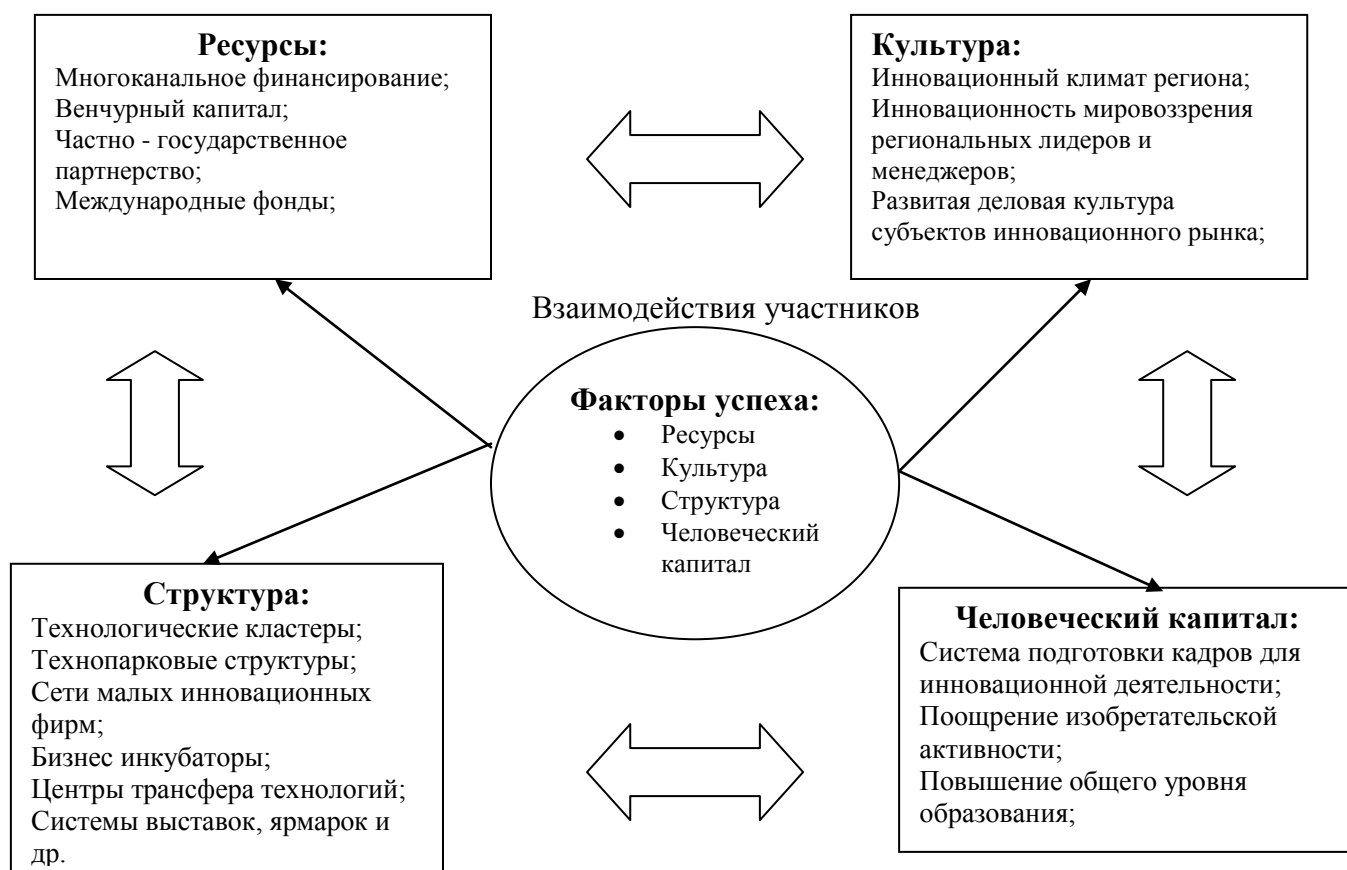


Рисунок 1.1.3.1 - Основные факторы успеха инновации.

Начальная стадия формирования региональной инновационной системы, характерная для отечественной практики, закономерно связана как со структурными дисбалансами, так и с функциональными недостатками.

Другим измерением мезоуровня инновационной системы служат особенности отраслевой организации реальной экономики.

Как показывают результаты зарубежных исследований, для различных секторов (широких отраслей) экономики типичны различные модели возникновения и распространения инноваций, а также различный характер взаимосвязи между инновационной активностью компаний, (и) результатами их производственно-хозяйственной деятельности, конкурентоспособностью на внутреннем и внешнем рынках. На основе исследований инновационного развития различных национальных экономик были выявлены следующие факторы, характерные для вариантов инновационного поведения компаний:

- *Размер инновационной фирмы:* типично большой в химической, автомобильной, самолетостроительной, обрабатывающей отраслях, электронике, и малый в производстве двигателей, инструментов, программных продуктов.
- *Тип товара:* чувствительность к цене типична для потребительских товаров и сырья, чувствительность к потребительским свойствам (эксплуатационным характеристикам) типична для приборов и лекарств.
- *Тип инновации:* продуктовые инновации преобладают в фармацевтике и приборостроении, процессные – в сталелитейной отрасли, для автомобильной отрасли характерны оба этих типа инноваций.
- *Источники инноваций:* поставщики оборудования и других ингредиентов – в сельском хозяйстве, текстильной промышленности; потребители – в производстве инструментов, приборов, программных продуктов; внутреннее технологическое развитие – в химии, электронике, транспорте, производстве приборов, инструментов, программных продуктов; фундаментальные исследования – в фармацевтике. Источник собственных инноваций – научно-исследовательские лаборатории в химии и электронике, конструкторские подразделения – в автомобильной и добывающей промышленности, проектные отделы – в строительстве, системные подразделения – в услугах (банки, розничные сети).

Можно выделить типичные для экономического сектора или отрасли варианты инновационного развития и модели поведения агентов, которые обозначают как отраслевые технологического траектории.

В случае **доминанты поставщиков**, технические изменения приходят исключительно от поставщиков оборудования и материалов. Это очень типично для сельскохозяйственной, текстильной и пищевой промышленности, где большинство нововведений иницируется производителями оборудования и продукцией химической промышленности. Технологический выбор у таких фирм весьма скромный и фокусируется на

совершенствовании способов производства и выборе сырья и материалов. Такие отрасли характеризуются довольно низкой наукоемкостью, в структуре затрат на технологические инновации явно преобладают затраты на приобретение машин и оборудования.

В отраслях, для которых характерна *экономия на масштабах*, технологические изменения генерируются на стадии проектирования и создания сложных производственных систем и продуктов. Преимущества, связанные с большими объемами производства, в сочетании со сложностью продукции и производственной системы приводят к тому, что риски неудачи радикальных инноваций влекут за собой существенные финансовые потери.

В результате процессные и продуктовые инновации по большей части являются улучшающими, основанными на предыдущем опыте и касаются отдельных компонент, подсистем и оборудования. Основным источником технологических инноваций являются внутренние подразделения НИОКР, производственный опыт и специализированные поставщики оборудования и комплектующих.

В *наукоемких отраслях* технологические инновации возникают в основном в корпоративных лабораториях и сильно зависят от академических знаний и навыков. Основным направлением технологического развития для фирм таких отраслей является поиск новых, технологически связанных продуктовых рынков. Есть некоторые отрасли, в которых новые технологии полностью являются результатом научных исследований и разработок. Знания пользователей об инновации накапливаются в процессе ее имитации, при этом имеет место и несовершенная имитация, и имитация несовершенной инновации. В любом случае, в процессе имитации тоже происходят инновации.

Бизнес, основанный на информационных технологиях, возник только 10-15 лет тому назад, прежде всего, в сфере услуг: финансы, розничная торговля, средства массовой информации, туризм и др. Основными источниками инноваций являются внутрифирменные отделы (программисты, системщики), а также поставщики программного обеспечения и компьютерной техники.

Фирмы, которые могут быть классифицированы как специализированные поставщики, являются, как правило, малыми, но при этом обеспечивающими существенный вклад в сложные производственные системы в форме оборудования, комплектующих, инструментов и программных продуктов. Инновационное развитие в таких секторах происходит через производство и проектирование необходимых специализированных элементов. Такие фирмы получают преимущества благодаря производственному опыту продвинутых пользователей, передаваемому в форме информации, являющейся основой для возможных модификаций и улучшений продукта. Критически важным для них является развитие навыков, позволяющих создавать инновации в соответствии с запросами

потребителей, для которых более существенны неценовые факторы, такие как надежность, качество.

Наши исследования показали, что российская экономика в целом демонстрирует сходные с мировыми тенденции в инновационном развитии на уровне секторальных систем. Однако нельзя не отметить яркую особенность нашей страны – концентрацию экономической активности вообще и инновационной активности в частности в сырьевых областях. При низкой наукоемкости сырьевых отраслей приобретенный «навес» финансовых и прочих ресурсов приводит к тому, что предприятия этого сектора сохраняют первенство по показателям инновационной активности, в том числе по величине затрат на инновации.

1.1.4. Микроуровень инновационной системы: фирмы

Основными участниками инновационных систем разного уровня являются крупные, средние и малые инновационные компании - субъекты процессных, продуктовых и организационно-управленческих инноваций. Инновационные фирмы существенно различаются по масштабу, моделям инновационного поведения, характеру технологических компетенций, влиянию факторов, ограничивающих выбор инновационных стратегий.

Склонность к инновациям демонстрируют преимущественно крупные предприятия, обладающие значительными финансовыми, кадровыми и интеллектуальными ресурсами. Уровень инновационной активности, по оценкам российских исследователей [Л.М.Гохберг, 2009], тесно связан с размером компании и растет пропорционально ему. (Сразу заметим, что для компаний, мировых лидеров в области инноваций, такого утверждения сделать нельзя). В целом у половины предприятий промышленности, осуществлявших технологические инновации, численность занятых составляла более 500 человек. При сравнении компаний, занимающихся инновациями, и не осуществлявших никаких инноваций (2007 г.), выяснилось, что в среднем инновационные компании в 6 -9 раз крупнее по численности персонала и объемам выпуска продукции. Составляя немного более 9% общего числа промышленных предприятий, инновационные компании выпускают 48% всего объема отгруженной продукции. В основном это крупные компании, при этом треть инновационных компаний входит в состав интегрированных бизнес-групп или корпоративных структур.

По данным обследования ГУ-ВШЭ, в России в период с 2005 по 2009 годы продолжалась концентрация инновационной активности на крупных и крупнейших предприятиях.

По последним доступным данным, которые готовит Европейская Комиссия, мировые инвестиции в исследования и разработки увеличились в 2008 г. на 6,9% (в 2007 г. – на 9%), несмотря на кризис. Крупнейшим мировым инвестором в исследования и разработки

остается компания Toyota Motor, которая инвестировала в новые разработки 7,61 млрд евро. В десятку самых масштабных инноваторов входят две европейские компании (Фольксваген – 5,9 млрд евро инвестиций в исследования и разработки, и Нокia – 5,3 млрд евро), пять американских компаний (Майкрософт – 6,5 млрд евро, Дженерал Моторс – 5,8 млрд евро, Пфайзер – 5,7 млрд евро, Джонсон и Джонсон – 5,4 млрд евро и Форд Моторс – 5,3 млрд евро). Еще в первую десятку вошли две компании из Швейцарии (Роше – 5,9 млрд евро и Новартис – 5,2 млрд евро). Возглавляет список, как уже упоминалось, Тойота.

Среди 50 крупнейших по объемам вложений в исследования и разработки компаний, 16 компаний представляют ЕС, 18 компаний – США, и 13 компаний – Японию.

Две российские компании также вошли в рейтинг, это Газпром (0,47 млрд евро и 127 место в рейтинге) и НК «Лукойл» (0,068 млрд евро и 559 место).

Организационная структура компаний – мировых инновационных лидеров, отличается гибкостью, развитием неиерархических связей и коммуникаций, высокой скоростью обмена информацией и принятия решений. Такая структура организации позволяет быстро выводить новинки на рынок, то есть обеспечивает одно из базовых конкурентных преимуществ. Наибольшее распространение получили следующие организационные решения, способствующие быстрому созданию и развитию инноваций [Кравченко Н.А., 2008]:

1. Делегирование полномочий по принятию решений инновационным группам и командам. Если все решения принимаются на верхнем уровне руководства компании, это существенно замедляет процессы принятия решений.

2. Интеграция исследований и разработок внутри отдельных бизнес-единиц. Такой вариант осуществления НИОКР способствует кооперации с другими подразделениями бизнес-единицы и ориентации деятельности исследовательской команды на потребителей, а не только на технологии.

3. Совместное расположение инновационных команд и производственных подразделений. Территориальная близость способствует более эффективному обмену идеями и решениями даже в век электронных коммуникаций. Близкое размещение повышает вероятность того, что все участники в одно время получают неискаженную информацию для принятия решений. Близкое размещение использует большинство инновационных компаний, даже при создании глобальных инновационных команд.

4. Центральная инновационная команда. Для создания прорывных инноваций, которые создают новые категории продуктов и новые рынки, часто необходимо выделение центральной исследовательской группы на высшем уровне, которая может самостоятельно

выполнять принципиально новые или интеграционные проекты, не связанные с каким-либо отдельным направлением деятельности компании

5. Централизованные инновационные фонды. Инновационные проекты часто нуждаются в обособленном от текущей оперативной деятельности бюджете.

6. Подразделения, направленные на активное взаимодействие с внешней средой для развития открытых инноваций. Для того, чтобы идеи и решения, возникающие извне, получали возможность реализации, компании – лидеры создают специальные подразделения, деятельность которых направлена на развитие внешних связей и сетей как источников возможных инноваций.

Корпоративная культура является одним из важнейших элементов системы управления инновациями. Эта культура формирует общие ценности, среди которых доминирует ориентация на потребности клиентов и потребителей; поощрение творческих и предпринимательских способностей, высококое вовлечение персонала в инновационные процессы и поощряющие креативность системы мотивации и вознаграждения.

Среди организационных структур инновационной сферы особая роль принадлежит малым фирмам. Малый инновационный бизнес отличается высокой восприимчивостью к новым идеям, исключительная способность к быстрому переключению на производство новой продукции, т.е. гибкость к изменениям конъюнктуры рынка, что часто делает их более конкурентоспособными по сравнению с крупными корпорациями.

Малые предприятия являются обычно структурно неустойчивыми по сравнению с крупными организациями, что способствует готовности к восприятию инноваций. В малом бизнесе выделяются три основные формы организации инновационной деятельности.

Венчурные фирмы функционируют в основном на стадиях разработки нового продукта и технологии. Они начинают интересоваться рыночными перспективами инновации еще на стадии НИОКР, но, как правило, не занимаются производством или организацией производства продукции, а передают готовую разработку крупным компаниям. Венчурные фирмы могут быть дочерними у более крупных фирм.

Создание венчурных фирм предполагает наличие следующих компонентов: идеи инновации – нового изделия, технологии; общественной потребности и лица, готового на основе предложенной идеи организовать новую фирму; рискованного капитала для финансирования.

Spin-off фирмы характеризуются несколько иной ориентацией инновационной деятельности. Как правило, эти фирмы активно создаются на стадиях освоения нового продукта или технологии. В теории организации промышленности spin-off означает преобразование подразделения компании в самостоятельную фирму. Автор научной

разработки и небольшой коллектив единомышленников создают компанию по внедрению нового продукта или технологии на рынок. Таким образом, фирма может сама производить новый продукт или же организовывать его производство.

Важным условием успеха является степень готовности научной разработки, ее рыночная востребованность, знание потенциальных заказчиков и покупателей, наличие носителей предпринимательских способностей в составе команды разработчиков. Обычно в начале своей деятельности малые инновационные фирмы во многом опираются на «материнские» компании: это может быть прямая финансовая поддержка, общая инфраструктура, малое предприятие может на льготных условиях пользоваться площадями, исследовательской и производственной базой «материнской» компании.

На последней стадии инновационного цикла (коммерциализация нового продукта, идеи) в последнее время все более успешными представляются компании, имеющие сетевую структуру. Сетевая (или оболочечная) фирма представляет собой управляющую компанию, не владеющую средствами производства, а лишь координирующую работу сторонних подрядных фирм: одни фирмы разрабатывают конструкцию и дизайн новых изделий, другие производят их компоненты, третьи – организуют сбыт, четвертые отвечают за кредитную политику, т. е. различные функции бизнеса могут быть рассеяны по всему свету.

Можно сказать, что это компании, в которых часть бизнес функций передана на контрактной основе сторонним подрядчикам (реализуя так называемый *аутсорсинг*). Часто оболочечная фирма берет на себя исключительно отношения с рынком и тем самым отгораживает производственную компанию или же научно-исследовательскую организацию от проблем, связанных с поиском покупателей и доведением продукта до конечного потребителя, соответственно берет на себя их транзакционные издержки.

Роль оболочечных структур растет с ростом транзакционных издержек по сравнению с производственными. Поэтому наиболее ощутимо присутствие сетевых фирм на рынках с быстро меняющейся конъюнктурой, на «капризных» рынках, где, к примеру, часто меняется спрос. Более развитый вариант такой фирмы предполагает переход транзакционных издержек на подрядчиков. В этом случае за оболочечной фирмой остается функция общего управления процессом от разработки идеи товара до продажи его конечному потребителю. В результате фирма становится структурой, объединяющей весь инновационный цикл в единое целое.

Границы между оболочечными фирмами и традиционными вертикально интегрированными корпорациями весьма подвижны. Фирма может начать с собственного производства и постепенно перейти к оболочечной структуре бизнеса. И наоборот,

оболочечная фирма постепенно может превратиться в вертикально интегрированную структуру.

Современной тенденцией является формирование **сетей малых фирм**. Главная особенность сетей фирм состоит в том, что организационные связи строятся между юридически автономными, но взаимозависимыми субъектами. Конечно, взаимозависимость сетей фирм на деле может скрывать довольно сильную одностороннюю зависимость, однако влияние здесь осуществляется не через трудовые контракты или контроль акций, как в случае иерархических организаций. Многие исследователи утверждают, что дальнейшее развитие капитализма будет отмечено развитием сетей между организациями (в виде преднамеренных или непреднамеренных стратегических альянсов) и объединением и дифференциацией малых фирм.

Благодаря огромному разнообразию технологий и стратегий малых фирм – участников сети, сети более гибки, эффективны и инновационны, чем традиционные крупные предприятия или, например, отдельные малые фирмы, работающие по субподрядам некоторой крупной компании, такие фирмы практически лишены возможности нововведений. При этом если того потребует внешняя обстановка, сети мелких участников рынка могут функционировать как единое целое, используя эффект масштаба, а в других условиях сеть может распадаться и предоставлять пространство для индивидуальной деятельности ее участников. В этом состоит двойственная природа сетей.

Гибкость означает, что сети фирм, используя многообразие своих участников, могут приспосабливаться к технологическим и рыночным изменениям во внешнем окружении лучше, чем изолированные организации. Другим преимуществом является легкий обмен знаниями и информацией между участниками сети. Поскольку главной слабостью мелких фирм является отсутствие преимуществ, связанных с размерами, двойственный характер сетей между организациями становится решением проблемы. Что невозможно для одиночной малой фирмы, становится возможным для сети, вследствие размера и совместного доступа к капиталу.

Необходимо отметить взаимодополняемость между сетевыми фирмами и сетями фирм: обе стимулируются ростом сложности внешнего окружения, обе достигают своих конкурентных преимуществ на базе результативности (гибкости, дифференциации), а не эффективности, обе основываются на доверии и взаимодействии между организационными единицами и обе представляют собой появляющиеся формы.

На уровне отдельной компании условия и результаты инновационной деятельности связаны с широким спектром внутренних и внешних факторов, которые можно объединить в категории «продукт», «рынок», «менеджмент» и «институциональные условия». Системы

взаимодействий между отдельными участниками инновационной системы оказывают значимое влияние как на инновационный процесс, так и на его результаты. В свою очередь, модели взаимодействий находятся под сильным воздействием динамики отраслевых рыночных сил; секторальных технологических траекторий; механизмов регулирования и приоритетов государственной политики.

1.2. Обобщение зарубежного и отечественного опыта моделирования и анализа инновационных процессов на макроуровне

1.2.1. От экзогенного к эндогенному описанию технологического прогресса в макроэкономическом анализе и математических моделях

В экономической науке общепризнанными факторами, определяющими экономический рост в долгосрочном плане, являются: темп роста основного капитала и обеспечивающих его воспроизводство инвестиций, темп роста численности занятых в экономике и их квалификация, темп внедрения новых технологий в производство, т. е. внедрение результатов науки в производственную деятельность.

Значительное воздействие на условия долгосрочного экономического роста во многих странах оказывают внешнеэкономические факторы: потоки товаров, услуг и капитала, степень открытости экономической системы.

Необходимо отметить, что основы долгосрочного роста в современной экономике обеспечиваются условиями, выходящими за рамки собственно экономических факторов. Процесс внедрения новых технологий в производство зависит от ряда условий, включающих, в частности, общий уровень образованности населения и качество образования, уровень развития фундаментальных и прикладных исследований и соотношение между ними. Вышеперечисленные факторы долгосрочного экономического роста успешно работают в условиях политической стабильности, гарантий прав частной собственности на средства производства и интеллектуальные продукты, развитой институциональной структуры, включающей банковский сектор, валютный и фондовый рынок, фонды прямых инвестиций, а также эффективно работающие органы судебной власти.

Важнейшим условием определения приоритетов политики государства в области инноваций является его способность прогнозирования влияния инновационного процесса на экономический рост. Последнее приводит к необходимости построения модельных конструкций, включающих факторы, воздействующие на динамику инноваций и их распространение в экономической системе.

Обращаясь к проблеме отображения технологического прогресса в моделях долгосрочного экономического роста, необходимо начать с описания классических моделей, где первоначально в простейшей форме нашло отражение влияние технологического прогресса на развитие экономических систем. Наиболее известными моделями такого типа являются факторная модель экономического роста Р. Солоу и модель Солоу - Свана [Solow R., Swan T.W. 1956]. Эти модели были разработаны в 50-е годы XX века и их принято называть неоклассическими моделями экзогенного экономического роста [Aghion P, 1999]. Основным фактором, определяющим экономический рост в долгосрочном плане, в этих моделях является накопление капитала. При этом вводится предположение об убывании предельной производительности капитала по мере увеличения капиталовооруженности труда.

В названных моделях вводится переменная A , отражающая влияние внедрения новых технологий на экономический рост. При этом не рассматривается вопрос о факторах и параметрах, определяющих саму эту переменную, то есть она вводится в модель как чисто экзогенный (заданный извне) параметр.

Основная проблема, которая проявляется при анализе моделей экономического роста с экзогенным описанием технологического прогресса, связана с тем, что в действительности он зависит не только от уровня накопления капитала, но и от решений экономических агентов о его накоплении и об использовании новых технологий.

В основе современного подхода к теории долгосрочного экономического роста лежит понятие И. Шумпетера о креативном разрушении, которое описывает конкурентный процесс в ходе которого предприниматели постоянно ищут новые технологические идеи для своего бизнеса, которые превращают идеи и технологии их конкурентов в устаревшие. Сосредотачивая внимание на инновациях как отдельном виде деятельности со своей мотивацией и эффектами, этот подход открывает двери для более глубокого понимания того, как институты общества, структура рынка, несовершенство рынка, торговля, экономическая политика и законодательство влияют на экономический рост в долгосрочном плане через воздействие на поведение экономических агентов в области инноваций.

В 1962 г. К. Эрроу предложил решение этой проблемы, предполагая, что рост параметра A представляет собой непреднамеренную последовательность действий, вытекающих из практического опыта по производству новых элементов основного капитала [Arrow K.J., 1962]. Этот феномен он назвал «обучение через практику» (learning by doing). Обучение через практику представлялось как чисто внешний фактор для фирм, производящих основной капитал и приобретающих его. Параметр A становился эндогенным в том смысле, что на него в модели воздействовал такой фактор как увеличение склонности экономических агентов к сбережению. Однако, предложенная Эрроу модель работала при предположении о

постоянной капиталовооруженности. Поэтому в долгосрочном плане экономический рост в ней был ограничен темпом роста рабочей силы и не зависел от поведения экономических агентов в сбережении.

Н. Калдор отказался полностью от агрегированной производственной функции, различающей увеличение производительности за счет роста капитала и за счет технологического прогресса. Вместо этого он ввел функцию технологического прогресса, связывающую экономический рост с темпом роста инвестиций [Kaldor N. A , 1957]. В свою очередь, темп роста инвестиций отражал темп роста новых технологических идей и способность общества к ним адаптироваться. Однако в модели Калдора, также как и в модели Эрроу, темп экономического роста в стационарном состоянии не зависел от поведения экономических агентов в сбережении и полностью определялся экзогенно задаваемыми параметрами функции технологического прогресса.

Нордхаус в 1969 г. [Nordhaus W.D., 1969] и Шелл в 1973 г. [Shell K., 1974] обосновали теоретически и предложили первые модели экономического роста, в которых технологический прогресс происходил в результате преднамеренного экономического выбора экономических агентов. Обе модели предполагали, что исследования по развитию новых технологий мотивируются монопольной рентой, которую разработчики будут получать определенное время, после того как они внедрили в производство новую технологию. Однако модель Нордхауса, как и модель Эрроу, не могла объяснить долгосрочный экономический рост без увеличения населения.

В 1965 г. Х. Узава [Uzava H. , 1965] показал, как постоянный экономический рост может быть достигнут в неоклассических моделях эндогенным путем. Он интерпретировал величину A как человеческий капитал, приходящийся на одного работника, и предположил, что рост этого параметра требует использования трудовых услуг в форме затрат на образование, а также проанализировал траектории оптимального экономического роста. При дополнительном предположении о том, что функция полезности u является линейной, он показал, что имеется единственная оптимальная траектория накопления, на которой все инвестиции направляются или на воспроизводство основного капитала, или на воспроизводство человеческого капитала. Эта траектория в пределах конечного промежутка времени приводит экономическую систему к устойчивому состоянию, определяемому экспоненциальным ростом параметров A (человеческий капитал) и K (физический или основной капитал). Однако модель Узава была ограничена описанием оптимальных траекторий развития экономической системы и не давала понимания того, как обеспечить экономический механизм, который бы обеспечивал возрастающую отдачу от вложений в человеческий капитал A .

Следующий шаг по развитию макроэкономических моделей в направлении более адекватного описания влияния технологического прогресса как эндогенной составляющей экономического роста связан с развитием так называемого *AK* подхода. Этот подход носит такое название, так как разрабатываемые в его рамках модели используют производственную функцию типа: $Y = AK$, где K – величина основного капитала, а A – параметр, отражающий влияние внедрения новых технологий на экономический рост.

Необходимо отметить, что ранний вариант *AK* подхода был реализован еще в модели Харрода – Домара (см. [Domar E., 1946], [Harrod R., 1939]). *AK* подход, развиваемый в последние 25 лет исходит из того, что технологические знания в большей степени, чем занятость, являются фактором, автоматически возрастающим по мере роста основного капитала. Этот подход основывается на идее, что сами по себе технологические знания являются одним из видов капитала. Они могут быть использованы вместе с другими производственными факторами для производства конечного продукта. Технологические знания могут накапливаться во времени через процесс исследований и разработок и другие виды человеческой деятельности, приводящие к созданию новых технологий. С учетом вышесказанного, сами знания являются ни чем иным как нематериальным капитальным товаром.

Этот подход носит такое название, так как разрабатываемые в его рамках модели используют производственную функцию типа: $Y = AK$, где K – величина основного капитала, а A – параметр, отражающий влияние внедрения новых технологий на экономический рост. Характерной чертой данной модели является отсутствие предельной убывающей производительности капитала, что дает возможность имитировать развитие экономики с устойчивым ростом. Идея отсутствия предельной убывающей производительности капитала становится более жизнеспособной, если расширить понятие капитала и включить в него, помимо физического, человеческий капитал. В модели технологические знания могут использоваться в комбинации с другими факторами производства и накапливаться в процессе исследовательской деятельности. Анализируя экономическую динамику в данной модели, мы увидим, что капиталовооруженность, потребление на душу населения и выпуск на душу населения будут расти с постоянным темпом роста. Постоянное увеличение темпа роста населения не окажет влияния на вышеуказанные темпы роста, но, в то же время, сократит уровень потребления на душу населения как таковой. Иначе говоря, темп роста потребления на душу населения будет постоянным, но его абсолютная величина будет на более низком уровне.

В качестве модели, отражающей влияние человеческого капитала можно рассмотреть модель экономического роста типа: $Y = AK^\alpha H^{1-\alpha}$, где H – величина человеческого капитала,

а α – доля физического капитала в выпуске. Выпуск может быть использован на потребление или инвестиции в физический, либо человеческий капитал. Предположим, что износ физического и человеческого капитала составляет δ . Износ человеческого капитала включает в себя ухудшение навыков или их полную потерю. Чистая предельная производительность физического и человеческого капитала будут равны между собою: $A\alpha \cdot (K / H)^{-(1-\alpha)} - \delta = A \cdot (1 - \alpha) \cdot (K / H)^{\alpha} - \delta$. Это условие приводит к тому, что отношения двух капиталов является величиной постоянной: $K / H = \alpha / (1 - \alpha)$. Таким образом, производственную функцию можно представить в виде $Y = AK \cdot [(1 - \alpha) / \alpha]^{(1-\alpha)}$. Тем самым мы видим, что, разделив в данной модели капитал на физический и человеческий, мы можем привести её к формату АК модели. При этом она, также как и АК модель, будет характеризоваться постоянными темпами роста основных параметров.

Идеи АК подхода активно развиваются в работах американского экономиста Пола Ромера. Считается, что его работы являются основой современной литературы по эндогенному экономическому росту ([. *Aghion P* , 1999], с.27). Описание одной из последних версий его модели экономического роста приводится в упрощенном виде в данной работе в пункте 2. Однако в модели П. Ромера процесс создания и использования технологических знаний рассматривается в целом без дифференциации на фундаментальные и прикладные исследования. Помимо этого, в модели П. Ромера не учитывается межвременные предпочтения экономических агентов в потреблении и накоплении, что влияет на динамику сбережений и, как следствие, на темпы роста инвестиций и основного капитала.

Поэтому в пункте 3 данной работы приводится описание основных соотношений модели, в которой отчасти устранены упрощения модели П. Ромера. Именно, здесь дифференцированно рассматриваются фундаментальные и прикладные исследования и используется арбитражное уравнение, в котором на соотношение между численностью занятых фундаментальными исследованиями и численностью занятых прикладными исследованиями воздействует ставка процента, что в конечном итоге влияет на темп экономического роста в долгосрочном плане.

Фактически последние построения в области теории долгосрочного экономического роста дополняют идеи неоклассических моделей, указывающих на влияние динамики накопления основного капитала, инвестиций и численности занятых на долгосрочный экономический рост. Названные факторы дополняются детальным анализом влияния фундаментальных, прикладных исследований и их внедрения на экономический рост. При этом рассматриваются различные аспекты, воздействующие на инновационный процесс в рыночной экономике.

1.2.2. Моделирование эндогенного экономического роста с выделением в экономике исследовательского сектора

Как уже отмечалось выше, в модели экономического роста Солоу - Свана с отражением технологического прогресса последний рассматривается как автоматический процесс или как экзогенные улучшения в технологии. В теории эндогенного экономического роста делается акцент на понимании экономических механизмов, которые двигают технологический прогресс. Основополагающими в развитии теории эндогенного экономического роста в последние 20 – 30 лет являются работы Пола Ромера [Romer P., 1990, 1992]. Отметим также работы в этой области Чарльза Джонса [Jones C., 1995, 1998].

Важная особенность подхода П. Ромера заключается в том, что технологический прогресс является результатом максимизации прибыли компаниями или изобретателями, которые находят новые технологические решения, внедряют их в производство и получают дополнительную прибыль, поскольку на определенном этапе, пока новая технология не получила широкого распространения, они имеют экономию издержек по сравнению с конкурентами или обладают временной монополией на производство нового товара или услуги. В дальнейшем новая технология получает распространение в обществе в целом, что делает возможным увеличивать производительность и потребление на одного работника при неизменном уровне капиталовооруженности.

Исходное уравнение в модели Ромера близко по своей записи к уравнению факторной модели экономического роста и применительно к производственной функции Коба–Дугласа может быть записано следующим образом:

$$Y = K^{\alpha} (AL)^{1-\alpha}, \quad (1.2.2.1)$$

где параметр $\alpha \in (0,1)$; A – как и ранее, характеризует уровень технологического развития производства или, иначе говоря, уровень внедрения научных идей в производство.

Численность занятых в народном хозяйстве также принимается равной населению, а темп ее роста равен величине n .

Принципиально новым в модели Ромера является описание изменения параметра A , который становится эндогенной переменной.

Согласно модели Ромера, $A(t)$ представляет собой совокупность технологических идей, накопленных до момента времени t . Тогда ΔA – количество новых технологических идей, развитых в данный период времени⁶. Эта величина равна численности работников, занятых в сфере разработки новых идей, т. е. в сфере НИОКР (научно-исследовательских и

⁶ В дальнейшем в целях простоты изложения мы будем опускать в математических формулах параметр времени t .

опытно-конструкторских работ), умноженной на скорость, с которой происходит разработка новых технологических идей, которая обозначается, как ψ . В результате получаем следующее уравнение:

$$\Delta A = \psi L_A, \quad (1.2.2.2)$$

где L_A – численность работников, занятых в сфере разработки новых идей, т. е. в сфере НИОКР.

Следовательно, в модели Ромера общая величина рабочей силы в экономике подразделяется на две части: численность занятых в сфере НИОКР и численность занятых непосредственно в производстве товаров и услуг L_Y –

$$L = L_Y + L_A. \quad (1.2.2.3)$$

Величина ψ может быть постоянной, однако более реалистичным представляется предположить, что темп роста производства новых технологических идей находится в зависимости от их объема, накопленного к данному периоду времени, поскольку накопленные ранее знания увеличивают производительность исследователей в настоящее время. Таким образом, можно записать

$$\psi = \bar{\omega} A^\Phi, \quad (1.2.2.4)$$

где $\bar{\omega} > 0$ и Φ – постоянные.

Если $\Phi > 0$, то это означает растущую продуктивность исследовательской работы, так как $A^\Phi > 1$. Если $\Phi < 0$, то продуктивность исследовательской работы снижается, так как $A^\Phi < 1$. Если $\Phi = 0$, то это означает, что продуктивность исследовательской работы не зависит от объема накопленных знаний, так как $A^\Phi = 1$.

Величину $\bar{\omega}$ можно интерпретировать как некоторый базовый уровень скорости, с которой происходит разработка новых технологических идей.

Другое предположение может состоять в том, что производительность исследовательской работы зависит от численности занятых, вовлеченных в эту работу. Например, такая зависимость может быть описана степенной функцией L_A^λ , где $\lambda \in (0,1)$. С учетом сделанных предположений, функция (1.2.2.2) может быть переписана следующим образом:

$$\Delta A = \bar{\omega} A^\Phi L_A^\lambda. \quad (1.2.2.5).$$

В дальнейшем будем предполагать, что $\Phi < 1$.

Функция (1.2.2.5) показывает, что прирост новых идей в области технологий зависит от объема полученных ранее знаний A^Φ и от численности занятых в НИОКР L_A^λ .

Для дальнейшего анализа введем понятие так называемой *траектории сбалансированного роста*. В контексте данной темы под такой траекторией будет пониматься ситуация, когда выпуск, потребление, основной капитал, население и объем технологических идей в экономике растут одним и тем же темпом. Обозначив темп роста какой-либо переменной x как g_x , применительно к переменным, вовлеченным в наш анализ, будем иметь следующее равенство:

$$g_y = g_k = g_A. \quad (1.2.2.6)$$

Равенство (1.2.2.6) означает, что если не будет технологического прогресса, т. е. роста объемов технологических идей $g_A = 0$, то не будет и экономического роста. Поэтому рассмотрим более подробно уравнение, описывающее прирост объемов технологических идей. Разделим правую и левую части этого уравнения на A . Тогда будем иметь:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\lambda}{1-\Phi} \frac{L_A^\lambda}{A}. \quad (1.2.2.7)$$

Вдоль траектории сбалансированного роста $g_A = \text{const}$.

Но такая ситуация будет иметь место, если числитель и знаменатель правой части уравнения (1.2.2.7) будут расти одинаковым темпом. Прологарифмировав и продифференцировав уравнение (1.2.2.7), получим

$$\lambda \frac{\Delta L_A}{L_A} - (1-\Phi) \frac{\Delta A}{A} = 0. \quad (1.2.2.8)$$

Вдоль траектории сбалансированного роста темп роста занятых в сфере НИОКР равен темпу роста населения n , т. е. $\frac{\Delta L_A}{L_A} = n$. Используя это обстоятельство, преобразуем соотношение (1.2.2.8) и определим темп роста объема новых технологий:

$$g_A = \frac{\lambda n}{1-\Phi}. \quad (1.2.2.9)$$

Содержательный вывод из уравнения (1.2.2.9) состоит в следующем: *рост экономики в долгосрочном плане определяется параметрами производственной функции, описывающей прирост объема новых технологических идей (Φ , λ) а также темпом роста численности занятых в сфере НИОКР (n).*

Важнейшим результатом, полученным П. Ромером, является то, что он построил микроэкономические основы своей модели роста.

По Ромеру, экономика делится на три сектора: фондосоздающий сектор, производящий элементы основного капитала (основных фондов в соответствии с российской терминологией); нефондосоздающий сектор, производящий все остальные товары; исследовательский сектор, производящий новые технологические идеи.

Ниже приводится описание микроэкономических основ модели П. Ромера с расширяющимся многообразием продукции фондосоздающих отраслей.

Нефондосоздающий сектор состоит из множества фирм, работающих в условиях совершенной конкуренции. Они приобретают основные фонды (машины, оборудование и т.д.) у фондосоздающего сектора, а также рабочую силу и производят однородный товар. Производственная функция для отдельной фирмы в этом секторе может быть описана следующим образом:

$$Y_i = \bar{A} L_i^{1-\alpha} K_{i1}^\alpha + \bar{A} L_i^{1-\alpha} K_{i2}^\alpha + \dots + \bar{A} L_i^{1-\alpha} K_{iB}^\alpha = \bar{A} L_i^{1-\alpha} \sum_{j=1}^B K_{ij}^\alpha, \quad (1.2.2.10)$$

где Y_i – продукт i -ой фирмы нефондосоздающего сектора, производимый рабочей силой L_i ; K_{ij} – использование i -ой фирмой основного капитала вида j ; B – число видов основного капитала; \bar{A} – общая оценка производительности или эффективности, связанная с уровнем технологического развития производства.

Данной производственной функции характерна убывающая предельная производительность каждого фактора производства L_i или K_{ij} , но в то же время для нее характерен постоянный эффект масштаба от обоих факторов производства. Следует отметить, что технологический прогресс в данном случае примет форму не только увеличения параметра продуктивности \bar{A} , но также увеличения разнообразия основного капитала B , являющегося продуктом фондосоздающих отраслей.

Для того, чтобы увидеть эффект от увеличения B предположим, что основной капитал выражен в общих физических единицах, и все его виды задействованы в одинаковом количестве. Тогда производственная функция (1.2.2.10) примет вид:

$$Y_i = \bar{A} L_i^{1-\alpha} B K_i^\alpha = \bar{A} L_i^{1-\alpha} \cdot (B K_i)^\alpha \cdot B^{1-\alpha}. \quad (1.2.2.11)$$

При заданном B производственная функция будет характеризоваться постоянным эффектом масштаба от L_i и $B K_i$. При заданных L_i и $B K_i$ выпуск будет увеличиваться с ростом B , в соответствии с изменением параметра $B^{1-\alpha}$. Этот эффект отражает преимущество от расширения общего количества видов основного капитала. При фиксированном значении L_i увеличение продукта фондосоздающего сектора $B K_i$ (если оно происходит за счет увеличения K_i) характеризуется убывающей предельной производительностью, в то время как если $B K_i$ увеличивается за счет роста разнообразия B , при заданном K_i то свойство убывающей предельной производительности нивелируется, что является предпосылкой для эндогенного роста.

Фирмы в нефондосоздающем секторе максимизируют свою прибыль, которая рассчитывается следующим образом:

$$Z_i = Y_i - w L_i - \sum_{j=1}^B P_j K_{ij} \quad (1.2.2.12)$$

где Z_i – прибыль фирмы в нефондосоздающем секторе; P_j – цена основного капитала вида j ; w – заработная плата.

Из соотношения (1.2.2.12) видно, что в модели П. Ромера в издержках на производство мы абстрагируемся от затрат на сырье и материалы.

Производители конечной продукции находятся на конкурентном рынке и принимают ставку заработной платы и цены промежуточной продукции как заданную извне. Используя свойство равенства цены факторов производства и их предельной производительности, из соотношения (1.2.2.10) путем его дифференцирования по K_{ij} получим стоимость основного капитала:

$$K_{ij} = L_i (\bar{A}\alpha / P_j)^{1/(1-\alpha)} . \quad (1.2.2.13)$$

Из соотношения (1.2.2.10) путем его дифференцирования по L_i получим ставку заработной платы:

$$w = (1 - \alpha) \cdot (Y_i / L_i) . \quad (1.2.2.14)$$

Фондосоздающий сектор в модели П. Ромера состоит из монополистов, производящих машины и оборудование и продающих их в нефондосоздающий сектор. Поскольку только одна фирма покупает патент на производство новой машины или нового оборудования, постольку только одна фирма производит каждый вид капитальных товаров.

Фирмы в фондосоздающем секторе проходят 2 этапа принятия решений. На первом этапе они рассматривают саму целесообразность выделения ресурсов на приобретение патента. Они выделяют ресурсы, если приведенная стоимость будущих денежных потоков будет как минимум такая же, как расходы на приобретение патента (η). На втором этапе они определяют оптимальную цену, по которой они будут продавать основной капитал фирмам нефондосоздающего сектора. Эта цена будет определять будущие денежные потоки фирмы, которые рассматриваются на первом этапе принятия решений.

Формально представим, что предельные и средние издержки для производства основного капитала фирмой фондосоздающего сектора нормализованы к единице. Тогда прибыль фирмы в фондосоздающем секторе составит:

$$\pi_j = (P_j - 1) \cdot K_j . \quad (1.2.2.15)$$

Фирмы фондосоздающего сектора выберут цену P_j чтобы максимизировать монопольную прибыль. Таким образом, используя (1.2.2.13) и (1.2.2.15) получим:

$$\max_{P_j} \pi_j = (P_j - 1) \cdot L \cdot (\bar{A} \alpha / P_j)^{1/(1-\alpha)}. \quad (1.2.2.16)$$

Монопольная цена в итоге составит $1/\alpha$. Она постоянна и одинакова для всех видов основного капитала. Используя значение монопольной цены и выражения (1.2.2.11) и (1.2.2.13) получим:

$$Y = \bar{A}^{-1/(1-\alpha)} \alpha^{2\alpha/(1-\alpha)} LB. \quad (1.2.2.17)$$

Прибыль фирмы фондосоздающего сектора составит:

$$\pi = L \bar{A}^{-1/(1-\alpha)} \cdot \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \cdot \alpha^{2/(1-\alpha)}. \quad (1.2.2.18)$$

Исследовательский сектор производит новые технологические идеи, которые воплощаются в новых машинах и оборудовании. Например, технологии производства новых микроэлементов для персональных компьютеров, которые, будучи внедренными в производство фондосоздающим сектором, приводят к производству более совершенных персональных компьютеров. Исследователь или исследователи, разработавшие новую технологическую идею, получают от правительства патент на эксклюзивное право производства новых машин, оборудования или их элементов. Этот патент затем продается исследователем в фондосоздающий сектор какой-либо компании, а полученный доход используется для потребления и сбережения.

Домашние хозяйства в данной модели максимизируют полезность от потребления на протяжении неограниченного периода времени. Рассматривается закрытая экономика, в которой общее количество активов домашних хозяйств равняется рыночной стоимости фирм.

Исследуя динамику и равновесие данной модели, мы определим, что темп роста видов основного капитала (B) и темп роста выпуска (Y) будет постоянным и составит в данном случае:

$$g = \zeta \cdot \left[(L/\eta) \cdot \bar{A}^{-1/(1-\alpha)} \cdot \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \cdot \alpha^{2/(1-\alpha)} - \rho \right], \quad (1.2.2.19)$$

где ρ – норма временного предпочтения потребления домашними хозяйствами, а ζ – эластичность межвременного замещения потребления в функции полезности.

Данная модель содержит эффект масштаба в том плане, что с ростом трудовых ресурсов L будет расти темп роста g . Если рассматривать весь мир как одно целое по отношению к потоку знаний и соблюдению прав собственности на них, то L будет

определено как общее мировое экономически активное население. В этом случае модель будет предполагать положительную зависимость между мировым темпом роста и уровнем населения. Данная гипотеза может быть корректна в течение очень продолжительных периодов времени.

1.2.3. Моделирование эндогенного экономического роста с учетом обучения через практику и прикладных инноваций

В реальной жизни имеется множество видов инновационной активности, генерирующих различные типы знаний. В рассматриваемой модели, описываемой в работе [Aghion P., 1999], в теорию экономического роста И. Шумпетера вводится неоднородность инновационной деятельности, а, именно, различие между фундаментальными и прикладными исследованиями. Каждый новый продукт создается с использованием не одной инновации, а с применением целой последовательности инноваций. Некоторые из инноваций носят более фундаментальный характер, чем другие в том смысле, что они открывают больше окон возможностей для будущего развития. Другие инновации носят более прикладной характер. Они направлены на реализацию возможностей, заложенных ранее созданными фундаментальными инновациями. Очевидно, что разделение инноваций на фундаментальные и прикладные носит достаточно условный характер. Тем не менее, в рассматриваемой ниже модели такое различие вводится и к фундаментальным инновациям относятся исследования и разработки (R&D), а к прикладным (или вторичным) инновациям – деятельность, которую называют «обучение через практику».

Обучение через практику (прикладные инновации) также может привести к решению проблем, которые носят фундаментальный характер. Поэтому принято говорить о *всеобщих знаниях*, которые характеризуют общий уровень научных, технологических и культурных достижений потенциально доступных каждому члену общества.

В модели две связи определяют скорость экономического роста в устойчивом состоянии и соотношение между количеством исследований и обучением через практику.

Первая связь описывается уравнением экономического роста, которое описывает эволюцию *всеобщих знаний* во времени и тем самым определяет функцию экономического роста в устойчивом состоянии как функцию, зависящую одновременно от фундаментальных исследований и от обучения через практику (прикладных исследований).

Вторая связь описывается арбитражным уравнением, которое отражает попытки работников заниматься наиболее прибыльными типами инновационной деятельности, будь то фундаментальные или прикладные исследования (обучение через практику). Оно показывает, что пропорции занятых в фундаментальных и прикладных исследованиях зависят от скорости

экономического роста и от ставки дисконтирования, характеризующей предпочтения работников в потреблении сбережении.

Важнейшие базовые предположения, используемые в данной модели, сводятся к следующему.

1. В модели рассматривается непрерывное время и бесконечный горизонт планирования.
2. Каждый работник выбирает направление своей деятельности: работать на производстве или в исследовательском секторе экономики.
3. В экономике производится один конечный продукт, который может быть использован только на потребление, а также группа промежуточных продуктов, которые используются для производства конечного продукта.
4. Все индивидуумы в экономике имеют межвременные не зависящие от риска предпочтения в потреблении с постоянной нормой временного предпочтения r (ставкой дисконтирования). Используется также предположение об отсутствии отрицательной полезности трудовых усилий.
5. Новые *всеобщие знания* создаются посредством исследовательской работы и обучения через практику во всей экономической системе с использованием уже существующего запаса *всеобщих знаний*.
6. Производственный процесс в модели описывается следующим образом.
 - A. Конечный продукт производится с использованием группы промежуточных продуктов, произведенных в разное время.
 - B. Новый промежуточный продукт, произведенный в период τ , изобретается работниками, которые работают в исследовательском секторе, с использованием имеющегося запаса *всеобщих знаний*.
 - C. Промежуточные товары, произведенные в более позднее время, имеют лучшие характеристики, так как они созданы с использованием более высокого уровня накопленных *всеобщих знаний*.
 - D. Предполагается, что ранее разработанные продукты никогда полностью не вытесняются новыми. Поэтому число промежуточных продуктов, разработанных в некоторый период a , остается прежним, но может уменьшиться их доля в общем объеме производства.
 - E. Качество нового только изобретенного товара принимается равным нулю. Улучшение его качества происходит с темпом, равным темпу роста потока прикладных инноваций во всей экономике (от learning by doing). Прикладные инновации имеются в каждой фирме.
 - F. Фирмы могут обратить в свою собственность продукцию, но не инновации.

Г. Поток прикладных инноваций зависит от скорости обучения через практику и от количества новых продуктов, разработанных в каждом периоде.

Опуская математическое описание арбитражного уравнения, рассмотрим соотношение, описывающее темп экономического роста в долгосрочной перспективе, используемое в данной модели.

В соответствии с идеями, изложенными выше, предположим, что рост всеобщих знаний является функцией инноваций двух типов (исследований и разработок и чисто прикладных – обучения через практику), а также накопленного в предшествующие периоды запаса всеобщих знаний A . Запишем следующее уравнение, определяющее темп прироста всеобщих знаний:

$$\frac{\Delta A_t}{A} = G(\lambda^r \cdot H^r, LBD) \quad (1.2.3.1)$$

где λ^r - скорость разработки фундаментальных инноваций;

H^r - количество исследователей, занятых в фундаментальной науке;

LBD – параметр, отражающий улучшение качества промежуточного товара, определяемого потоком прикладных инноваций.

Соотношение (1.2.3.1) должно удовлетворять следующим требованиям:

А. $G=0$, когда $H^r = 0$ и когда $LBD = 0$. Иначе говоря, экономический рост в долгосрочном плане невозможен в случае, если никто не работает в области фундаментальных исследований и поток прикладных инноваций (обучения через практику) равен нулю.

Б. G связана строго положительной зависимостью с каждым аргументом и является выпуклой функцией.

В устойчивом (стационарном) состоянии темп роста экономики в долгосрочном плане равен темпу роста всеобщих знаний. Исходя из этого, и сделанных выше предположений, а также опуская ряд математических преобразований, запишем соотношение (1.2.3.1) в более развернутой форме, получив уравнение экономического роста в долгосрочном плане:

$$g = G(\lambda^r \cdot H^r, \frac{(\lambda^r)^v \cdot \lambda^d}{\sigma^v \cdot (1-v)} (H^r)^v \cdot (H - H^r)^{1-v}) \quad (1.2.3.2)$$

H – общая численность занятых в экономике;

σ - некоторая вероятностная величина, характеризующая частоту, с которой осуществляется переподготовка работников с целью их обучения производству новых товаров;

λ^d - величина продуктивности обучения через практику;

$(H - H^r)$ - численность занятых в производстве и прикладных исследованиях;

$\nu \in (0,1)$.

Соотношение (1.2.3.2) показывает, что в устойчивом состоянии экономический рост в долгосрочном плане определяется темпом роста доходов, которые ожидают получить все исследователи в качестве вознаграждения за свои фундаментальные инновации, то есть величиной g .

В соотношении (1.2.3.2) первый аргумент $\lambda^r \cdot H^r$ представляет собой величину новых продуктов, разработанных в каждом периоде, а второй аргумент характеризует величину потока прикладных инноваций (learning by doing), определенную через формирующие ее параметры. Основными параметрами, определяющими поток прикладных инноваций, являются: численность занятых в сфере фундаментальных исследований и численность занятых в прикладных исследованиях и производстве, а также λ^d - параметр, характеризующий продуктивность обучения через практику.

На рисунке 1.2.3.1 показана связь между численностью занятых в сфере фундаментальных исследований и экономическим ростом в долгосрочном плане.

На рисунке 1.2.3.1 видно, что максимальное значение экономического роста достигается в точке E^* . В ситуации дальнейшего увеличения численности занятых в сфере фундаментальных исследований H^r в составе общей численности квалифицированных работников (H), темп экономического роста в долгосрочном плане сокращается. Это происходит потому, что экономический рост зависит и от фундаментальных исследований, и от прикладных. Последние тесно связаны с производством. Поэтому в ситуации излишнего перераспределения квалифицированных работников в пользу фундаментальных исследований ослабевает связь с производством, прикладные инновации начинают отставать от фундаментальных исследований, что в конечном итоге приводит к уменьшению темпов экономического роста.

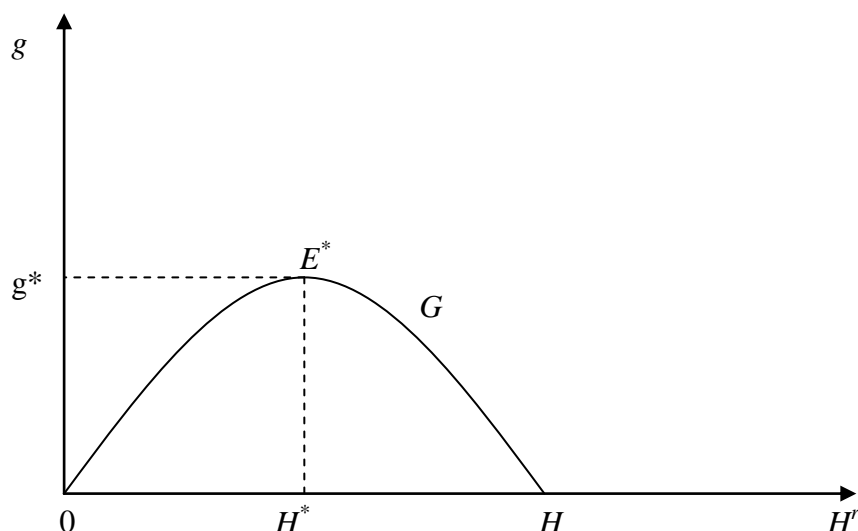


Рисунок 1.2.3.1 - Связь между численностью занятых в сфере фундаментальных исследований и экономическим ростом.

1.2.4. Исследования влияния человеческого капитала и инноваций на долгосрочный экономический рост в России

В последние годы, в российской экономической литературе появился ряд научных статей, в которых рассматривается тема устойчивого экономического роста, формирующегося посредством инновационного процесса и изменений человеческого капитала. Рассматривается влияние образования, инвестиций, а также институциональных факторов на экономическое развитие в долгосрочном плане.

При рассмотрении инновационного процесса актуальным является вопрос защиты интеллектуальной собственности. В своей работе Тарасов А.И. [Тарасов А.И. , 2003] исследует модификацию модели, представленной в статье Ф.Аггйона [Ph. Aghion, 2002], в которой рассматривается два сектора: со старой и с новой технологиями, а рабочие делятся на две категории: образованные и необразованные. Автор анализирует влияние защиты прав на интеллектуальную собственность и уровня образования в экономике на экономический рост. Им было показано, что уменьшение степени защиты прав интеллектуальной собственности влечет за собой уменьшение спроса на образованную рабочую силу со стороны фирм, инвестирующих в научно-исследовательский сектор, что, в свою очередь, влечет уменьшение темпа экономического роста. Анализируя скорость, с которой фирмы могут копировать разработки своих конкурентов, автор приходит к выводу о том, что при достаточно высокой скорости копирования устойчивый темп экономического роста не

зависит от уровня образования работников. Поэтому повышение уровня образования с целью стимулирования экономического роста в данном случае малоэффективно. Это объясняется тем, что при достаточно высокой скорости копирования технологические уровни фирм-инноваторов и фирм, копирующих их разработки, становятся близки друг к другу. Вследствие этого спрос на высокообразованных работников со стороны фирм, осуществляющих инновации, невелик и не меняется при росте доли образованных работников в составе рабочей силы. В работе показано, что темп экономического роста монотонно убывает по величине скорости копирования технологий. Но автор приходит к заключению, что в действительности это не совсем так. Малая скорость копирования также не способствует росту. Надо учитывать, что фирма, копирующая технологии, также может осуществлять инновации (возможно, с меньшими, чем у фирмы-инноватора, способностями). При малой скорости копирования фирмы, копирующие новые технологии, не будут обладать достаточными знаниями и опытом для развития собственных новых технологий. В этом случае вероятность инвестиций таких фирм в научно-исследовательский сектор невелика, что может отрицательно сказаться на темпе экономического роста.

В работах Корицкого А.В. рассматривается уровень человеческого капитала и его влияние на экономический рост в России ([Корицкий А.В., 2007, 2009]). Автор анализирует влияние факторов производства, и, в частности, человеческого капитала на доходы населения в разрезе регионов России. Используя функцию типа Кобба-Дугласа, автор строит уравнение регрессии для его логарифмической формы. В результате он обнаружил статистически значимую связь дифференциации уровней накопления человеческого капитала в регионах, измеренного в годах обучения одного занятого, а также стоимости образования одного занятого в экономике региона, с уровнями доходов населения регионов России. Другим важным выводом стало то, что доля человеческого капитала в объяснённой вариации доходов занятого населения достигает 30-40% (и более), что является очень существенной величиной и говорит об очень большом вкладе образования в формирование доходов населения России. Исключением являются малонаселенные регионы, в частности часть регионов Сибири и Дальнего Востока России, где, по-видимому, решающее влияние на уровни доходов населения оказывают фондовооружённость труда и природно-климатические факторы. В другой своей работе [Корицкий А.В., 2009] автор рассматривает влияния образования на объёмы производства в регионах России. В данной работе для анализа использовалась комбинация производственной функции Кобба-Дугласа и уравнения Дж. Минцера. В итоге автор приходит к выводу, что уровень образования населения, занятого в экономике регионов России, оказывает заметное положительное и статистически значимое влияние на уровни производства в этих регионах. Вклад этой переменной в объяснённую

вариацию валового регионального продукта в расчёте на одного занятого в экономике регионов колеблется с 40% до 65% в период с 1999-ого по 2006-ой годы.

В работе Семенова А.С. [Семенов А.С., 2004] анализируется инновационный рост экономики в условиях нарастания объемов добычи природных ресурсов. В данной работе была построена расширенная модель Солоу-Свана со следующими дополнениями:

1. Наличие нескольких секторов в экономике.
2. Технологический прогресс осуществляется одним из секторов экономики.
3. Выделение имитационного и инновационного этапов в развитии экономики.
4. Введение в модель институционального фактора (образования), благоприятствующего технологической модернизации.

В рамках данного подхода был проведен анализ эффектов «голландской болезни» и деиндустриализации в случае высоких цен на природный ресурс. Было показано, что высокие цены на природный ресурс создают экстерналии, в результате которых, при неблагоприятном сочетании параметров, рынок может выйти на нестабильную в долгосрочном периоде траекторию развития, существенно зависящую от цен на ресурс. Выявлен еще один отрицательный эффект «голландской болезни»: замедление технического прогресса в экономике, что влечет за собой дальнейшее падение рентабельности обрабатывающего сектора и усугубление сырьевой зависимости. Изучение конкретных примеров показало, что в условиях недостаточной технологической развитости экономики введение налога на добычу природного ресурса и перераспределение собранных средств в целях субсидирования обрабатывающего сектора может благоприятствовать преодолению технологической отсталости. Главная функция этого налога – не в прямой поддержке обрабатывающих отраслей, генерирующих технологический прогресс, а в снижении масштабов искажений в экономике, вызванных высокой экзогенной ценой на природный ресурс.

1.2..5. Некоторые важнейшие направления развития исследований долгосрочного экономического роста и их критика

В последние 20 – 25 лет в различных модификациях моделей долгосрочного экономического роста изучаются следующие важнейшие вопросы [Aghion P , 1999].

1. Взаимосвязь образования и экономического роста.
2. Влияние на экономический рост международной торговли товарами и технологиями.
3. Влияние организации исследований и разработок, а также способов их финансирования на экономический рост. Здесь анализируются различные способы организации исследований и разработок (вертикальная, горизонтальная и т.д.), способов оплаты

труда работников, вовлеченных в инновационный процесс, и роль сторонних инвесторов в формировании инновационного процесса.

4. Влияние государственной поддержки инноваций на экономический рост.

Необходимо отметить, что существует обширная критика моделей долгосрочного экономического роста среди самих разработчиков этих моделей. В частности, указывается на то, что страны Юго-Восточной Азии, имевшие высокие темпы экономического роста в последние десятилетия, достигли их в основном за счет высокого уровня накопления основного капитала, вложений в человеческий капитал и вовлечения новых работников в производственный процесс. На это указывается, в частности, в работе А. Янга [Young A., 1995]. Он показывает, что влияние роста производительности труда за счет внедрения новых технологий на экономический рост в этих странах было незначительным.

Другая известная работа, содержащая критику идей шumpетерианских моделей экономического роста была опубликована Ч. Джонсом [Jones C., 1995]. Ч. Джонс анализирует развитие стран ОЭСР в 1950 – 1990 гг. и обращает внимание на то, что в этот период были предприняты значительные усилия, которые, в соответствии с подходом Шumpетера, должны были ускорить экономический рост: была проведена либерализация внешней торговли, увеличилась продолжительность школьного образования, увеличились расходы на исследования и разработки. Однако это не привели к ускорению экономического роста.

Все это говорит о том, что необходимо синтезировать подход, изложенный в неоклассических и шumpетерианских моделях экономического роста, о чем было сказано выше.

Необходимо отметить также, что макроэкономические модели экономического роста не позволяют исследовать структурные изменения в экономической системе, вызванные внедрением новых технологий. Поэтому, по нашему мнению, анализ и прогнозирование экономического роста с использованием этих моделей должен дополняться исследованиями с применениями динамических межотраслевых моделей (ДММ), позволяющих имитировать последствия технологических сдвигов в силу того, что в информационной базе этих моделей ключевую роль играет матрица коэффициентов прямых материальных затрат. Фактически каждый столбец этой матрицы представляет собой описание параметров технологии, используемой в соответствующей отрасли. Изменение технологий должно находить свое отражение в вариации коэффициентов прямых материальных затрат, что, в свою очередь, позволяет проводить комплексный анализ последствий технологических изменений в экономической системе на достаточно отдаленную перспективу. Отметим, что такого рода исследования активно проводятся за рубежом, в частности, в группе ИНФОРУМ Мэрилендского университета [Meade D. S.].

Переход к использованию динамических межотраслевых моделей в анализе и прогнозировании экономического роста в долгосрочном плане требует решения целого ряда методических задач.

1. Использование при прогнозировании шага в несколько лет, так как технологические изменения, как правило, не проявляются в течение одного года. Это порождает необходимость модификации методики подготовки исходной информации ДММ.
2. Обязательная увязка изменения технологий, влияющих на удельные показатели расхода сырья и материалов в отраслях, с инвестициями, обеспечивающими внедрение этих технологий, которые находят отражение во втором квадранте межотраслевого баланса.

Подводя итоги проведенного обзора эволюции инструментов анализа и прогнозирования долгосрочного экономического роста с позиции учета влияния на него инновационного процесса, можно, сделать следующие *выводы*.

1. В неоклассических моделях экзогенного экономического роста параметры, отражающие влияния инноваций на долгосрочную экономическую динамику, задавались как экзогенные переменные. В моделях не анализировались факторы, влияющие на эти переменные, а экономическая система не структурировалась с позиции формирования инновационного процесса и использования его результатов.
2. Современный подход к теории долгосрочного экономического роста исходит из предложенного И. Шумпетером понятия инновационного процесса как креативного разрушения, которое описывает конкурентный процесс в ходе которого предприниматели постоянно ищут новые технологические идеи для своего бизнеса. При этом идеи их конкурентов превращаются в устаревшие. Данный подход сосредотачивает внимание на инновациях как отдельном виде деятельности со своей мотивацией и эффектами, что дает возможность более глубокого понимания того, как институты общества, структура рынка, несовершенство рынка, торговля, экономическая политика и законодательство влияют на экономический рост в долгосрочном плане через воздействие на поведение экономических агентов в области инноваций.
3. Идеи И. Шумпетера находят отражение в моделях эндогенного экономического роста. Простейшей моделью эндогенного экономического роста является АК модель, которая имеет несколько модификаций.
4. Развитие теоретического анализа и моделирования эндогенного экономического роста в долгосрочном аспекте проходило в нескольких направлениях:

- в качестве капитала рассматривался не только основной и оборотный, но и человеческий капитал, в который осуществляются вложения и который приносит эффект в виде ускорения экономического роста;
 - учитывается влияние накопленных ранее технологических знаний и численности занятых в секторе исследований и разработок на скорость появления новых инноваций и их внедрение в производство;
 - инновации дифференцируются на фундаментальные и прикладные и анализируется их взаимное влияние, а также их воздействие на долгосрочный экономический рост;
 - в экономике выделяются секторы, играющие различную роль в формировании инноваций и их распространении: сектор исследований и разработок, генерирующий новые технологические знания, рост которого оказывает решающее воздействие на темпы долгосрочного экономического роста, сектор, производящий машины и оборудования, в которых материализуются инновации, и сектор производства прочих видов продукции;
5. Выделение секторов национальной экономики, играющих различную роль в формировании инновационного процесса, является предпосылкой к синтезу макроэкономических моделей долгосрочного экономического роста и динамических межотраслевых моделей в анализе и прогнозирования инноваций. Это открывает возможности большей операционализации исследований влияния инноваций на долгосрочную макроэкономическую динамику.

1.3. Формулировка концепции индикативного планирования и разработка методики построения сопоставимых массивов региональных индикаторов

1.3.1. Индикативное планирование – основа инновационных технологий в региональном управлении

Разработка механизмов косвенного регулирования деятельности независимых хозяйственных субъектов в регионе, направленных на достижение стратегических целей социально-экономического развития территории – центральная задача государства как основного игрока региональной экономики. Ключевая роль здесь принадлежит **индикативному планированию** – процессу формирования системы индикаторов, характеризующих состояние и развитие экономики, и государственному регулированию

социально-экономических процессов, обеспечивающему достижение целевых значений индикаторов.

Под **индикатором** обычно понимается количественный показатель, характеризующий качественные характеристики фиксированного аспекта социально-экономических явлений и процессов. В отличие от обычного экономического показателя, регистрируемого статистикой и органами государственной власти, индикаторы служат точным и объективным измерителем для соотнесения планируемых мероприятий с целями развития.

Можно выделить следующие базовые элементы индикативного планирования:

- **“индикатор состояния”** – характеристика социально-экономических явлений и процессов, рассчитываемая на основе первичных показателей и отражающая состояние наблюдаемого объекта;
- **“индикатор цели”** – показатель социально-экономического развития, измеряющий уровень достижения цели;
- **“интегральный индикатор”** – сводная характеристика, формируемая на основе частных индикаторов с помощью математических методов.

Система индикаторов в целом позволяет оценить содержание и характер социально-экономических процессов, происходящих в регионе, отраслях экономики и социальной сферы, в муниципальных образованиях и хозяйствующих субъектах. Система индикаторов является основой построения системы регионального мониторинга.

Система **регуляторов** социально-экономического развития представляет собой комплекс мер органов власти, направленных на достижение целевых значений индикаторов развития всеми участвующими сторонами. В качестве регуляторов в системе индикативного планирования обычно рассматриваются: налоговая, бюджетная и тарифная политика, а также административные меры (лицензирование, квотирование).

Индикативный план – комплексный документ, отражающий в виде конкретных значений индикаторов цели социально-экономического развития региона, намечаемые для их достижения мероприятия и средства реализации, а также необходимые материальные и финансовые ресурсы.

В отличие от директивного, индикативный план – это не чисто административный документ. Он разрабатывается и реализуется всеми участниками, влияющими на развитие региона, муниципалитетов с учетом интересов и при участии населения. План адресован всему сообществу, задает ориентиры для всех, показывает перспективы и бизнесу, и властям, и жителям, и потенциальным внешним инвесторам. Процесс индикативного планирования



Рисунок 1.3.1.1 - Концепция индикативного планирования социально-экономического развития региона.

направлен на поиск общественного консенсуса, разработку механизма партнерства на территории, цель которого – определение стратегических ориентиров и обеспечение согласованных действий по их достижению.

Такая общая концепция индикативного планирования применительно к ресурсным регионам, которых в России значительное число, приобретает специфические черты. Во-первых, здесь в стратегических индикативных планах должны присутствовать особые «долгосрочные» разделы (наборы регуляторов), включающие перечень мероприятий, направленных на освоение минерально-сырьевой базы и решение проблемы диверсификации экономики с аккумулярованием части доходов от продажи сырья в специальном фонде. Приоритет таких долгосрочных индикативных планов, сверхзадача которых – выход на

траекторию устойчивого развития, предполагает подчиненность всех средне- и краткосрочных планов задачам стратегического развития.

Другой особенностью процесса индикативного планирования на сырьевых территориях является состав целевых индикаторов. Если для промышленно развитого региона рост такого, практически всегда используемого индикатора, как ВРП, автоматически⁷ приводит к росту многих индикаторов уровня жизни, то в ресурсных регионах, в структуре добавленной стоимости профильной продукции которых велика доля природно-ресурсной ренты, этот показатель в большей степени относится к индикаторам состояния⁸.

В этой ситуации нам представляется целесообразным в составе индикаторов цели отдать приоритет индикаторам уровня жизни. Постулируя в качестве главной цели управления повышение уровня жизни населения и приоритет идей устойчивого развития (см. рис. 1.3.1.1), инновационная технология индикативного планирования социально-экономического развития региона может быть построена на основе решения задачи выхода на траекторию устойчивого развития [Лавлинский С.М., 2008] методами целевого прогнозирования.

Методологическую основу такой технологии составляет пространственное двухуровневое представление социально-экономической сферы региона и концепция вертикально-интегрированной системы регионального и муниципального уровней управления, в рамках которой основная часть разработки и координации планов проводится администрацией региона, а планы территориального уровня формируются и реализуются администрациями муниципальных образований⁹. Роль центра состоит, как это следует из рис. 1.3.1.2 в разработке стратегии социально-экономического развития, планировании, координации и увязке территориальных планов на основе гармонизации бюджетных потоков.

Основой объединенного индикативного плана являются планы территориальных единиц, отражающих реальное состояние жизнедеятельности и направления ее развития. План рождается в результате многоступенчатых итераций, и в консенсусе относительно его реализации заинтересованы все участники. Индикативный план включает формулировки долго- и среднесрочных целей развития экономики территории, прогнозные показатели и

⁷ С точностью до экологии.

⁸ Легко построить контрпример, в котором рост ВРП сопровождается реальным падением доходов для населения и сворачиванием сферы бесплатных социальных услуг.

⁹ Муниципальные образования в рамках настоящей работы – городские округа и муниципальные районы.

тенденции, концептуальные алгоритмы преобразования структурных пропорций. Ключевые разделы плана касаются в основном уровня жизни. Показатели экономического роста, инвестиций, финансовых потоков, сбалансированности экономики, инфляции и конкуренции отнесены в разряд индикаторов состояния и играют вспомогательную роль, определяя на каждой итерации направления корректировки планов.

В большинстве случаев главное содержание плана составляет определение «актов государственного вмешательства», охватывающих основные задачи государства в области экономики на плановый период. Среди них центральное место занимает задача определения долгосрочных ориентиров социально-экономического развития региона. Стратегическая формулировка типа «Цель - достижение фиксированных эталонных показателей уровня жизни на территории региона к заданному году» созвучна постановке задачи выхода на траекторию устойчивого развития и во многом определяет программу развития экономики и строительства в государственном секторе социальной сферы. Возможно ли это в рамках ресурсов, появляющихся на территории в результате реализации плана развития – это как раз то, что необходимо выяснить в итеративной процедуре индикативного планирования.

Собственно процедура индикативного планирования начинается с того, что администрации муниципалитетов готовят территориальные программы развития, включающие локальные индикативные планы¹⁰, согласованные с перечнями инвестиционных проектов и мероприятий, источники финансирования которых на этом этапе определены частично. Вместе с территориальными планами экспертами готовятся общерегиональные программы, связанные с инфраструктурными проектами, освоением природно-ресурсной базы, проектами диверсификации и т.п.

¹⁰ Представляющие собой плановую динамику индикаторов уровня жизни и набор косвенных регулирующих воздействий в пределах компетенции муниципальных образований.



Рисунок 1.3.1.2 - Организационная схема процесса индикативного планирования в регионе.

На этапе координации территориальных и региональных программ формируется стратегия управления – набор распределенных во времени косвенных регуляторов регионального уровня, основная задача которого состоит в балансировке потребностей территорий в ресурсах различного вида и доопределении финансовых источников реализации программ всех уровней.

Обобщенный индикативный план региона, построенный таким образом, нуждается, вообще говоря, в оценке своих финальных качеств – сбалансированности и уровня достижения цели. А вот для этого в технологию должен быть встроен ее ключевой элемент – компьютерная система, основное назначение которой:

- прогноз роста экономики;
- выяснение, достигим ли эталон;
- оценка сбалансированности траектории развития.

Построив такую систему, технологически эффективно на каждой итерации процедуры планирования использовать ее как прогнозно-аналитический стенд, позволяющий получить динамику индикаторов, оценку их пороговых значений по муниципалитетам и картину возникающих в процессе реализации обобщенного индикативного плана диспропорций.

Такая информация – отправная точка итеративной процедуры, на каждом шаге которой индикативный план корректируется на основе прогноза последствия его реализации.

Понятно, что идеологическая конструкция такой прогнозно-аналитической системы, играющей центральную роль в технологии индикативного планирования, должна на содержательном уровне соответствовать постановке задачи выхода на траекторию устойчивого развития. При этом важно, чтобы основной функциональной нагрузкой системы являлся прогноз последствий реализации плана, разработанного экспертом, с точки зрения динамики уровня жизни населения.

То обстоятельство, что сам план в рамках предлагаемой технологии является экзогенным параметром системы, порождено природой индикативного плана. В отличие от директивного, для генерации которого действительно можно было бы сформулировать задачу линейного программирования и рассуждать об эффективности на плоскости объемов выпусков и поставок продукции различных отраслей, зависимость результирующей траектории уровня жизни от входных параметров индикативного плана чрезвычайно сложна. Для того, чтобы описать эту зависимость нужна достаточно детальная, эволюционная по своей природе модель трансформации актов косвенного регулирования в изменение внешних параметров процедур принятия хозяйственных решений и последующие корректировки траектории показателей функционирования основных экономических агентов региональной экономики.

Вместо того, чтобы генерировать вариант плана, такая система должна создавать благоприятную среду для его формирования экспертом. Так, специальные модели в системе должны мониторить экономические оценки основных объектов минерально-сырьевого комплекса. Значительная часть работы по формированию программы социально-экономического развития территории должна быть «защита» в системе – выбор эталонных значений индикаторов уровня жизни и момента их достижения, дополненный задаваемой экспертом системой приоритетов отраслей в процессе разработки бюджета, должен алгоритмически определять ежегодную структуру бюджетных расходов по основным направлениям.

Для формирования политики воздействия на развитие отраслей в системе должна быть заготовлена библиотека элементарных моделей отдельных рычагов косвенного регулирования – актов налоговых льгот и преференций, льготных кредитов и бюджетных закупок, вариантов тарифной политики, административных мер (лицензирование, квотирование) и т.п. Пользуясь такой библиотекой, эксперт должен быть в состоянии сформировать совокупности фиксированных наборов исходных модулей, аппроксимирующих широкий спектр косвенных управляющих воздействий.

Созданная таким образом инструментальная среда должна облегчить процесс формирования экспертом индикативного плана развития территории, а сам план содержательно интерпретировать в терминах входных параметров системы. Остается только оценить сгенерированный вариант с точки зрения динамики индикаторов уровня жизни и определить степень достижения исходной цели. А вот для этого в систему должен быть встроен ее самый большой и важный компонент – генератор прогноза последствий реализации сформированного индикативного плана.

Таким образом, фундаментом технологии индикативного планирования является модель прогнозирования, на вход которой подается индикативный план, а на выходе генерируется его оценка с точки зрения динамики индикаторов уровня жизни населения.

1.3.2. Методика построения сопоставимых массивов региональных индикаторов

Основная проблема - обосновать методическую схему сравнительного анализа социально-экономического положения регионов России, и сформулировать требования к исходной информации. Общая схема включает этапы подготовки региональных индикаторов, выбора и обоснования методов проведения и анализа межрегиональных сравнений. В большинстве конкретных подходов формируются однородные массивы региональных показателей, которые, в целях обеспечения корректности межрегиональных сопоставлений, определенным образом нормируются.

Межрегиональные сравнения проводятся в непрерывной или целочисленной шкале (последние принято называть ранговыми сравнениями, когда на основе упорядоченных значений индикаторов регионам присваиваются соответствующие места (ранги) среди всей совокупности регионов). Результаты сравнений могут иметь локальный характер (по отдельным индикаторам), или системный (комплексный) – по совокупности индикаторов. При проведении комплексных сравнений отдельным индикаторам могут быть предписаны определенные веса, отражающие их неравнозначность между собой.

Исходные индикаторы, используемые в межрегиональных сопоставлениях, можно рассчитывать как на основе статистических данных, так и с привлечением экспертных оценок, особенно по тем срезам социально-экономического развития регионов, по которым данные статистики недостаточны, или явно недостоверны. Важным примером является дополнение возможностей статистики, регистрирующей, как правило, количественные характеристики социально-экономического развития регионов, экспертными оценками, вносящими качественные различия в количественно близкие индикаторы.

Основные свойства рейтинговых методов. Процедуры рейтинговых сравнений регионов между собой представляют задачу параметрической оптимизации линейного

функционала на ограниченных множествах (как правило, конечных) региональных индикаторов. При ранговых сравнениях оптимизация происходит на целочисленной решетке образа этого множества в соответствующем пространстве.

Большинство рейтинговых схем обладает простотой их построения и использования, и характеризуются следующими очевидными свойствами: зависимостью результатов от размерности пространства индикаторов; возможностью выделения групп близких по рейтингам регионов; неаддитивностью комплексных сравнений и псевдозамещением в них частных рейтинговых оценок; возможностями обратной идентификации факторов межрегиональных сопоставлений.

Расчеты сводных рейтингов можно производить в предположениях равных, фиксированных или эндогенно определяемых коэффициентов значимости региональных индикаторов. Использование фиксированных весов субъективизирует процесс сравнений. Эндогенно рассчитываемые веса определяются структурой множества региональных индикаторов. Поскольку по региональным рейтингам всегда можно оценить значимость отдельных индикаторов, а по последним рассчитать сводные рейтинги регионов, то методически состоятельные рейтинговые расчеты базируются на согласованной системе региональных рейтингов и коэффициентов значимости индикаторов, определяемых в процессе итеративных уточнений. Поэтому сводные рейтинги, рассчитанные при равных или фиксированных значениях коэффициентов значимости региональных индикаторов, являются лишь начальным приближением к согласованной системе рейтинговых оценок и могут достаточно заметно отличаться от последних. В полных схемах процедуры уточнения коэффициентов значимости региональных индикаторов параметризуются последовательным исключением регионов с наивысшим для последней итерации рейтингом.

При сравнении субъектов РФ по большому кругу индикаторов целесообразно использовать иерархические рейтинговые схемы, основанные на построении групповых рейтингов, и на их основе интегральных оценок сравнительного положения регионов.

Простейшей является двухуровневая процедура построения рейтинговых оценок. Согласно ей на первом этапе по первичным индикаторам, разбитым на тематические группы, рассчитываются групповые рейтинги. На втором этапе, с использованием их как исходных данных, синтезируются интегрированные рейтинги социально-экономического положения регионов. При этом на каждом этапе для индикаторов в группах и групповых рейтингов определяются коэффициенты их важности с позиций вхождения в сводные рейтинговые оценки. Непротиворечивость системы иерархически организованных рейтингов обеспечивается корректными перенормировками частных рейтинговых оценок при переходе

на более высокие уровни иерархии и построением согласованной системы коэффициентов значимости разноуровневых индикаторов и рейтинговых оценок.

Методы межрегиональных сравнений, близкие к рейтинговым. Прежде всего, к ним следует отнести методы сравнения регионов на основе весовых индексов и индексов объективных различий регионов.

Основу весовых индексов составляют средние оценки (по рассматриваемой совокупности показателей) долей регионов в стране, нормированные к их долям в численности населения. Особенности многообразных частных весовых пропорций можно отразить в расчетных коэффициентах вариации этих долей в каждом регионе. Так что окончательные индексы сравнения регионов методами расчета весовых коэффициентов имеют двухкомпонентную структуру – обобщенный весовой индекс и коэффициент вариации частных весовых индексов. В одних вариантах схемы межрегиональных сравнений возможно прямое использование двухкомпонентных индексов, в других – они предварительно сворачиваются в интегрированный весовой индекс. Как и в рейтинговых схемах по результатам построения весовых индексов можно проводить ранговые упорядочивания.

Индексы объективных различий регионов рассчитываются в процедурах определения сводных индексов региональных удорожаний и представляют особый вид рейтинговых оценок. Их построение основано на использовании обобщенных (усредненных) относительных индикаторов, очищенных от региональных ценовых неравенств. Идея метода базируется на переходе от номинальных показателей развития региона к показателям единого уровня через индексы объективных различий и региональных удорожаний.

Индексы объективных различий аккумулируют в себе не только дифференциацию природно-климатических условий, но и сложившуюся структуру экономики, уровень ее рентабельности, другие факторы, считаемые обычно неизменными при расчетах агрегатных показателей. Различия регионов, ими вызываемые, носят достаточно долговременный характер, именно поэтому возможно включение этих факторов в число тех, что определяют объективный характер территориальной дифференциации.

Определение индексов объективных различий представляет итеративную процедуру их последовательного пересчета по мере уточнения индексов региональных удорожаний, в соответствии с которыми рассчитываются индикаторы единого уровня.

Банк основных задач межрегиональных сравнений. По предложенным методикам выполнены серии расчетов на данных годовой статистики, содержащихся в сборниках Госкомстата РФ «Регионы России». Среди них:

- сравнения регионов по душевому ВРП;

- сравнения в главных индикаторах;
- сравнения регионов по расширенному массиву статистических данных для укрупненной территориальной сетки;
- сравнения с привлечением экспертных оценок неформализованных срезов социально-экономического положения регионов;
- сравнения субъектов РФ в составе федеральных округов;
- иерархические сравнения в детальной территориальной сетке;
- комплексные сравнения по методике адаптивной структуризации пространства региональных индикаторов;

Данные задачи можно рассматривать как примеры выбора наиболее подходящих методических схем при решении конкретных задач межрегиональных сравнений в конкретных условиях.

Сравнение методик межрегиональных сопоставлений. Экспериментальным путем установлено, что на одинаковых массивах данных и для одних и тех же задач большинство рассмотренных выше методик дают близкие результаты порядковых сравнений (со степенью совпадения порядка 80-90%). Основным фактором, обеспечивающим такую близость, является дискретность и конечность множества допустимых состояний регионов в пространстве региональных индикаторов, обеспечивающих в широких пределах инвариантность упорядочений регионов при разных вариантах расчетов региональных оценок. Поэтому при «грубых» сравнениях, предполагающих выделения групп близких по рейтингам регионов, допустимы любые методические схемы, варианты кластирования возможны лишь для регионов с рейтингами, близкими границам выбранных диапазонов групп. В случаях, когда особо важен порядок следования всех регионов, предпочтительнее более тонкие методы: схемы с самонастраивающимися коэффициентами значимости отдельных индикаторов, или методы межрегиональных сравнений на основе адаптивной структуризации пространства региональных индикаторов, свободных от разномасштабных представлений разных индикаторов и влияния на сводные оценки «выбросов» отдельных частных оценок – типичной проблемы оценивания в стандартных подходах.

1.4. Разработка математических моделей конкурентной борьбы на рынке новых видов продукции с различными критериями оптимальности поведения участников рынка

Исследуется ситуация соперничества на рынке двух фирм [Береснев В.Л., 2009]. Первая фирма планирует вывести на рынок новую продукцию и должна принять решение о том, какие виды продукции предложить рынку и по каким ценам, имея цель получить максимальную прибыль. Указанное решение фирма принимает в условиях конкуренции, когда другая фирма, преследующая свои цели, также может предложить рынку свою продукцию и “захватить” часть потребителей.

1.4.1. Задача лидера в игре Штакельберга

Задачу выбора наилучшего решения фирмой будем формулировать на базе известной модели конкуренции на рынке [Stackelberg H. von , 1952], называемой игрой Штакельберга. В этой модели имеются две соперничающие стороны: Лидер и Последователь, которые последовательно принимают решения, стремясь достичь свои, вообще говоря, различные цели. Сначала Лидер принимает решения, зная цель, которую стремиться достичь Последователь. Затем Последователь, зная решение Лидера, принимает свое решение, оптимизирующее его целевую функцию.

Задача Лидера в игре Штакельберга состоит в выборе такого решения, которое максимизирует его целевую функцию, значение которой зависит и от оптимального решения, принятого последователем.

Пусть множество A задает множество возможных решений Лидера, а множество $B(x)$ — множество возможных решений Последователя, при условии, что Лидер принял решение $x \in A$. Обозначим через $f(x, z)$ целевую функцию Лидера, которая может выражать, например, величину прибыли, получаемую Лидером, если он принял решение x , а Последователь — решение z . Аналогично, через $g(x, z)$ обозначим целевую функцию Последователя, равную, например, прибыли, которую, получит Последователь, если Лидер выбрал решение x , а Последователь — решение z .

Тогда задача Лидера в игре Штакельберга записывается как следующая задача двухуровневого математического программирования:

$$\begin{aligned} \max_x f(x, \tilde{z}); \\ x \in A; \end{aligned}$$

\tilde{z} — оптимальное решение задачи:

$$\max_z g(x, z);$$

$$z \in B(x).$$

Эта задача, как и всякая задача двухуровневого математического программирования [Dempe S. , 2002] включает в себя задачу верхнего уровня и задачу нижнего уровня. Целевую функцию задачи верхнего уровня будем считать также целевой функцией задачи Лидера в целом. При этом отметим, что в задаче нижнего уровня в качестве параметра присутствует допустимое решение $x \in A$ задачи верхнего уровня. Аналогично, в задаче верхнего уровня в качестве параметра присутствует оптимальное решение \tilde{z} задачи нижнего уровня.

Допустимым решением задачи Лидера будем называть пару (x, \tilde{z}) , где $x \in A$, а \tilde{z} — оптимальное решение задачи нижнего уровня с параметром x .

Отметим, что рассматриваемая задача Лидера является корректной, если при любом $x \in A$ для любых допустимых решений (x, \tilde{z}_1) и (x, \tilde{z}_2) выполняется равенство $f(x, \tilde{z}_1) = f(x, \tilde{z}_2)$. Это условие справедливо, в частности, когда при любом $x \in A$ задача нижнего уровня имеет единственное оптимальное решение.

Если данное условие выполняется, то определение оптимального решения задачи Лидера не вызывает трудностей. Допустимое решение (x^*, \tilde{z}^*) является *оптимальным*, если $f(x^*, \tilde{z}^*) \geq f(x, \tilde{z})$ для любого допустимого решения (x, \tilde{z}) .

Если же указанное условие не выполняется, то задача Лидера не является корректной и чтобы снять неопределенность при вычислении целевой функции необходимо сформулировать правило выбора оптимального решения задачи нижнего уровня. Другими словами необходимо уточнить цель, которую преследует Последователь при выборе своего решения. В зависимости от этого будет уточняться и понятие оптимального решения.

Рассмотрим два правила поведения Последователя при выборе им своего решения: *кооперативное* и *некооперативное*. При кооперативном поведении Последователь, стремясь максимизировать свою целевую функцию, содействует Лидеру в получении максимального значения его целевой функции, а при некооперативном поведении Последователь стремится максимально ухудшить значение целевой функции Лидера.

В первом случае искомым решением задачи Лидера, которое будем называть *оптимальным кооперативным* решением задачи, будет допустимое решение (x^*, \tilde{z}^*) такое, что

$$f(x^*, \tilde{z}^*) = \max_x \max_{\tilde{z}} f(x, \tilde{z}).$$

Другими словами, допустимое решение (x^*, \tilde{z}^*) задачи Лидера является оптимальным кооперативным решением, если $f(x^*, \tilde{z}^*) \geq f(x, \tilde{z})$ для любого допустимого решения (x, \tilde{z}) .

При некооперативном поведении Последователя наилучшим решением задачи Лидера будем считать допустимое решение (x^*, \bar{z}^*) , для которого

$$f(x^*, \bar{z}^*) = \max_x \min_{\tilde{z}} f(x, \tilde{z}),$$

и называть его *оптимальным некооперативным* решением задачи Лидера. Допустимое решение (x, \bar{z}) задачи Лидера будем называть допустимым некооперативным решением, если $f(x, \bar{z}) \leq f(x, \tilde{z})$ для любого допустимого решения (x, \tilde{z}) . Тогда оптимальное некооперативное решение — это такое решение, что $f(x^*, \bar{z}^*) \geq f(x, \bar{z})$ для любого допустимого некооперативного решения (x, \bar{z}) .

Таким образом, будем рассматривать две постановки задачи Лидера в игре Штакельберга. В первой необходимо найти оптимальное кооперативное решение, а во второй — оптимальное некооперативное решение.

1.4.2. Задача выбора наилучшего решения в конкурентной борьбе на рынке

Сформулируем задачу выбора наилучшего решения фирмой, выводящей на рынок свою продукцию, как задачу Лидера в игре Штакельберга. Следуя терминологии игры Штакельберга, эту фирму будем называть фирмой-лидером, а ее конкурента на рынке — фирмой-последователем.

Введем необходимые обозначения и сформулируем некоторые предположения и допущения, уточняющие правила поведения участников рынка в рассматриваемой ситуации.

Обозначим через $I = \{1, \dots, m\}$ множество видов продукции, которые могут предложить рынку фирма-лидер и фирма-последователь. Каждый элемент $i \in I$ соответствует некоторому конкретному виду продукции, который реализуется на рынке по конкретной цене. Этот вид продукции будем называть видом i . Таким образом, если два вида продукции не отличаются по своим потребительским свойствам, но имеют разные цены, то эти виды продукции представлены во множестве I разными элементами. При этом предполагается, что спектр цен, по которым обе фирмы могут реализовывать на рынке свою продукцию, не слишком широк и включает относительно небольшой набор значений, например, низкая, средняя и высокая цена.

Обозначим через I_L и I_F подмножества множества I , означающие множество видов продукции, которые могут предложить рынку соответственно фирма-лидер и фирма-последователь. Считаем, что $I_L \cup I_F = I$ и $I_L \cap I_F = \emptyset$. Отметим, что последнее соотношение не означает, что продукцию одного и того же вида не может предложить рынку и фирма-лидер и фирма-последователь. Предполагается, что в этом случае этому виду продукции соответствуют разные элементы множества I .

Для всякого $i \in I$ будем считать известными величины f_i и g_i , означающие фиксированные затраты соответственно фирмы-лидера и фирмы-последователя, связанные с реализацией на рынке продукции вида i . Относительно этих величин будем предполагать, что $f_i = \infty$, если $i \notin I_L$, и $g_i = \infty$, если $i \notin I_F$.

Обозначим через $J = \{1, \dots, n\}$ множество потенциальных потребителей рассматриваемых видов продукции. Каждый элемент $j \in J$ обозначает некоторого потребителя, которого будем называть потребителем j . У каждого потребителя имеется спрос на данную продукцию, который может быть удовлетворен разными видами продукции, предлагаемыми как фирмой-лидером, так и фирмой-последователем.

Будем предполагать, что для всякого $i \in I$ и любого $j \in J$ можно вычислить величину p_{ij} прибыли, получаемую в результате удовлетворения спроса потребителя j продукцией вида i . Величина p_{ij} может вычисляться с учетом различных факторов: цены на продукцию данного вида, затрат производителя, бюджета потребителя и т.п. Понятно, что если $i \in I_L$, то p_{ij} — это прибыль, которую получает фирма-лидер, а если $i \in I_F$, то — фирма-последователь.

Прибыль фирмы от реализации продукции вида i складывается из прибыли, получаемой в результате удовлетворения спроса потребителей минус фиксированные затраты. Суммарная прибыль фирмы складывается из прибыли от реализации всех видов продукции.

Будем считать, что потребители делают выбор между продукцией фирмы-лидера и фирмы-последователя, исходя из собственных предпочтений. Для потребителя $j \in J$ предпочтения задаются линейным порядком \succ_j на множества I . Соотношение $i \succ_j k$ для $i, k \in I$ означает, что если на рынке имеется продукция видов i и k , то для потребителя j продукция вида i будет предпочтительнее. Считаем также, что отношение $i \succcurlyeq_j k$ означает, что либо $i \succ_j k$, либо $i = k$.

С учетом сделанных допущений рассмотрим процесс принятия решений участниками рынка, который, как и в игре Штакельберга, состоит из двух этапов.

На первом этапе фирма-лидер принимает решение о том, какие виды продукции предложить рынку, имея в виду цель получения максимальной прибыли. При этом фирма-лидер знает весь перечень видов продукции, который может предложить рынку фирма-последователь, а также цель, которую ставит перед собой фирма-последователь. Кроме того, фирме-лидеру известны предпочтения каждого потребителя. В соответствии с этими предпочтениями фирма-лидер выбирает вид своей продукции для удовлетворения спроса каждого потребителя.

На втором этапе фирма-последователь принимает решение о том, продукцию каких видов предложить рынку, чтобы получить максимальную прибыль. При этом фирма-последователь знает, какие виды продукции предложены рынку фирмой-лидером, и ей известны предпочтения каждого потребителя. Фирма-последователь-лидер “захватывает” потребителя, если предлагает ему такой вид продукции, который предпочтительнее для данного потребителя любого вида продукции, предложенного фирмой-лидером.

Задача фирмы-лидера состоит в том, чтобы принять такое решение, которое дает максимальную прибыль при условии, что некоторые потребители будут “захвачены” фирмой-последователем.

1.4.3. Математические модели

Для формальной записи задачи фирмы-лидера по выбору наилучшего решения в конкурентной борьбе на рынке введем следующие переменные:

x_i — переменная, принимающая значение 1, если фирма-лидер предлагает рынку продукцию вида $i \in I$, и значение 0 в противном случае;

x_{ij} — переменная, принимающая значение 1, если продукция вида $i \in I$, предлагаемая фирмой-лидером, является наиболее предпочтительной для потребителя $j \in J$ среди всех видов продукции, предложенных фирмой-лидером, и равняется 0 в противном случае;

z_i — переменная, принимающая значение 1, если фирма-последователь предлагает рынку продукцию вида $i \in I$, и значение 0 в противном случае;

z_{ij} — переменная, принимающая значение 1, если продукция вида $i \in I$, предлагаемая фирмой-последователем, используется для удовлетворения спроса потребителя $j \in J$ и равняется 0 в противном случае;

С использованием введенных переменных задача фирмы-лидера в конкурентной борьбе на рынке записывается следующим образом:

$$\max_{(x_i)(x_{ij})} \left\{ - \sum_{i \in I} f_i x_i + \sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \right) \left(1 - \sum_{i \in I} \tilde{z}_{ij} \right) \right\} \quad (1.4.3.1)$$

$$x_i + \sum_{k | i \succ_j k} x_{kj} \leq 1, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.4.3.2)$$

$$x_i \geq x_{ij}, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.4.3.3)$$

$$x_i, x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.4.3.4)$$

$$(\tilde{z}_i), (\tilde{z}_{ij}) \text{ — оптимальное решение задачи} \quad (1.4.3.5)$$

$$\max_{(z_i)(z_{ij})} \left\{ - \sum_{i \in I} g_i z_i + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} p_{ij} z_{ij} \right\} \quad (1.4.3.6)$$

$$x_i + \sum_{k | i \succ_j k} z_{kj} \leq 1, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.4.3.7)$$

$$z_i \geq z_{ij}, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.4.3.8)$$

$$z_i, z_{ij} \in \{0,1\}, \quad i \in I, j \in J. \quad (1.4.3.9)$$

Сформулированная задача является задачей двухуровневого целочисленного программирования. Как и всякая такая задача она включает задачу верхнего уровня (1.4.3.1)–(1.4.3.4), которую будем обозначать через L , и задачу нижнего уровня (1.4.3.6)–(1.4.3.9), которую будем обозначать через F . Для задачи (1.4.3.1)–(1.4.3.9) в целом будем использовать обозначение (L, F) . Целевую функцию (1.4.3.1) задачи L будем считать также целевой функцией задачи (L, F) .

Целевая функция (1.4.3.1) сформулированной задачи выражает величину суммарной прибыли, получаемой фирмой-лидером с учетом потерь некоторых потребителей, захваченных фирмой-последователем. Неравенство (1.4.3.2) обеспечивает выполнение правила выбора продукции, предлагаемой фирмой-лидером, для удовлетворения спроса потребителей. Это же неравенство гарантирует, что для удовлетворения спроса каждого потребителя может быть выбран только один вид продукции. Ограничение (1.4.3.3) означает, что для удовлетворения спроса потребителей может быть использована продукция фирмы-

лидера только тех видов, что имеются на рынке. Аналогичный смысл имеют целевая функция и ограничения задачи F . Целевая функция (1.4.3.6) выражает величину суммарной прибыли, получаемой фирмой-последователем. Неравенство (1.4.3.7) обеспечивает выполнение условий “захвата” потребителей фирмой последователем. Это же неравенство показывает, что спрос каждого потребителя фирмой-последователем не может быть удовлетворен более одного раза. Ограничение (1.4.3.8) означает, что для удовлетворения спроса потребителей может быть использована продукция фирмы-последователя только тех видов, что имеются на рынке.

Наряду с рассмотренной моделью конкурентной борьбы на рынке и задачей (L, F) рассмотрим еще один вариант модели и сформулируем соответствующую задачу фирмы-лидера. Предположим, что цель фирмы последователя состоит в максимизации не суммарной прибыли, а только прибыли, полученной от потребителей, то есть прибыли без учета фиксированных затрат. Но при этом для каждого вида продукции вводится условие его неубыточности, которое означает, что прибыль от использования данного вида продукции не может быть меньше величины фиксированных затрат.

В этом случае задача нижнего уровня в задаче фирмы-лидера записывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 & \max_{(z_i)(z_{ij})} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} p_{ij} z_{ij} \\
 & x_i + \sum_{k | i \succ_j k} z_{kj} \leq 1, \quad i \in I, j \in J; \\
 & z_i \geq z_{ij}, \quad i \in I, j \in J; \\
 & z_i g_i \leq \sum_{j \in J} p_{ij} z_{ij}, \quad i \in I, j \in J; \\
 & z_i, z_{ij} \in \{0,1\}, \quad i \in I, j \in J.
 \end{aligned} \tag{F'}$$

Эту задачу будем обозначать через F' , а задачу фирмы-лидера с такой задачей нижнего уровня — через (L, F') .

Задача (L, F') соответствует более жесткому поведению фирмы-последователя по отношению к фирме-лидеру. В случае указанного критерия фирма-последователь, уменьшая свою суммарную прибыль, может “захватить” большую часть потребителей и уменьшить прибыль фирмы-лидера.

Обозначим через $X = ((x_i), (x_{ij}))$ допустимое решение задачи L , а через $Z = ((z_i), (z_{ij}))$ и $\tilde{Z} = ((\tilde{z}_i), (\tilde{z}_{ij}))$ соответственно допустимое и оптимальное решение задач F и F' .

Пару (X, \tilde{Z}) назовем *допустимым решением* задачи (L, F) (задачи (L, F')), если X — допустимое решение задачи L , а \tilde{Z} — оптимальное решение задачи F (задачи F').

Обозначим через $L(X, Z)$ целевую функцию задач (L, F) и (L, F') .

Допустимое решение (X, \bar{Z}) задачи (L, F) (задачи (L, F')) назовем *допустимым некооперативным* решением задачи (L, F) (задачи (L, F')), если для всякого оптимального решения \tilde{Z} задачи F (задачи F') выполняется неравенство $L(X, \bar{Z}) \leq L(X, \tilde{Z})$.

Допустимое некооперативное решение (X^*, \bar{Z}^*) задачи (L, F) (задачи (L, F')) назовем *оптимальным некооперативным* решением задачи (L, F) (задачи (L, F')), если для любого допустимого некооперативного решения (X, \bar{Z}) задачи (L, F) (задачи (L, F')) выполняется неравенство $L(X^*, \bar{Z}^*) \geq L(X, \bar{Z})$. При этом величину $L(X^*, \bar{Z}^*)$ будем называть оптимальным значением целевой функции задачи (L, F) (задачи (L, F')).

Далее основное внимание будет сосредоточено на проблеме вычисления оптимального значения целевой функции задач (L, F) и (L, F') и поиску оптимальных некооперативных решений этих задач.

1.5. Постановка моделей ценообразования и размещения производства

В данной главе мы рассмотрим модели, в которых одновременно оптимизируется выбор пунктов обслуживания и ценообразования в них. Основная цель при исследовании таких моделей заключается в разработке математического аппарата и программного обеспечения, которые позволяют получить ответ на следующие вопросы:

1. Сколько необходимо выбрать пунктов обслуживания?
2. Где они должны быть размещены?
3. Какие цены должны быть установлены за предоставляемые ими услуги?

Обычно рассматривают следующие стратегии ценообразования [Hanjoul P., 1990]:

1. Равномерное ценообразование (uniform pricing), т.е. на всех пунктах

обслуживания устанавливается одна и та же цена.

2. Фабричная цена (mill pricing) – стратегия ценообразования, при которой в каждом пункте обслуживания может быть установлена своя цена.

3. Дискриминационное ценообразование (discriminator pricing) – стратегия ценообразования, при которой могут быть ущемлены интересы каких-то групп покупателей. Например, на одном и том же пункте обслуживания для каждого клиента может быть установлена своя цена.

Далее рассматриваться вторая стратегия ценообразования. На первый взгляд рассмотрение в рамках одной модели размещения производства и ценообразования на выбранных предприятиях выглядит не совсем естественным в силу следующих соображений. Понятно, что размещение производства это решение долгосрочного плана, на перспективу, а ценообразование это решение на краткосрочный период. И, казалось бы, какой смысл увязывать одно с другим. Однако есть ситуации, в которых размещение производства и ценообразование завязаны в одно целое. Если спрос дискретен, то выбор пунктов размещения скорее всего должен зависеть от того как расположены точки спроса. Но из того, что пункт обслуживания размещён рядом с какой то точкой спроса ещё не следует, что этот выбор является разумной стратегией. Чтобы клиенты пришли в данный пункт обслуживания, на нем должна быть достаточно привлекательная цена. Другими словами, следует ожидать, что размещение производства зависит от спроса, который, в свою очередь, зависит от ценообразования. Столь же банальна и обратная зависимость «оптимальной» цены обслуживания от размещения данного пункта. Т.е. совместное моделирование размещения и ценообразования целесообразно и их не стоит разрывать без достаточных на то оснований. Так как это может увести далеко в сторону от оптимума.

Другой важный момент связан с моделированием процесса обслуживания клиентов. В данной работе предполагается, что поведение клиентов описывается оптимизационной задачей. Это соглашение, конечно, сильно усложняет получающиеся математические модели, т.к. приводит нас в класс моделей двухуровневого программирования. Но подобный подход в максимальной степени соответствует поведению моделируемых объектов. В реальной жизни покупатель при прочих равных условиях стремится к минимизации расходов или к максимизации полезности. Если потребитель не в состоянии выделить только один из данных показателей, то возникают задачи двухуровневого программирования, в которых в качестве внутренней оптимизационной подзадачи используется многокритериальная задача.

В двухуровневых задачах размещения производства и ценообразования Лидер

выбирает пункты производства и для каждого из них назначает цену, которую выплачивает любой из клиентов за обслуживание в данном пункте. Лидер стремится максимизировать свою прибыль, которая складывается из дохода за обслуживание клиентов и затрат, необходимых для открытия выбранных пунктов производства. Для каждого клиента известны транспортные затраты необходимые для его обслуживания из любого пункта производства и его бюджет. Поведение клиентов определяется задачей нижнего уровня. Каждый клиент стремится минимизировать свои затраты, которые складываются из транспортных затрат и стоимости обслуживания.

Далее исследуется более простая ситуация, когда известны пункты производства. Необходимо выбрать цены на каждом из них так, чтобы максимизировать прибыль. Как и исходная задача, задача ценообразования относится к классу труднорешаемых. Данное упрощение вызвано тем, что, несмотря на кажущуюся простоту содержательной постановки, возникают математические модели, в которых и целевая функция и ограничения являются квадратичными функциями от булевых и непрерывных переменных. А так как в стандартных пакетах отсутствуют алгоритмы для решения подобных задач, то необходимо разработать соответствующее алгоритмическое и программное обеспечение.

В подразделе 1.5.1 содержится краткий обзор моделей размещения и/или ценнообразования. Цель обзора – уточнить область, к которой принадлежит рассматриваемый класс задач и наметить направление, в котором он будет развиваться. В обзоре много внимания уделяется конкурентным задачам размещения. Потенциально это то направление, в котором возможно будут эволюционировать задачи ценообразования. По-видимому, разумная постановка задачи размещения производства и ценообразования должна учитывать не только поведение пользователей-клиентов, но и конкурентов по бизнесу. В подразделе 1.5.2 приводится постановка двухуровневой задачи размещения и ценообразования, которая исследуется в рамках данного проекта. В последующих подразделах 1.5.3 и 1.5.4 рассматриваются, соответственно, точные и приближённые алгоритмы решения для задачи ценообразования.

1.5.1. Обзор задач размещения и ценообразования

Задачи размещения производства имеют большой прикладной потенциал так как универсальный характер соответствующих математических моделей позволяет анализировать широкий спектр производственных и экономических ситуаций, возникающих на практике [Береснев В.Л., 1978]. Однако основной упор в подавляющей части этих исследованиях сделан на постановках, в которых оперирует лишь одно лицо, принимающее решения. Последнее обстоятельство ограничивает применимость этих математических

моделей. Выпадают наиболее сложные и реалистичные ситуации, описывающие групповой выбор, когда имеется несколько ЛПР. Они действуют независимо друг от друга, исходя из рациональных соображений, т.е. стремясь максимизировать свою выгоду или минимизировать свой ущерб. Подобные ситуации описываются системой оптимизационных моделей. При этом решение, принимаемое группой, должно удовлетворять определённым законам или принципам, которым все участники процесса следуют как единое целое. С содержательной точки зрения, поиск такого решения можно рассматривать как поиск «равновесия» в некоторой игре. Поведение каждого ЛПР (игрока) описывается своей оптимизационной задачей. Решение такой игры «равновесно», если оно рационально с точки зрения каждого игрока, т.е. оптимально в соответствующей оптимизационной задаче и удовлетворяет условиям, связывающим оптимизационные модели в единое целое. В этом смысле можно говорить о таких задачах как задачах равновесной оптимизации. Этому термину можно придать более строгий смысл, если воспользоваться существующими связями между теорией игр и оптимизацией. Действительно, основную долю задач равновесного программирования можно сформулировать как поиск неподвижной точки подходящего отображения [В.И. Зоркальцев, 2006]. Фундаментальный результат теории игр устанавливает эквивалентность понятий равновесия по Нэшу и неподвижной точки подходящего отображения [Мулен Э., 1985]. Таким образом, термину «равновесная оптимизация» придается глубокий содержательный смысл.

Если у игроков имеется очередность в принятии решений, то среди равновесных задач можно выделить модели многоуровневой оптимизации. Каждому уровню соответствует некоторая доля игроков и оптимизационная задача, описывающая их поведение. На самом верхнем уровне находятся игроки, принимающие решение первыми. На самом нижнем уровне – игроки, принимающие решение последними. В данной работе рассматриваются только двухуровневые постановки. Подавляющая доля теоретических исследований в этой области и методов решения таких задач посвящена непрерывным постановкам [Dempe S. J. , 2002]. Однако основная проблема состоит в отсутствии практически эффективных алгоритмов решения двухуровневых задач. Вне зависимости от природы задачи: комбинаторной или непрерывной, существующие методы принадлежат к одному из трёх классов:

- 1) точные переборные методы, типа ветвей и границ,
- 2) итерационные методы, реализующие идеи штрафных функций,
- 3) приближённые подходы.

Эти методы не дают каких-либо теоретических или экспериментальных гарантий эффективности или оценок качества получаемых приближённых решений. Практически отсутствуют алгоритмы, основанные на метаэвристиках. В последние десятилетия именно метаэвристики стали эталоном эффективности решения прикладных одноуровневых задач [Dreo J., 2006]. В рамках данного проекта будут исследоваться двухуровневые задачи размещения производства и ценообразования, и разрабатываться алгоритмы их решения на основе метаэвристик. Также будут обсуждаться проблемы разработки гибридных методов решения таких задач. Такие алгоритмы сочетают возможности точных методов и метаэвристик.

Рассмотрим теперь более подробно некоторые конкурентные модели размещения производства. Впервые подобные задачи рассматривались в работе Хотеллинга [H. Hotelling, 1929]. В ней исследуются эгоистические стратегии поведения двух игроков, стремящихся захватить как можно большую долю рынка. Они выбирают места размещения предприятий и цены на их продукцию, предполагая, что клиенты располагаются на линии (береговой линии, шоссе и т.п.). Со временем появились более богатые модели, интересные как с точки зрения экономики и теории игр, так и для методов оптимизации и исследования операций. С обзором таких моделей можно познакомиться в [H.A. Eiselt, 1993].

Задачу о центроиде впервые исследовал Хакими [S.L. Hakimi, 1990]. Рассмотрим конечные множества $I = \{1, \dots, m\}$ и $J = \{1, \dots, n\}$ возможных мест размещения предприятий и мест расположения клиентов. Матрица (g_{ij}) , $i \in I, j \in J$, будет задавать расстояния от клиентов до предприятий. Величины w_j определяют доход игрока при обслуживании им j -го клиента. Первый игрок, назовем его Лидер, открывает свои p предприятий первым. У него имеется C_m^p возможностей, среди которых он выбирает какую-нибудь одну (игра в чистых стратегиях). Вслед за Лидером второй игрок, назовем его Конкурент, из оставшихся $(m - p)$ предприятий выбирает r своих. Как только игроки выбрали свои предприятия можно подсчитать цену игры. Каждый клиент из $(p + r)$ открытых предприятий выбирает ближайшее предприятие в качестве своего поставщика. Если ближайших предприятий несколько и среди них есть предприятие Лидера, то клиент отдает предпочтение ему. Таким образом, множество клиентов разбивается на два подмножества: клиенты Лидера и клиенты Конкурента, определяющие их доходы. Задача состоит в выборе для Лидера таких p предприятий, чтобы при наилучшем ходе Конкурента получить максимальный доход.

Особое место занимает случай $r = p$. Он тесно связан с теорией голосования [S.L. Hakimi, 1990, C.M.C. Rodriguez, 2008] и имеет богатую историю. Получить больше половины

рынка означает для игрока (партии) победу на выборах или одобрение своего проекта в парламенте. Оптимальное решение задачи соответствует концепции Симпсона (Simpson solution). Если это решение гарантирует Лидеру больше половины рынка, то говорят о решении Кондорсе (Condorset solution). Установлено, что задача поиска решений Симпсона (Кондорсе) принадлежит классу Σ_2^P -трудных [Н. Noltermeyer , 2007].

На сегодняшний день одни из самых лучших алгоритмов для поиска приближенного и оптимального решений задачи о (r, p) -центроиде можно найти в [Е. Alekseeva, 2009, Alekseeva E.V., 2010].

Если невозможно ранжировать игроков по очередности принятия решений, т.е. решения принимаются одновременно, то среди равновесных задач можно выделить игровые задачи размещения производства [Vetta A., 2002]. Предполагается, что игроки не образуют коалиций, действуют независимо друг от друга, исходя из рациональных соображений. В игровой задаче размещения p фирм одновременно открывают свои предприятия для обслуживания клиентов. Цель каждой фирмы (игрока) состоит в максимизации прибыли. Каждая из фирм может открывать собственные предприятия в любом из возможных пунктов размещения производства. Фирма получает прибыль, если доход за обслуживание клиентов превышает её производственно-транспортные затраты. Решение называют равновесием по Нэшу или равновесным решением, если ни один из игроков не может увеличить свою прибыль при условии, что другие игроки не меняют свой выбор. В таких задачах можно также ввести и понятие оптимального решения. Содержательно это такое решение, при котором достигается наибольший эффект от размещения производства и выпуска продукции. Оптимальное решение оказывается равновесным, но не каждое равновесное решение является оптимальным. Для таких игр вводится понятие цены анархии. Эта величина равна отношению оптимального решения к наихудшему среди равновесий по Нэшу. Чем ближе цена анархии к 1, тем меньше теряет общество, доверяясь ЛПР, которые преследуют эгоистические цели. Если же цена анархии велика, то от общества требуются дополнительные меры и ограничения для ЛПР, чтобы изменить правила, которым они следуют, и приблизить равновесные решения к оптимуму. Другими словами, в такой ситуации формы рационального поведения независимых ЛПР, оказываются разумными с точки зрения достижения общественного блага. Известно, что для данной задачи размещения производства цена анархии не превосходит 2. Однако вопрос о трудоемкости нахождения равновесных решений до сих пор остается открытым. Неясно, можно ли разработать эффективные алгоритмы для построения равновесных решений. Другое направление

исследований связано с игровой задачей размещения производства на графах.

1.5.2. Постановка задачи размещения производства и ценообразования

В рассматриваемой задаче первым принимает решение производитель, который размещает предприятия и устанавливает цены на каждом из них. Считается, что предприятия выпускают однородную продукцию. Затем каждый из потребителей выбирает то предприятие, на котором транспортные затраты и затраты на приобретение продукции в сумме минимальны. Покупка совершается в том случае, когда это позволяет бюджет потребителя. Требуется найти такое размещение предприятий и определить такие цены на каждом из них, при которых доход производителя максимален. Введем обозначения:

$I = \{1, \dots, n\}$ — множество пунктов размещения предприятий;

$J = \{1, \dots, m\}$ — множество потребителей;

f_i — затраты на размещение i -го предприятия;

b_j — бюджет j -го потребителя;

$c_{ij} > 0$ — матрица транспортных затрат.

Переменные задачи:

$p_i \geq 0$ — цена товара на i -м предприятии;

$z_i = \begin{cases} 1, & \text{если в } i\text{-ом пункте размещается предприятие,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если в } i\text{-ом пункте обслуживается } j\text{-ый потребитель,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$

$$\max_{p, x^*(p, x)} \sum_{i \in I} p_i \sum_{j \in J} x_{ij} - \sum_{i \in I} f_i z_i \quad (1.5.2.1)$$

$$p_i \geq 0, \quad i \in I; \quad (1.5.2.2)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad i \in I; \quad (1.5.2.3)$$

где $x^*(p, x)$ — оптимальное решение задачи потребителей

$$\max_x \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (b_j - c_{ij} - p_i) x_{ij} \quad (1.5.2.4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1, \quad j \in J; \quad (1.5.2.5)$$

$$x_{ij} \leq z_i, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.5.2.6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J. \quad (1.5.2.7)$$

Целевая функция (1.5.2.1) задачи выражает величину прибыли, получаемой Лидером после того как он выберет вариант размещения предприятий и установит цены. Условие (1.5.2.2) означает, что цены неотрицательные величины, а условие (1.5.2.3) определяет размещено в данном месте производство или нет. Целевая функция (1.5.2.4) выражает величину сэкономленного потребителями бюджета. Ограничения (1.5.2.5) и (1.5.2.6) гарантируют, что каждый потребитель, если он обслуживается, то он обслуживается ровно одним предприятием и только в том случае, когда оно открыто Лидером. Также из этих ограничений и определения целевой функции следует, что покупка совершается в том случае, когда это позволяет бюджет потребителя.

Представленная задача является задачей двухуровневого математического программирования. Она включает задачу первого уровня (1.5.2.1)–(1.5.2.3), которую будем называть *задачей Лидера*, и задачу второго уровня (1.5.2.4)–(1.5.2.7), которую будем называть *задачей Пользователей*.

Вектор $((p_i), (z_i), (x_{ij}))$ допустимое решение задачи (1.5.2.1)–(1.5.2.7), если пара $((p_i), (z_i))$ удовлетворяет условиям (1.5.2.2), (1.5.2.3), а вектор (x_{ij}) является оптимальным решением *задачи Пользователей* для заданных векторов $((p_i), (z_i))$.

Под оптимальным решением задачи (1.5.2.1)–(1.5.2.7) можно понимать любое её допустимое решение, на котором достигается максимум задачи (1.5.2.1)–(1.5.2.7). В целом это удовлетворительное определение. Однако, возникают проблемы, когда *задача Пользователей* имеет несколько оптимальных решений, которые с их точки зрения равнозначны. В этом случае Лидер, выбрав наилучшим образом размещение пунктов обслуживания и, вроде бы отличные с точки зрения клиентов цены, может не досчитаться прибыли. В литературе существует много способов уточнения определения понятия наилучшего решения, например в [Dempe S. J., 2002]. Для целей настоящего исследования, достаточно предположить, что в случае нескольких оптимальных решений в *задаче Пользователей* каждый клиент выбирает тот пункт обслуживания (из числа доступных), который ближе к нему.

Этого предположения оказывается также достаточным, чтобы записать задачу (1.5.2.1)-(1.5.2.7) в виде следующей задачи квадратичного программирования (**P**):

$$\max_{p, z, x} \sum_{i \in I} p_i \sum_{j \in J} x_{ij} - \sum_{i \in I} f_i z_i \quad (1.5.2.8)$$

$$p_i \geq 0, \quad i \in I; \quad (1.5.2.9)$$

$$\sum_{i \in I} (b_j - c_{ij} - p_i) x_{ij} \geq 0, \quad j \in J; \quad (1.5.2.10)$$

$$\sum_{i \in I} (c_{ij} + p_i) x_{ij} \leq c_{kj} + p_k, \quad k \in I, j \in J; \quad (1.5.2.11)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1, \quad j \in J; \quad (1.5.2.12)$$

$$x_{ij} \leq z_i, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.5.2.13)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J. \quad (1.5.2.14)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad i \in I. \quad (1.5.2.15)$$

Несколько упростим постановку задачи. Будем считать, что заранее известны пункты размещения и необходимо найти только цены. Тогда в задаче **P** необходимо найти

$$\max_{p, x} \sum_{i \in I} p_i \sum_{j \in J} x_{ij} \quad (1.5.2.16)$$

при ограничениях (1.5.2.9)-(1.5.2.12), (1.5.2.14). Известно, что данная задача является NP-трудной в сильном смысле [Гэри М., 1982]. В дальнейшем предполагаем, что все исходные данные (b_j и c_{ij}) являются рациональными числами.

1.5.3 Точные алгоритмы решения задачи ценообразования

Для нахождения оптимального решения задачи **P** можно использовать переборный алгоритм, основанный на том, что при фиксированной матрице x_{ij} задача полиномиально разрешима как задача линейного программирования. На каждом шаге алгоритма выбирается матрица распределений x_{ij} , и решается задача линейного программирования. Таким образом,

для решения задачи требуется порядка $(n + 1)^m$ обращений к одному из алгоритмов решения задач линейного программирования.

Идея следующего переборного алгоритма вытекает из того, что можно ограничить значения непрерывных переменных p_i конечным набором величин. При описании этого алгоритма будем использовать следующие обозначения:

$$I_s = \{ i \in I \mid \exists j \in J: x_{ij} = 1, \quad b_j - c_{ij} - p_i = 0 \};$$

$$J_i = \{ j \in J \mid x_{ij} = 1 \}, i \in I;$$

$$I_j = \{ i \in I \mid c_{ij} + p_i = \min_{k \in I} \{ c_{kj} + p_k \} \};$$

$$g_{ik} = \begin{cases} 0, & \text{если } \exists j: i, k \in J_j, \\ 1 & \text{противном случае.} \end{cases}$$

$$\tilde{I} = \{ i \in I \mid \sum_{j \in J} x_{ij} \geq 1 \}$$

Будем говорить, что $i, k \in \tilde{I}$ принадлежат одному классу зависимости I_d тогда и только тогда, когда найдутся такие $\alpha_1, \dots, \alpha_r, r \leq n - 2$, что:

$$g_{i\alpha_1} = g_{\alpha_1\alpha_2} = \dots = g_{\alpha_r k} = 0.$$

Теорема 1. (Необходимые условия оптимальности) Если (p, x) – произвольное оптимальное решение задачи P, то:

- 1) для любого $i \in \tilde{I}$ либо $i \in I_s$, либо найдётся номер $j \in J_i$ такой, что $|I_j| > 1$.
- 2) для любого $I_d: I_d \cap I_s \neq \emptyset$.

Доказательство. 1) Допустим противное. Пусть существует $i \in \tilde{I}$ такое, что $i \notin I_s$ и для любого $j \in J_i$ имеем, что $|I_j| = 1$. Тогда для любого $j \in J_i$ выполняется неравенство $b_j - c_{ij} > p_i$ и любой столбец с номером $j \in J_i$ содержит ровно один минимум, т.е. для любого $k \neq i$ имеем $c_{ij} + p_i < c_{kj} + p_k$. Отсюда следует, что можно увеличить переменную p_i так, что не нарушатся ограничения (1.5.2.10) и (1.5.2.11) и значение целевой функции увеличится. Действительно положим

$$\varepsilon_1 = \min_{j \in J_i} \{ b_j - c_{ij} - p_i \}, \varepsilon_2 = \min_{j \in J_i} \min_{k \neq i} \{ c_{kj} + p_k - c_{ij} - p_i \}, \varepsilon = \min \{ \varepsilon_1, \varepsilon_2 \}.$$

Увеличим i -ую компоненту вектора p на ε . И получим новый вектор цен \tilde{p} . Из определения ε следует, что ограничения (1.5.2.10) и (1.5.2.11) не нарушаются, а значение целевой функции на новом допустимом решении (\tilde{p}, x) увеличится на $\varepsilon |J_i|$. А это

противоречит оптимальности вектора (p, x) . Таким образом для любого $i \in \tilde{I}$ либо $i \in I_s$, либо найдётся номер $j \in J_i$ такой, что $|I_j| > 1$.

2) Из определения множеств I_d следует, что каждое из них состоит из объединения множеств I_j и, если I_d и $I_{d'}$ два разных подмножества, то они не пересекаются. Отсюда следует, что если существует множество I_d , для которого $I_d \cap I_s = \emptyset$, то как и в первой части утверждения, можно подправить цены так, что увеличится значение целевой функции. Действительно, рассмотрим величины

$$\varepsilon_1 = \min_{I_j \subseteq I_d} \min_{k \in I \setminus I_j} \{c_{kj} + p_k - d_j\}, \text{ где } d_j = \min_{i \in I_j} \{c_{ij} + p_i\},$$

(если множество $I \setminus I_j$ пусто, то считаем, что внутренний минимум равен достаточно большому положительному числу) и

$$\varepsilon_2 = \min_{i \in I_d} \min_{j \in J_i} \{b_j - c_{ij} - p_i\}.$$

В силу предположения $I_d \cap I_s = \emptyset$ и определения величин ε_1 и ε_2 получим, что их минимум будет положительным, т.е. $\varepsilon = \min \{\varepsilon_1, \varepsilon_2\} > 0$. Увеличим компоненты вектора p с номерами из множества I_d на величину ε . Получим новый вектор цен \tilde{p} . Из определения ε следует, что ограничения (1.5.2.10) и (1.5.2.11) не нарушаются, а значение целевой функции на новом допустимом решении (\tilde{p}, x) увеличится. А это противоречит оптимальности вектора (p, x) . Таким образом предположение неверно и выполняется требуемое свойство $I_d \cap I_s \neq \emptyset$. Теорема доказана.

Пусть (p, x) – произвольное оптимальное решение задачи Р. Выберем подмножество \tilde{I} и определим граф $G = (I, E)$, в котором пара (i, k) принадлежит множеству ребер E тогда и только тогда, когда $g_{ik} = 0$. Т.е. вершины связных компонент графа G есть в точности множества I_d . С каждым ребром каждой связной компоненты свяжем соответствующий элемент множества J из определения матрицы g_{ik} . Также в каждой связной компоненте выберем элемент i_d из множества I_s с соответствующим ему элементом j_d множества J согласно теореме 1. Для выбранной вершины выполняется равенство $p_{i_d} = b_{j_d} - c_{i_d j_d}$. Отсюда и определения матрицы g_{ik} следует, что в каждой связной компоненте I_d цены на предприятиях однозначно восстанавливаются с помощью величины p_{i_d} . Таким образом, основываясь на теореме 1 можно найти оптимальное решение задачи Р перебирая все возможные графы вида G , с соответствующим образом определёнными атрибутами – разбиением на компоненты связности и т.д. При этом необходимо дополнительно проверить выполнение ограничений (1.5.2.9)-(1.5.2.12), (1.5.2.14).

Основываясь на этих соображениях, определим множество $Price$, состоящее из чисел вида

$$b_{jk} - \sum_{s=2}^k (c_{i_s j_s} - c_{i_{s-1} j_{s-1}}) - c_{i_1 j_1} \geq 0.$$

Любой элемент множества $Price$ можно получить, проделав следующие действия. Выбрать некоторое подмножество вершин из множества I , определить на нем порядок. Затем каждому ребру, в соответствии с определением матрицы g_{ik} сопоставить элемент множества J . Таким образом, получим путь в связной компоненте некоторого графа G . Будем считать, что цена на последнем предприятии удовлетворяет соотношению $p_{i_d} = b_{j_d} - c_{i_d j_d}$. Количество элементов множества $Price$ ограничено сверху величиной $2^n n! m^n$.

Элементами множества $Price(i) \subseteq Price$ будем считать все элементы множества $Price$, для которых $i_1 = i$. Согласно теореме 1 для любого оптимального решения задачи P компоненты вектора цен содержатся в множествах $Price(i)$, то есть задача P эквивалентна задаче со следующим дополнительным ограничением:

$$p_i \in Price(i), i \in I.$$

Таким образом, получаем второй переборный алгоритм нахождения оптимального решения задачи P .

Лемма 1. Задача P эффективно разрешима при выполнении одного из двух условий:

- 1) $|J| = m = \text{const}$;
- 2) $|I| = n = \text{const}$.

Доказательство. Оба утверждения следуют из временной оценки двух точных алгоритмов, описанных выше.

Опираясь на теорему 1, докажем следующую теорему

Теорема 2. При условии $P \neq NP$ для задачи (1.5.2.1)–(1.5.2.7) не существует эффективного приближенного алгоритма с гарантированной абсолютной точностью.

Доказательство. Из теоремы 1 следует, что при умножении исходных данных задачи на произвольную константу происходит увеличение цен на эту же константу. Далее рассуждаем как в теореме 6.6 [Гэри М., 1982]. Теорема доказана.

1.5.4. Приближённые алгоритмы решения задачи ценообразования

Ввиду сложности задачи для нахождения приближенных решений разработаны два алгоритма. Один из них с гарантированной оценкой точности и полиномиально

ограниченным временем работы. Другой алгоритм относится к классу алгоритмов генетического локального поиска.

1.5.4.1 Приближённый алгоритм с оценкой $\log n$

Пусть $a_{ij} = b_j - c_{ij}$. Рассмотрим следующую задачу (EP), оптимальное значение которой будет верхней границей к задаче P

$$q = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij} x_{ij} \rightarrow \max_x$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1; j \in J;$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; i \in I; j \in J.$$

Без ограничения общности считаем, что $\forall j \in J \exists i \in I: a_{ij} > 0$. Определим строго упорядоченную по возрастанию последовательность a_1, \dots, a_w как последовательность всех $\max_{i \in I} a_{ij}$. Положим $s_k = |\{j \in J: a_k = \max_{i \in I} a_{ij}\}|$. Тогда оптимальное значение g^* задачи EP есть в точности $\sum_{1 \leq k \leq w} a_k s_k$.

Теорема 3. Задача P принадлежит классу log–Арх.

Доказательство. Ограничимся рассмотрением допустимых решений (p, x) задачи P, в которых $p_\alpha = p_\beta, \forall \alpha, \beta \in I$.

Введем обозначения:

$$a_{ij}^k = \begin{cases} a_{ij}, & \text{если } a_{ij} \geq a_{w-k} \\ 0, & \text{в противном сл.} \end{cases}$$

$$g_k = \sum_{0 \leq t \leq k} a_{w-t} s_{w-t}.$$

Через f_k обозначим оптимальное значение целевой функции задачи P с матрицей a_{ij}^k и одинаковыми ценами на всех предприятиях.

По индукции покажем, что $\frac{g_k}{f_k} \leq 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq k} s_{w-t}}$, откуда при $k = w$ получим утверждение теоремы.

Для $k = 0$ утверждение очевидно, т.к. $f_0 = a_w g_w = g_0$.

Пусть для $k = z$ выполнено требуемое неравенство

$$\frac{g_z}{f_z} \leq 1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z} s_{w-t}}.$$

и допустим, что для $k = z + 1$ это неравенство не выполнено, то есть

$$\frac{g_{z+1}}{f_{z+1}} > 1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z+1} s_{w-t}}.$$

Рассмотрим два случая:

Пусть $f_z > a_{w-z-1}(s_w + \dots + s_{w-z-1})$, откуда следует, что

$$a_{w-z+e}(s_w + \dots + s_{w-z+e}) > a_{w-z-1}(s_w + \dots + s_{w-z-1}),$$

для некоторого $e \geq 0$, то есть $f_{z+1} = f_z$. Тогда

$$\begin{aligned} 1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z+1} s_{w-t}} &< \frac{g_{z+1}}{f_{z+1}} = \\ &= \frac{g_z + a_{w-z-1}s_{w-z-1}}{f_z} = \frac{g_z}{f_z} + \frac{a_{w-z-1}s_{w-z-1}}{a_{w-z+e}(s_w + \dots + s_{w-z+e})} \leq \\ &\leq 1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z} s_{w-t}} + \frac{a_{w-z-1}s_{w-z-1}}{a_{w-z+e}(s_w + \dots + s_{w-z+e})} < 1 + \dots \\ &+ \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z} s_{w-t}} + \frac{a_{w-z-1}s_{w-z-1}}{a_{w-z-1} \frac{s_w + \dots + s_{w-z-1}}{s_w + \dots + s_{w-z+e}} (s_w + \dots + s_{w-z+e})} = \\ &= 1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z} s_{w-t}} + \frac{s_{w-z-1}}{s_w + \dots + s_{w-z-1}}. \end{aligned}$$

Таким образом, получили неравенство

$$1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z+1} s_{w-t}} < 1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z} s_{w-t}} + \frac{s_{w-z-1}}{s_w + \dots + s_{w-z-1}}.$$

Откуда следует, что выполняется неравенство

$$\frac{1}{s_w + \dots + s_{w-z} + 1} + \dots + \frac{1}{s_w + \dots + s_{w-z-1}} < \frac{s_{w-z-1}}{s_w + \dots + s_{w-z-1}}.$$

Противоречие.

Рассмотрим случай $f_z \leq a_{w-z-1}(s_w + \dots + s_{w-z-1})$. Тогда для любого e такого, что $0 \leq e \leq z$ выполняется неравенство

$$a_{w-z+e}(s_w + \dots + s_{w-z+e}) \leq a_{w-z-1}(s_w + \dots + s_{w-z-1}).$$

То есть $f_{z+1} = a_{w-z-1}(s_w + \dots + s_{w-z-1})$. Тогда

$$1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z+1} s_{w-t}} < \frac{g_{z+1}}{f_{z+1}} = \frac{g_z + a_{w-z-1}s_{w-z-1}}{a_{w-z-1}(s_w + \dots + s_{w-z-1})} \leq \\ \leq \frac{g_z}{f_z} + \frac{a_{w-z-1}s_{w-z-1}}{a_{w-z-1}(s_w + \dots + s_{w-z-1})} \leq 1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z} s_{w-t}} + \frac{s_{w-z-1}}{(s_w + \dots + s_{w-z-1})}.$$

Получаем

$$1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z+1} s_{w-t}} < 1 + \dots + \frac{1}{\sum_{0 \leq t \leq z} s_{w-t}} + \frac{s_{w-z-1}}{s_w + \dots + s_{w-z-1}},$$

то есть

$$\frac{1}{s_w + \dots + s_{w-z} + 1} + \dots + \frac{1}{s_w + \dots + s_{w-z-1}} < \frac{s_{w-z-1}}{s_w + \dots + s_{w-z-1}}.$$

Противоречие. Таким образом, предположение неверно. Теорема доказана.

1.5.4.2 Генетический алгоритм

Генетические алгоритмы доказали свою конкурентоспособность при решении многих NP-трудных задач и особенно в практических приложениях, где математические модели имеют сложную структуру, а применение стандартных методов типа ветвей и границ, динамического или линейного программирования крайне затруднено или невозможно. Алгоритм решения задач оптимизации, основанный на идеях наследственности в биологических популяциях, впервые был предложен Дж. Холландом в 1975г. Дальнейшее развитие эти идеи, как и название - генетические алгоритмы, получили в работах Гольдберга и Де Йонга. К решению оптимизационных задач впервые были применены в середине 70-х годов прошлого столетия. Цель генетического алгоритма при решении задачи оптимизации состоит в том, чтобы найти приближённое решение, близкое, но не гарантированно оптимальное решение. Стандартный генетический алгоритм начинает свою работу с формирования начальной *популяции*— конечного набора допустимых решений задачи. Эти решения могут быть выбраны случайным образом, получены с помощью вероятностных жадных алгоритмов или другими методами. Выбор начальной популяции не имеет значения для сходимости процесса в асимптотике, однако формирование "хорошей" начальной популяции (например из множества локальных оптимумов) может заметно сократить время достижения глобального оптимума.

На каждом шаге генетического алгоритма с помощью вероятностного оператора *селекции* выбираются из популяции два решения x^1, x^2 в качестве *родителей*. Оператор *скрещивания* по этим решениям строит новое решение x' . Оно подвергается

небольшим случайным модификациям, которые принято называть *мутациями*. Затем решение добавляется в популяцию, а наихудшее решение удаляется из нее. Так выглядит общая схема генетического алгоритма, при этом каждый его шаг может быть адаптирован к рассматриваемой задаче. Далее приводится один из возможных вариантов реализации этой схемы применительно к рассматриваемой задаче.

1. Выбрать начальную популяцию $P_0 = \{p^1, p^2, \dots, p^r\}$, где p^i – это допустимое решение и положить

$$f^* = \min\{f(p) | p \in P_0\}, t = 0.$$

2. Пока не выполнен критерий остановки, делать следующее:

2.1 выбрать решения p_i, p_j из популяции P_t ;

2.2 построить решение \hat{p} по решениям p_i, p_j

2.3 применить алгоритм локального спуска;

2.4 если $f^* > f(\hat{p})$, то $f^* := f(\hat{p})$;

2.5 обновить популяцию и положить $t := t + 1$.

В качестве начальной популяции используется некоторое множество допустимых решений, которые могут быть получены как случайным образом, так и в результате работы некоторого приближенного алгоритма. Выбор решений p_i, p_j на шаге 2.1 осуществляется случайным образом *оператором селекции* [Dreo J., 2006]. Далее на шаге 2.2 к выбранной паре p_i, p_j применяется *оператор скрещивания (кроссовера)*, который заменяет часть компонент одного решения-родителя на часть компонент другого решения-родителя, и таким образом получается новое допустимое решение \hat{p} , которое наследует некоторые свойства своих родителей. В качестве оператора скрещивания использовался "равномерный кроссовер" (*Uniform*) [Dreo J., 2006], при котором каждая компонента потомка выбирается из соответствующих компонент векторов родителей с вероятностью 1/2. Также рассмотрен вариант оператора скрещивания, где каждая компонента потомка есть в точности среднее арифметическое соответствующих компонент родителей (*Middle*). На шаге 2.3 к решению применяется *алгоритм локального спуска*, в котором в качестве начальной точки берется решение \hat{p} . В качестве критерия остановки генетический алгоритм использует ограничение по числу итераций.

Алгоритм локального спуска. Введем функцию $f^*(p) = f(p, x^*)$, где $x^* \in F^*(p)$ — множество оптимальных решений задачи P при фиксированном p . В алгоритме локального

спуска используются две окрестности $Flip_1(p)$ и $Flip_2(p)$. Каждая из них имеет ровно n соседей. Обозначим i -го соседа набора цен p через p^i . Зафиксируем $p_k^i = p_k, k \neq i$. Тогда функция $f^*(p_1^i, \dots, p_i^i, \dots, p_n^i)$ – разрывная кусочно-линейная монотонно неубывающая функция от переменной p_i^i , непрерывная слева. Вычислим i -ю компоненту соседа p^i окрестности $Flip_1(p)$ с помощью следующего алгоритма. Просматриваем точки разрыва, начиная с начального значения $p_i^i = p_i$ до тех пор, пока растет целевая функция. Просмотр осуществляется в двух направлениях, сначала в направлении увеличения переменной p_i^i , а затем в направлении убывания. После чего выбирается максимум из двух полученных значений. Из вида ограничений следует, что скачки в значениях функции $f^*(p_1^i, \dots, p_i^i, \dots, p_n^i)$ будут происходить в те моменты (точки разрыва), когда либо некоторому клиенту станет выгоднее перейти в другое предприятие, что приведёт к уменьшению целевой функции в соответствии с ограничением, либо некоторый клиент выйдет за рамки своего бюджета, что также приведёт к уменьшению целевой функции. Окрестность $Flip_2(p)$ определяется по тому же принципу, только теперь мы движемся не по всем точкам разрыва, пока это возможно, а доходим до первой и останавливаемся. То есть, выполняем однократное изменение матрицы x_{ij} . Обозначим через $N(p)$ одну из окрестностей $Flip_1(p)$ или $Flip_2(p)$, получим следующий алгоритм локального спуска:

1. Выбрать начальное допустимое решение p^0 и положить:

$$f^{max} = f^*(p^0); t = 0;$$

2. Выбрать в окрестности наилучшего соседа \tilde{p} :

$$f^*(\tilde{p}) = \max \{f^*(p) \mid p \in N(p^t)\}.$$

3. Если $f^*(\tilde{p}) > f^{max}$, то $p^{t+1} = \tilde{p}$; $f^{max} = f^*(\tilde{p})$; $t = t + 1$, вернуться на шаг 2, иначе достигнут локальный максимум.

Мы изложили постановку двухуровневой задачи размещения производства и ценообразования, в которой Лидер выбирает пункты производства и для каждого из них назначает цену. Любой из клиентов за обслуживание в данном пункте выплачивает установленную плату. Лидер стремится максимизировать свою прибыль, которая складывается из дохода за обслуживание клиентов и затрат, необходимых для открытия выбранных пунктов производства. Для каждого клиента известны транспортные затраты необходимые для его обслуживания из любого пункта производства и его бюджет. Поведение клиентов описывается оптимизационной задачей нижнего уровня. Каждый клиент стремится минимизировать свои затраты, которые складываются из транспортных

затрат и стоимости обслуживания. Приводятся результаты, полученные к настоящему моменту, для одного из частных случаев задачи.

В ходе последующего выполнения проекта предполагается исследовать полиномиальные жадные эвристики и итерационные методы, основанные на идее локального поиска. Наряду с хорошо известными схемами: поиск с запретами, имитация отжига, генетические алгоритмы и др., будут исследоваться и новые идеи в области гибридизации, разработки новых схем и апробации нестандартных подходов. Для решения двухуровневых задач размещения производства и ценообразования предполагается исследовать новую схему, позволяющую получать точные решения. Она использует идеи метаэвристик, которые стремятся исследовать в первую очередь наиболее перспективные части допустимой области. В отличие от метода ветвей и границ, новая схема подразумевает локальный поиск и исследование областей, близких к локальным оптимумам. Кроме того, новая схема легко адаптируется не только к задачам размещения, но и ко многим другим задачам комбинаторной оптимизации, позволяет использовать чередующиеся окрестности (VNS method), списки запретов (Tabu Search) и другие схемы метаэвристик.

2 Показатели

2.1. Список студентов, аспирантов, докторантов и молодых исследователей, закрепленных в сфере науки и образования.

Зачислены в аспирантуру:

- Курочкин Александр Александрович (в ИМ СО РАН, 01.10.2010)

Поступили в магистратуру 12 студентов ММФ и ФИТ НГУ.

2.2. Количество подготовленных и опубликованных статей:

Опубликовано 6, принято к печати 1, сдано в печать 1 статья (см. Приложение А).

2.3. Количество сделанных докладов:

Сделано 18 докладов на отечественных и 9 докладов на международных научных форумах. (см. Приложение Б).

3 Заключение

В процессе выполнения 1 этапа НИР проведены следующие работы.

1. Уточнена концепция экономического анализа структурных параметров инновационных процессов на микро- и мезоуровне.
2. Обобщен зарубежный и отечественный опыт анализа инновационных процессов на макроуровне.
3. Сформулирована концепция индикативного планирования как основы инновационных технологий регионального управления и разработана методика построения сопоставимых массивов региональных индикаторов.
4. Разработаны математические модели конкурентной борьбы на рынке новых видов продукции с различными критериями оптимальности поведения участников рынка.
5. Приведен обзор моделей размещения и ценообразования, сформулированы базовые постановки двухуровневых задач, рассмотрены точные и приближённые алгоритмы решения для задачи ценообразования.

В результате исследований проведен обзор литературы и поставлены основные задачи НИР. По ряду направлений получены новые фундаментальные результаты мирового уровня, которые доложены на различных научных форумах и опубликованы в монографиях и статьях.

Приведены списки опубликованных работ, выступлений на научных форумах, а также другие показатели успешной работы в рамках данного проекта.

Полученные результаты имеют мировой уровень, а исполнители представляют передовой фронт науки в указанных областях.

По результатам 1 этапа НИР напрашивается вывод о целесообразности продолжения работ.

4. Список использованных источников

1. Л.М.Гохберг, И.А.Кузнецова. Стагнация в преддверии кризиса? //Форсайт, №2. 2009
2. К.Гончар. Инноваторы и имитаторы// Российская бизнес-газета, № 726, 3.11.2009.
3. Индикаторы инновационной деятельности. Форсайт, №2. 2009.
4. Кравченко Н.А., Коломак Е.А., Кузнецова С.А., Юсупова А.Т. Коммерциализация российских инновационных разработок: проблемы и перспективы / Сиб. центр прикладных экономических исследований. - Новосибирск : Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2008. - 79 с.
5. Национальный доклад «Инновационное развитие – основа модернизации экономики России».- М.: ИМЭМО РАН, ГУ-ВШЭ, 2008.
6. Проблемы перехода промышленности на путь инновационного развития: микроэкономический анализ особенностей поведения фирм, динамики и структуры спроса на технологические инновации. Серия «Научные доклады: независимый экономический анализ», № 201. Москва, МОНФ, 2008, 264 с. Авторский коллектив: Л.С. Засимова, Б.В. Кузнецов, М.Г. Кузык, Ю.В. Симачев, А.А. Чулок.
7. Российская промышленность на этапе роста: факторы конкурентоспособности фирм/под ред. Гончар К.Р. и Кузнецова Б.В.. ГУ-ВШЭ. – М.: Вершина, 2008. – 480 с.
8. Структурные изменения в российской промышленности (ред. Ясин. Е.Г.). М.: Издательский дом ГУ-ВШЭ, 2004.
9. Crespi F. Notes on the Determinants of Innovation: A Multi-Respective Analysis. 2004// Social Science Research Network Electronic Paper Collection: <http://ssrn.com>
10. Malerba F. Sectoral systems: How and why innovation differ across sectors. // 5-th International Conference "GLOBELICS-RUSSIA-2007: Regional and National Innovation Systems for Development, Competitiveness and Welfare: the Government-Academia-Industry Partnership (theory, problems, practice and prospects)".
11. Isom C.J., Jarczyk D. R., Ceteris, Inc. 2009. Innovations in Small Business: Drivers of Change and Value - www.sba.gov/advo
12. Dosi G. and Malerba F. Organization and strategy in the Evolution of the Enterprise, MacMillan, London, 1996.
13. Hii J., Neely A. Innovative Capacity of Firms: on why some firms are more innovative than others.// 7th International Annual EurOMA Conference 2000.

14. Klepper S. (), Entry, exit, growth and innovation over the product life cycle, *American Economic Review*, 86, 1996.
15. Lundvall B.A. *National Systems of Innovation*, F. Pinter, London, 1993.
16. Malerba F. *Sectoral Systems of Innovation and Production*, *Research Policy*, 31, 2002.
17. Malerba F. and Orsenigo L. Technological regimes and sectoral patterns of innovative activities, *Industrial and Corporate Change*, 6, 1997.
18. Malerba F. and Orsenigo L. Knowledge, innovative activities and industry evolution *Industrial and Corporate Change*, 9, 2000.
19. Nelson R. and Winter S. *An evolutionary theory of economic change*, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, 1982.
20. Scherer M. Interindustry Technological Flows in the U.S., *Research Policy*, 11, 1982.
21. Emerging challenges for science, technology and innovation policy research: A reflexive overview // *Research Policy* 38 (2009) 571–582.
22. Feldman M. *Research Study, Small Firm Innovative Success: External Resources and Barriers*. 1996.
23. Дежина И., Киселева В. «Тройная спираль» в инновационной системе России. 2008. www.institutiones.com/innovations
24. European Innovation Scoreboard 2008: comparative analysis of innovation performance.
25. *Innovation Measurement: Tracking the State of Innovation in the American Economy*. Department of Commerce USA. www.innovationmetrics.gov
26. Godinho M., Mendonca S., Pereira T. A Taxonomy of National Innovation System: Lessons from an exercise comprising a large sample of both developed, emerging and developing countries.
27. Rose S., Shipp S., Lal B., Stone A. *Framework for Measuring Innovation: Initial Approaches*. Athena Alliance. Working paper №6, 2009.
28. Block F., Keller M. *Where Do Innovations Come From? Transformations in the U.S. National Innovation System, 1970-2006*. The Information Technology & Innovation Foundation. 2008.
29. *Global Technology Revolution 2020: Technology Trends and Cross-Country Variation*.
30. *Innovation Vital Signs. Final Report*. ASTRA. 2007.
31. Aghion P., Howitt P. *Endogenous Growth Theory*. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, London, England, 1999.
32. Aghion P. Schumpeterian Growth Theory and the Dynamics of Income Inequality // *Econometrica*. 2002. Vol.70, № 3. – P. 855 – 882.

33. *Arrow K.J.* The Economic Implications of Learning-by-Doing // Review of Economic Studies. 1962. № 29(1). – P. 155 – 173.
34. *Barro R., Sala-i-Martin X.* Economic Growth. Second Edition. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, London, England, 2004.
35. *Domar E.* Capital Expansion, Rate of Growth and Employment // Econometrica. 1946. № 14 (2). – P. 137 – 147.
36. *Harrod R.* An Essay in Dynamic Theory // Economic Journal. 1939. № 49 (193). – P. 14 – 33.
37. *Jones C.* Introduction to Economic Growth. New York, London: W.W. Norton & Company, 1998.
38. *Jones C.* R&D-Based Models of Economic Growth // Journal of Political Economy. 1995. № 103. – P. 759 – 784.
39. *Kaldor N.* A Model of Economic Growth // Economic Journal. 1957. № 57. – P. 591 – 624.
40. *Meade D. S.* The LIFT Model. Режим доступа: <http://www.inform.umd.edu>
41. *Nordhaus W.D.* Invention, Growth and welfare. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969.
42. *Romer P.* Endogenous Technological Change // Journal of Political Economy. 1990. Vol. 98 (October). – P. S71 – S102.
43. *Romer P.* Two Strategies for Economic Development: Using Ideas and Producing Ideas // Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics. Washington D.C.: World Bank. 1992.
44. *Shell K.* Inventive Activity, Industrial Organization, and Economic Activity. In Mirrlees J. and Stern N., eds., Models of Economic Growth. London: Macmillan. 1973.
45. *Solow R.* A Contribution to the Theory of Economic Growth // Quarterly Journal of Economics. 1956. V. 70 (February). – P. 65 – 94.
46. *Swan T.W.* Economic Growth and Capital Accumulation // Economic Record. 1956. № 32. – P. 334 – 361.
47. *Uzava H.* Optimum Technical Change in an Aggregative Model of Economic Growth // International Economic review. 1965. № 41. – P. 18 – 31.
48. *Young A.* The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience // Quarterly Journal of Economics. 1995. № 110. – P. 641 – 680.
49. *Корицкий А.В.* Влияние человеческого капитала и других факторов производства на доходы населения в регионах России // Креативная экономика. 2007. № 7 – С. 90 – 98.

50. Корицкий А.В. Макроэкономическая оценка влияния образования на объемы производства в регионах России // Креативная экономика. 2009. № 6. – С. 69 – 77.
51. Корицкий А.В. Оценка влияния человеческого капитала на величину доходов населения регионов России // Регион: экономика и социология. 2007. № 4. – С.109 – 125.
52. Семенов А.С. Инновации в экономике с ресурсодобывающим сектором. М. : Российская Экономическая Школа, 2004. – 34 с.
Режим доступа (14.04.10): <http://www.nes.ru/russian/research/pdf/2004/Semenov.pdf>
53. Тарасов А.И. Эндогенный рост, образование и защита прав на интеллектуальную собственность. М. : Российская Экономическая Школа, 2003. – 20 с.
Режим доступа (14.04.10): <http://www.nes.ru/russian/research/pdf/2003/Tarasov.pdf>
54. Лавлинский С.М. Модели индикативного планирования социально-экономического развития ресурсного региона. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2008.- 246 стр.
55. Береснев В. Л., Суслов В. И. Математическая модель конкурентной борьбы на рынке // Сибирский журнал индустриальной математики. — 2009. — т. 12, № 1 (37). — с. 11–24.
56. Dempe S. Foundations of bilevel programming. — Dordrecht: Kluwer Ac. Pub., 2002. — 332 p.
57. Stackelberg H. von. The theory of the market economy. — Oxford: Oxford Univ. Press, 1952. — 289 p.
58. Hanjoul P, Hansen P, Peeters D and Thisse J-F (1990). Uncapacitated plant location under alternative spatial price policies. *Market Sci* **36**: 41–57.
59. Береснев В.Л., Гимади Э.Х., Дементьев В.Т. Экстремальные задачи стандартизации. Новосибирск: Наука, 1978.
60. В.И. Зоркальцев, О.В. Хамисов Равновесные модели в экономике и энергетике. «Наука»: Новосибирск, 2006.
61. Мулен Э. Теория игр с примерами из математической экономики. М.: Мир., 1985.
62. Dempe S. J. Foundations of bilevel programming. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2002.
63. Dreoj J., Petrowski A., Siarry P., Taillard E., Metaheuristics for Hard Optimization, Springer, 2006.
64. H. Hotelling. Stability in competition. // Economic J. 1929. V.39. P.41–57.
65. H.A. Eiselt, G. Laporte, J.F. Thisse. Competitive location models: a framework and bibliography. // Transportation Science. 1993. V.27. P. 44--54.

66. S.L. Hakimi. Locations with spatial interactions: competitive locations and games. // P.B.Mirchandani, R.L.Francis (Eds.) Discrete Location Theory. Wiley \& Sons, 1990. P. 439–478.
67. C.M.C. Rodriguez, J.A.M. Perez. Multiple voting location problems. // European J. Oper. Res. 2008. V.191, N2. P. 437–453.
68. H. Noltermeier, J. Spoerhose, H.C. Wirth. Multiple voting location and single voting location on trees. // European J. Oper. Res. 2007. V. 181. P. 654–667.
69. E. Alekseeva, N. Kochetova, Y. Kochetov, A. Plyasunov. A hybrid memetic algorithm for the competitive p -median problem. // Proceedings of INCOM 2009, Moscow, June 3–5, 2009.
70. Alekseeva E.V., Kochetova N. A., Kochetov Yu. A., Plyasunov A.V A heuristic and exact methods for the discrete $(r|p)$ -centroid problem // Lecture Notes Computer Science, Berlin: Springer, 2010.- V. 6022, - P. 11--22.
71. Vetta A. Nash equilibria in competitive societies, with applications to facility location, traffic routing and auctions // Proceedings of 43rd Annual IEEE symposium on foundations of computer science, Vancouver, Canada. 2002. 416—425.
72. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи.// Мир: Москва. 1982. – 416 с.

Приложение А. Список публикаций исполнителей

Монографии и учебные пособия:

1. «Оптимизация территориальных систем» // Отв.ред. **С.А.Суспицын**. - Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2010. - 632с.
2. **Суспицын С.А.** Методы диагностики и измерения пространственной структуры экономики. Учебное пособие. - Изд-во НГУ, 2010. – 108 с.

Опубликованные статьи:

3. **Alekseeva E.V.**, Kochetova N. A., Kochetov Yu. A., **Plyasunov A.V.**
A heuristic and exact methods for the discrete $(r|p)$ -centroid problem // Lecture Notes Computer Science, Berlin: Springer, 2010.- V. 6022, - P. 11--22.
4. **Баранов А.О., Неустроев Д.О.** Влияние инноваций на долгосрочный экономический рост: эволюция подходов к анализу и моделированию во второй половине XX - начале XXI вв. // ЭКО. - 2010. - № 9. - С. 129-146.
5. Васильев В.А., **Суслов В.И.** Равновесие Эджворта в одной модели межрегиональных экономических отношений // Сибирский журнал индустриальной математики. - 2010. - Т. XIII, № 1. - С. 18-33.
6. **Лавлинский С.М.** Государственно-частное партнерство на сырьевой территории - экологические проблемы, модели и перспективы // Проблемы прогнозирования. - 2010. - № 1. - С. 99-111.
7. **Баранов А.О.** Отображение технологического прогресса в макромоделях при моделировании долгосрочного аспекта экономического роста // Отраслевой и макроэкономический аспекты развития российской экономики : сб. науч. тр. / отв. ред. В.Н. Павлов, Л.К. Казанцева. - Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2010. - С. 90-111.
8. **Суслов В.И.** Равновесие в пространственных экономических системах // Сложные системы в экстремальных условиях : тез. док. XV Всерос. симпозиума с междунар. участием, 16-21 авг. 2010 г. / редкол.: Р.Г. Хлебопрос, И.И. Моргулис, О.В. Круглик. - Красноярск : Красноярский науч. центр, СО РАН, Сиб. фед. ун-т, 2010. - С. 68-69.

Статьи, принятые к печати:

1. **Береснев В.Л., Мельников А.А.** Приближенные алгоритмы для задачи конкурентного размещения предприятий // Дискретный анализ и исследование операций. -2010. - Т. 17, № 6.

Статьи, сданные в печать:

1. **Береснев В.Л., Гончаров Е.Н., Мельников А.А.** Локальный поиск по обобщенной окрестности // Дискретный анализ и исследование операций.

Приложение Б. Список сделанных исполнителями докладов

На всероссийских конференциях и семинарах:

1. Суслов В.И.. Равновесие в пространственных экономических системах // Всероссийский Симпозиум с международным участием «Сложные системы в экстремальных условиях», 16-21 августа 2010, Красноярск (пленарный).
2. Суслов В.И. Инновации и Форсайт // Симпозиум «Инновации как фактор стратегии модернизации», 23-24 сентября 2010, Новосибирск (пленарный).
3. Суспицын С.А.. Проблемы и перспективы пространственного развития России и Сибири // Межрегиональная научно-практическая конференция «Управление регионом: тенденции, закономерности, проблемы», 28-30 июня 2010г., Горно-Алтайск (пленарный).
4. С.А.Суспицын. Методология и примеры оценки развития южных регионов России в сценарии модернизации национальной экономики // Всероссийская научная конференция «Фундаментальные проблемы пространственного развития Юга России: междисциплинарный синтез», 28-29 сентября 2010г., Ростов-на-Дону (секционный).
5. Юсупова А.Т. Ассоциации фирм на российских рынках: возможности и ограничения для развития бизнеса // Межрегиональный научно-практический семинар «Инновации и конкурентоспособность предприятий», г. Барнаул, 15 октября 2010 (пленарный).
6. Кузнецова С.А. Инновационные стратегии предприятий: подходы к формированию // Межрегиональный научно-практический семинар «Инновации и конкурентоспособность предприятий», г. Барнаул, 15 октября 2010 (пленарный).
7. Береснев В.Л., Гончаров Е.Н.. Алгоритм локального спуска по расширенной окрестности для задачи размещения предприятий // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).
8. Береснев В.Л., Мельников А.А. Алгоритмы локального поиска по обобщенной окрестности для задачи конкурентного размещения предприятий // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).
9. Алексеева Е.В., Кочетова Н.А. Модифицированный точный метод для задачи о (r|p)-центроиде, секционный доклад // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).

10. Кочетов Ю.А. Новая модель размещения производства с предпочтениями клиентов // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).
11. Панин А.А. Верхние оценки для одной задачи ценообразования // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).
12. Плясунов А.В. Точный алгоритм решения одной задачи ценообразования // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).
13. Давыдов И.А. Верхние и нижние оценки в локальном поиске для задачи о (r|p)-центроиде // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).
14. Сивых М.Г. Гибридный алгоритм имитации отжига для задачи об оптимальном расписании кинопроизводстве // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).
15. Хмелёв А.В. Алгоритм поиска с запретами для составления расписаний в кинопроизводстве // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).
16. Яковлев А.В. Генетический алгоритм для задачи о перестановке столбцов 0-1 матрицы // Российская конференция «Дискретная оптимизация и исследование операций», Алтай, 27 июня – 3 июля 2010 (секционный).
17. Бехтерева С.Ю. Анализ приоритетов развития регионов юга Западной Сибири на основе использования метода анализа иерархий // Межрегиональная конференция молодых экономистов и социологов, Новосибирск. ИЭОПП СО РАН, 9-10 ноября 2010г. (секционный).
18. Семькина И.О. Потенциал экономически целесообразного импортозамещения (на примере Сибирского федерального округа // Межрегиональная конференция молодых экономистов и социологов, Новосибирск. ИЭОПП СО РАН, 9-10 ноября 2010г. (секционный).

На международных конференциях и семинарах:

1. Кравченко Н.А. Малый инновационный бизнес: сравнительное исследование (Новосибирская область и Миннесота) // Международная молодежная экономическая школа «Как превратить научные идеи в инновационный бизнес», Новосибирск, ИЭОПП СО РАН, 19-22 сентября 2010 (пленарный).

2. Халимова С.Р. Finding directions for governmental support of innovation activities on regional level (on the example of Russian Federation in 2000-2006) // 9th International Symposium ECONOMY & BUSINESS Economic Development and Growth, 2-6 September 2010, Sunny Beach, Bulgaria (секционный).
3. Халимова С.Р. Influence of national innovation system on peculiarities of small innovative business development // The 8th GLOBELICS International Conference. Making Innovation Work for Society: Linking, Leveraging and Learning, 1-3 November 2010, Kuala Lumpur, Malaysia (секционный).
4. Кочетов Ю.А. Метаэвристики для одной задачи сжатия информации // 8 Международная конференция «Интеллектуализация обработки информации», 17 – 24 октября, 2010, г. Пафос, Кипр (секционный).
5. Плясунов А.В. Гибридные методы решения сложных комбинаторных задач, использующие декомпозицию // 8 Международная конференция «Интеллектуализация обработки информации», 17 – 24 октября, 2010, г. Пафос, Кипр (секционный).
6. Береснев В.Л. Алгоритм локального поиска для задачи конкурентного размещения предприятий // 8 Международная конференция «Интеллектуализация обработки информации», 17 – 24 октября, 2010, г. Пафос, Кипр (секционный).
7. Beresnev V.. Approximation Algorithm for the Competitive Facility Location Problems // 24-th European Conference on Operational Research, Lisbon, Portugal, 2010 (секционный).
8. Plyasunov A. Genetic local search algorithm for the milling pricing problem // 24-th European Conference on Operational Research, Lisbon, Portugal, 2010 (секционный).
9. Alekseeva E. An improved exact method for the discrete (r, p)-centroid problem // 24-th European Conference on Operational Research, Lisbon, Portugal, 2010 (секционный).