

Российская академия наук

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ ИМ. С.Л. СОБОЛЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

(ИМ СО РАН)

УДК 330.4, 519.86

№ госрегистрации 01201064559

Инв.№ 4418/2012

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора

член-корреспондент РАН

\_\_\_\_\_ Гончаров С.С.

«30» мая 2012 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

В рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры  
инновационной России» на 2009-2013 годы

по Государственному контракту от 15 сентября 2010 г. № 14.740.11.0219

Шифр заявки «2010-1.1-302-123-042»

по теме:

ПОЛИСТРУКТУРНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОЙ  
ЭКОНОМИКИ

Наименование этапа: «Этап 4»

(промежуточный, этап № 4)

Руководитель НИР,  
член-корреспондент РАН

\_\_\_\_\_

В.И. Суслов

подпись, дата

Новосибирск 2012

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Рук. темы, зам. директора ИЭОПП СО РАН, член-корр. РАН	_____	В.И. Суслов (Введение, Заключение)
Отв. исполнитель темы, исп. директор НОЦ, д.т.н. заместитель директора ИМ СО РАН, д.ф.-м.н.	_____	С.М. Лавлинский (Реферат, Приложения А-Б)
зав. отделом ИЭОПП СО РАН д.э.н.	_____	Береснев В.Л. (раздел 1.4)
	_____	Суспицин С.А. (раздел 1.3)
проф. НГУ, д.э.н.	_____	Баранов А.О. (раздел 1.2)
проф. НГУ, д.э.н.	_____	Кравченко Н.А. (раздел 1.1)
проф. НГУ, д.э.н.	_____	Юсупова А.Т. (раздел 1.1)
зав. кафедрой НГУ, к.т.н.	_____	Кузнецова С.А. (раздел 1.1)
доц. НГУ, к.э.н.	_____	Береснева А.В. (раздел 1.1)
доц. НГУ, к.э.н.	_____	Ибрагимов Н.М. (раздел 1.2)
	_____	Плясунов А.В. (раздел 1.5)
с.н.с. ИМ СО РАН, к.ф.-м.н.	_____	
в.н.с. ИМ СО РАН, д.ф.-м.н.	_____	Кочетов Ю.А. (раздел 1.5)
н.с. ИМ СО РАН, к.ф.-м.н.	_____	Алексеева Е.В. (раздел 1.5)
н.с. ИМ СО РАН, к.ф.-м.н.	_____	Орозбеков Н.А. (раздел 1.4)
м.н.с. ИЭОПП СО РАН, к.э.н.	_____	Бобылев Г.В. (раздел 1.2)
м.н.с. ИЭОПП СО РАН	_____	Коледа А.В. (раздел 1.4 )
м.н.с. ИЭОПП СО РАН, к.э.н.	_____	Горбачева Н.В (раздел 1.2)

студент ФИТ НГУ	_____	Валюженич А.А. (раздел 1.2)
аспирант НГУ	_____	Халимова С.Р. (раздел 1.1)
аспирант НГУ	_____	Анохин Р.Н. (раздел 1.1)
аспирант НГУ	_____	Фурсенко Н.О. (раздел 1.1)
аспирант ИЭОПП СО РАН	_____	Семыкина И.О. (раздел 1.4)
аспирант ИЭОПП СО РАН	_____	Доможиров Д.А. (раздел 1.2)
аспирант ИЭОПП СО РАН	_____	Неустроев Д.О. (раздел 1.2)
аспирант ИМ СО РАН	_____	Давыдов И. А. (раздел 1.5)
аспирант ИМ СО РАН	_____	Мельников А.А. (раздел 1.4)
аспирант НГУ	_____	Панин А.А. (раздел 1.5)
студент ФИТ НГУ	_____	Сотникова Е.В. (раздел 1.5)
студент ФИТ НГУ	_____	Паршина О.Г. (раздел 1.5)
студент ММФ НГУ	_____	Семина Ю.Д. (раздел 1.5)
ассистент НГУ	_____	Кононова П. А. (раздел 1.5)
Нормоконтролер	_____	Кравченко С.В.

## РЕФЕРАТ

Отчет 117с., 1 ч., 7 рис., 24 табл., 46 источников, 3 прил.

Ключевые слова: ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТРАНСФЕРА ИННОВАЦИЙ, ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ РФ, ПРИКЛАДНЫЕ МОДЕЛИ МНОГОРЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ, ИНДИКАТОРЫ ИННОВАЦИЙ, МОДЕЛИ КОНКУРЕНТНОЙ БОРЬБЫ, ТОЧНЫЙ ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ В МОДЕЛЯХ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ

Основным объектом исследования являются инновационные процессы на микро-, мезо- и макроуровнях.

Цель работы – создание инструментария анализа и управления инновациями, адекватного специфике структуры российской экономики; уровню развития науки, образования и технологий, социальным и культурным паттернам взаимодействий участников инновационных процессов.

В процессе работ использовались классические методы математико-экономического исследования, такие как методы оптимизации и дискретного анализа, макроэкономическое моделирование, модели прогнозирования, аппарат кооперативных игр.

В результате фундаментальных исследований 4 этапа получены новые результаты мирового уровня. Проведена оценка структуры и организации инновационных процессов в Новосибирском научном центре, выявлены проблемы и оценены перспективы. На условном малоразмерном примере апробирована новая методическая схема оценки эффективности крупных программ инновационного развития с помощью прикладных моделей многорегиональных систем. Разработана методика комплексной оценки пространственных трансформаций экономики РФ.

Для моделей конкурентной борьбы разработаны алгоритмы построения локально-оптимальных решений. Разработан точный гибридный алгоритм на основе декомпозиции и генетического локального поиска в моделях ценообразования.

Степень внедрения – результаты используются в образовательном процессе Новосибирского государственного университета при чтении таких курсов лекций, как «Инновационный менеджмент», «Теория отраслевых рынков», «Математические методы в экономике», «Региональная экономика», «Методы оптимизации».

Полученные результаты фундаментального характера, прежде всего, являются вкладом в общую математико-экономическую теорию инновационных процессов. Результаты исследований могут быть использованы в сфере экономической теории и

практики, связанной с управлением инновациями на региональном и народнохозяйственном уровнях.

Эффективность и значимость работ, помимо чисто научных результатов, заключается в подготовке молодых ученых, непосредственно участвовавших в работах наряду с признанными специалистами, и способствуют закреплению в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров.

В развитии результатов четвертого этапа в последующих работах этого направления следует ожидать формирование эффективного инструментария анализа и управления в сфере инновационной экономики, использующего сформулированные подходы и новые постановки ключевых задач.

## 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.

ГУ ВШЭ – Государственный университет Высшая школа экономики.

## СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	9
	ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	
1	Этап 4, фундаментальные исследования	10
1.1	Оценка структуры и организации инновационных процессов в Новосибирском научном центре: проблемы и перспективы	11
1.1.1	Активизация инновационных процессов на региональном уровне	11
1.1.2	Перспективы расширения участия малого бизнеса в инновационных процессах	12
1.1.3	Подходы к исследованию взаимодействий между фирмами	14
1.1.4	Виды межфирменных сетевых взаимодействий	16
1.1.5	Эмпирические исследования межфирменных взаимодействий	17
1.1.6	Межфирменные взаимодействия инновационных компаний	19
1.1.7.	Перспективы развития партнерских связей малых инновационных компаний	24
1.2	Формирование методической схемы и ее апробация на условном малоразмерном примере оценки эффективности крупных программ инновационного развития с помощью прикладных моделей многорегиональных систем	30
1.2.1	Методические рекомендации по оценке влияния инфраструктурных проектов на развитие макрорегионов	30
1.2.1.1	Комплекс моделей и показатели эффективности, используемые для оценки инфраструктурных проектов	30
1.2.1.2	Алгоритм расчетов влияния крупных инфраструктурных проектов	32
1.2.2	Результаты экспериментальной апробации методических рекомендаций	38
1.2.2.1	Характеристика основных предположений и вариантов расчетов	38
1.2.2.2	Анализ результатов в соответствии с этапами алгоритма расчетов	40
1.2.2.2.1	Идентификация проектов	40
1.2.2.2.2	Результаты расчетов по исходной ОМММ (без учета проекта)	42
1.2.2.2.3	Формирование исходных данных о проекте	43
1.2.2.2.4	Проведение расчетов по финансовой МИМИП без предоставления бюджетного финансирования	44
1.2.2.2.5	Результаты расчетов по модифицированной ОМММ с учетом проекта	44
1.2.2.2.6	Расчет изменения показателей ОМММ в результате влияния проекта	46
1.2.2.2.7	Формирование данных для включения в экономическую МИМИП	49
1.2.2.2.8	Результаты расчетов по экономической МИМИП	50
1.2.2.2.9	Обоснование бюджетного финансирования проекта	51
1.2.2.2.10	Проведение расчетов по финансовой МИМИП с предоставлением бюджетного финансирования	53
1.3	Разработка методики комплексной оценки пространственных трансформаций экономики РФ	55

1.4	Разработка алгоритмов построения локально-оптимальных решений задач двухуровневого математического программирования, связанных с моделями конкурентной борьбы	62
1.4.1	Математическая модель	63
1.4.2	Верхние границы целевой функции задачи ( $L, F$ )	67
1.4.3	Стандартный алгоритм локального поиска	70
1.5	Разработка точного гибридного алгоритма на основе декомпозиции и генетического локального поиска в моделях ценообразования	74
1.5.1	Постановка задачи размещения производства и ценообразования	77
1.5.2	Точные алгоритмы решения задачи ценообразования	80
1.5.3	Метаэвристики для приближённого решения задачи ценообразования	83
1.5.4	Гибридный алгоритм решения задачи ценообразования	90
1.5.5	Вычислительный эксперимент	94
1.5.6	Выводы	99
2	Показатели	100
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	102
	ПРИЛОЖЕНИЯ	
	Приложение А. Список публикаций исполнителей	106
	Приложение Б. Список сделанных исполнителями докладов	109
	Приложение В.	111



## ВВЕДЕНИЕ

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. Здесь важны специфика структуры экономики; уровень развития науки, образования и технологий, институциональное устройство; социальные и культурные паттерны взаимодействий участников инновационных процессов.

Сегодня исследования в области экономики инноваций в целом 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. В рамках НИР предполагается создание модельно-методического инструментария анализа инновационных процессов, позволяющего принципиально изменить положение дел с этой проблематикой.

Запланированные исследования 4 этапа посвящены проведению фундаментальных исследований и играют важную роль в рамках всей НИР. В ходе работ предполагается исследовать связи между характеристиками отдельных компаний и их отношением к различным формам взаимодействий с другими участниками рынка а также оценить влияние последствий реализации инфраструктурного проекта на экономику макрорегионов и решить проблемы сочетания анализа инвестиционных процессов на макроэкономическом, мезоэкономическом и микроэкономическом уровнях.

Важная роль в работах 4 этапа отведена разработке методики комплексной оценки пространственных трансформаций экономики РФ. Совместно с разработкой алгоритмов построения локально-оптимальных решений задач двухуровневого математического программирования, связанных с моделями конкурентной борьбы, а также созданием точного гибридного алгоритма на основе декомпозиции и генетического локального поиска в моделях ценообразования, эти исследования определяют фронт работ 4 этапа и позволяют исследовать значительную часть задач, решаемых в рамках НИР.

## 1. Этап 4, фундаментальные исследования

В рамках работ четвертого этапа НИР исследован ряд проблем моделирования и анализа инновационных процессов.

На основе эмпирических данных обследования малого инновационного бизнеса были исследованы связи между характеристиками отдельных компаний и их отношением к различным формам взаимодействий с другими участниками рынка. В рамках масштабного исследования особенностей трансфера инноваций был проведен анкетный опрос ряда сибирских инновационных компаний, позволивший сопоставить характеристики инновационного поведения фирм с рядом индикаторов, отражающих их отношение к внешним и внутренним особенностям развития.

Для оценки влияния последствий реализации инфраструктурного проекта на экономику макрорегионов и решения проблемы сочетания анализа инвестиционных процессов на макроэкономическом, мезоэкономическом и микроэкономическом уровнях был использован комплекс взаимосвязанных моделей. Показатели эффективности проекта на макроэкономическом и региональном уровне рассчитывались на основе двух взаимосвязанных вариантов модели межотраслевых межрегиональных взаимодействий (МММВ): оптимизационной межотраслевой межрегиональной модели (ОМММ) и модели экономического взаимодействия регионов (МЭВР).

Методика комплексной оценки пространственных трансформаций экономики РФ апробировалась на примере анализа изменений территориальной структуры экономики за период 2008-2011 года. Основной вывод состоит в том, произошедшие потрясения мировой финансовой системы не привели к системному кризису в реальном секторе экономики РФ, что неминуемо бы отразилось для ряда субъектов РФ обвальным падением их развития по большинству наиболее значимых показателей.

В теоретическом секторе работ этапа – разработка алгоритмов построения локально-оптимальных решений задач двухуровневого математического программирования, связанных с моделями конкурентной борьбы, а также разработка точного гибридного алгоритма на основе декомпозиции и генетического локального поиска в моделях ценообразования. Здесь получены новые результаты, имеющие практическое и теоретическое значение.

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

## 1.1. Оценка структуры и организации инновационных процессов в Новосибирском научном центре: проблемы и перспективы

### 1.1.1. Активизация инновационных процессов на региональном уровне

Новосибирская область и находящийся на ее территории Новосибирский центр обоснованно считаются регионом с большим потенциалом инновационного развития за счет высокой концентрации образовательных и научных организаций и учреждений, благодаря значительному человеческому потенциалу, быстрому развитию инновационного малого бизнеса, расширению инновационной инфраструктуры. Государственные инициативы, направленные на стимулирование инновационных процессов, предпринятые в последние годы, были успешно восприняты и поддержаны на региональном уровне. Среди таких инициатив необходимо отметить Программы инновационного развития Госкорпораций; Технологические платформы; Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства»; Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. №219 «О государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования»; Постановление от 9 апреля 2010 г. №220 «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные учреждения высшего профессионального образования», Федеральный закон Российской Федерации от 2 августа 2009 г. N 217-ФЗ "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности".

В частности, вузы и академические институты Новосибирска участвуют в инновационных программах 14 государственных корпораций, 11 технологических платформах, в Новосибирском государственном университете реализуются 6 проектов по привлечению ведущих ученых, 29 институтов СО РАН выступили учредителями 53 коммерческих и некоммерческих организаций.

Инновационный бизнес, представленный резидентами технопарка «Академпарк», играет все возрастающую роль в развитии региона. Так, в настоящее время резидентами «Академпарка» являются 173 инновационных компании, в числе которых 30 - резиденты бизнес-инкубатора - начинающие предприятия. Суммарно численность всех занятых в этих

организаций составляет 6 346 человек. Компании – резиденты «Академпарка» выплатили 1 224 млн. рублей налогов за первые 9 месяцев 2011 года.

Новый импульс развитию инновационных процессов на территории ННЦ дала разработка концепции долгосрочной целевой программы «Государственная поддержка комплексного развития Советского района г. Новосибирска и научных центров СО РАН и СО РАМН», в рамках которой предполагается создание общей платформы для ускоренного развития высокотехнологического и наукоемкого сектора экономики Новосибирской области.

#### 1.1.2. Перспективы расширения участия малого бизнеса в инновационных процессах

Малые и средние инновационные компании, как было показано на предыдущих этапах работы, часто являются технологическими лидерами в зарождающихся отраслях инновационной экономики, таких как информационные технологии, нано- и биотехнологии, они способствуют формированию новых технологических укладов и вносят существенный вклад в повышение наукоемкости и конкурентоспособности национальных экономик. В то же время развитие инновационных процессов на уровне отдельных компаний, прежде всего вновь созданных для коммерциализации новых продуктов и технологий, преимущественно небольших по размеру, ограничивается наличием серьезных барьеров и проблем, среди которых имманентные масштабу компании недостаток ресурсов, ограниченность компетенций, ограниченный доступ к источникам финансирования и многие другие. В частности, при обследовании малого инновационного бизнеса ННЦ, в качестве основных барьеров были выделены следующие факторы: недостаток собственных денежных средств; высокий экономический риск; неразвитость рынка технологий; недостаток информации о новых технологиях; недостаток государственной финансовой поддержки; высокая стоимость нововведений; неразвитость инновационной инфраструктуры; недостаток квалифицированного персонала; длительные сроки окупаемости нововведений; низкий спрос на новые продукты; недостаток информации о рынках сбыта.

Ниже на рис. 1.1.2.1 показана оценка факторов, ограничивающих развитие, полученная в результате обследования малых инновационных компаний. Это средние оценки, отражающие влияние различных барьеров на деятельность и развитие компаний, полученные в ходе анкетирования. Шкала оценок от 0 – так оценивался фактор, не оказывающий влияние на развитие компании, до 5 – наиболее влиятельный фактор, в наибольшей степени ограничивающий деятельность и рост компаний.

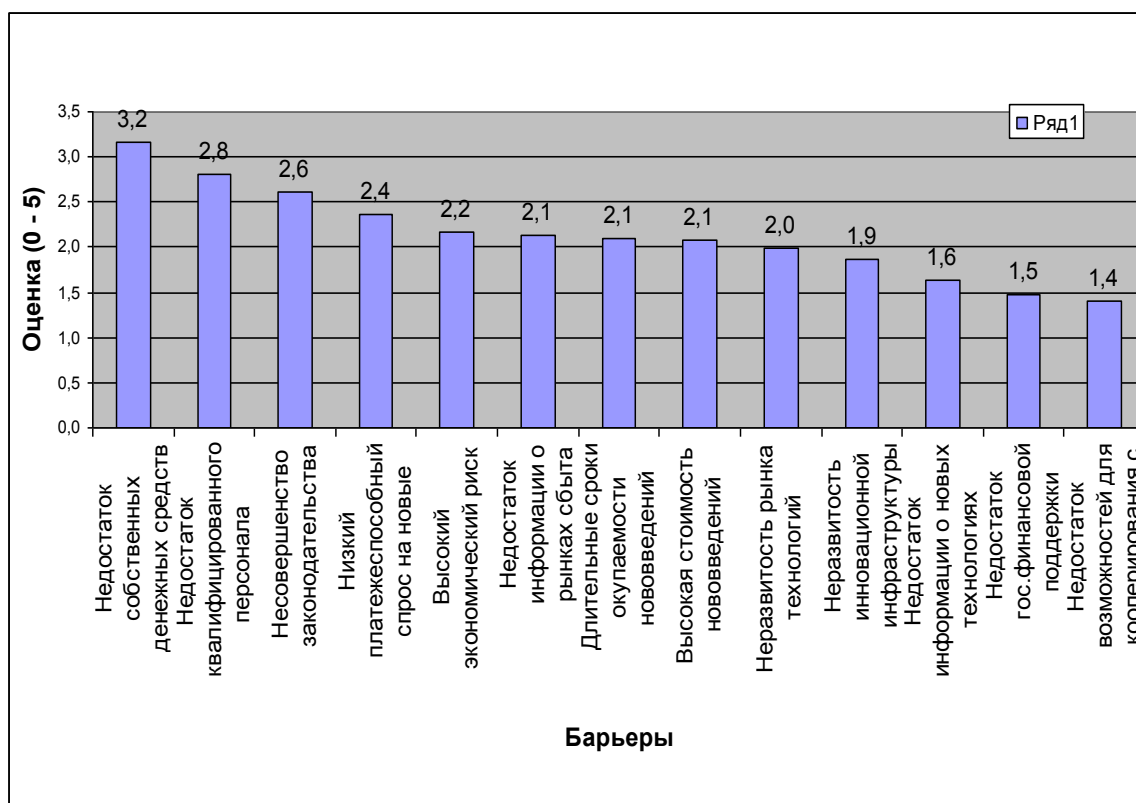


Рисунок 1.1.2.1 — Оценка барьеров развития малого инновационного бизнеса.

Обследование показало, что для инновационных компаний важнейшие барьеры развития связаны с финансовыми ограничениями и человеческим потенциалом. Причем влияние кадровых ограничений осознается как более значимое компаниями - лидерами по мере продвижения по стадиям жизненного цикла.

Деятельность малых инновационных компаний сталкивается со многими трудностями, однако опыт успешных компаний демонстрирует возможности их преодоления. Конкурентоспособность инновационных компаний может формироваться под воздействием комбинаций различных факторов, однако неизменными слагаемыми успеха оказываются личность создателя, квалификация команды, уникальные технические компетенции в отношении своего продукта/услуги. Для российских инновационных компаний важнейшие барьеры развития связаны с человеческим потенциалом, особенно для компаний – лидеров, и с недостаточным количеством собственных финансовых ресурсов. Несовершенство институциональной среды отражают требования по совершенствованию законодательной базы и инфраструктурные ограничения.

Как показало наше обследование, фирмы - лидеры в целом занимают более активную позицию – они более требовательны к возможностям поддержки, выше ценят результаты

своего труда, они более открыты по отношению к внешнему миру и готовы к кооперации с другими участниками инновационной системы.

По мнению одного из участников нашего обследования, руководителя успешного инновационного бизнеса, все инновационные бизнесы, работающие в Академгородке, неизбежно несут отпечаток его уникальной истории, что проявляется и в моделях продвижения разработок. С одной стороны, велика роль отдельного исследователя, который и является основной движущей силой коммерциализации. С другой, все используемые схемы опираются на уже сформированные формальные и неформальные связи между институтами и другими организациями СО РАН, которые во многом возникли еще в рамках административной экономики. Таким образом, значительное влияние оказывает специфичная внешняя среда развития инновационного бизнеса.

При дальнейшем обследовании, основной акцент был сделан на анализ существующих форм партнерских связей между основными элементами инновационной системы, оценку эффективности и потенциала развития этих взаимодействий.

Каждая фирма взаимодействует в своей деятельности со множеством различных экономических акторов. Формы, методы, типы таких взаимодействий зависят от размера компании, ее отраслевой специфики, региональной привязки, истории создания, корпоративной культуры, положения на рынке и многих других факторов. Многие исследования показывают, что формальные институты – это далеко не единственно возможные формы и способы регулирования взаимодействия современных российских фирм.

Особую роль в этих процессах играют связи между фирмами как основными участниками рынка. Межфирменные взаимодействия охватывают как вертикальные, так и горизонтальные связи. Они могут быть организованы по-разному. В рамках нашего исследования анализ природы межфирменных взаимодействий проводится с позиций новой институциональной экономики. Кратко опишем полученные результаты.

### 1.1.3. Подходы к исследованию взаимодействий между фирмами

Последнее время исследователи отмечают растущую значимость формирования «межфирменных сетей». Для обозначения сетевых взаимодействий используются различные термины. На наш взгляд, наиболее обоснованными можно считать подходы, отталкивающиеся от базовых постулатов новой институциональной экономики.

Так в качестве отправной точки целесообразно рассматривать классический подход Оливера Уильямсона, рассматривающий фирму и рынок как альтернативные формы

экономической организации взаимодействия агентов [1]. При этом форма «фирма» предполагает использование жестких иерархических механизмов взаимодействия, а «рынок» основан на свободных чисто рыночных схемах. Однако, Уильямсон не ограничивается дихотомией «фирма-рынок», предлагая разнообразные «гибридные» варианты организации. Он показал, что рынок, гибрид и иерархия отличаются, прежде всего, типами контрактов, регулирующих экономическую деятельность агентов. Типы контрактов, их длительность, степень детализации, интернализация механизмов управления и другие характеристики зависят особенностей участников, их деятельности и активов, которыми они владеют. Выбор формы организации осуществляется, в том числе на основе величины транзакционных издержек. Важную роль в этом анализе играет учет таких предпосылок как специфичность используемых активов, ограниченная рациональность и оппортунизм после заключения контракта. Межфирменные взаимодействия, организованные в форме сетей, - это в терминологии Уильямсона гибридный вариант экономической организации. Поэтому все общие предпосылки, перечисленные выше, могут быть использованы и при исследовании таких взаимодействий. Очевидно, что они во многих случаях основаны на долгосрочных детализированных контрактах. Некоторые авторы считают, что совокупность отдельных агентов, связанных в рамках сети такими контрактами, можно интерпретировать как полный аналог фирмы как консолидированной единицы. С нашей точки зрения, такое отождествление не вполне оправдано. Безусловно, долгосрочный контракт – это альтернатива чисто рыночным формам взаимодействия, предопределяющая полностью согласованные действия агентов в области, ограниченной контрактом. Однако следует подчеркнуть, что фирма как самостоятельный институт обладает рядом характеристик, которые не присущи сетям как гибридным структурам. Внутрифирменные отношения регулируются нормами, отличающимися от контрактных взаимоотношений юридически независимых субъектов. Соответственно, такие структуры по-разному реагируют на меры государственной регуляции в целом, и конкурентной политики в частности (например, меры по стимулированию создания крупных вертикально интегрированных структур).

Межфирменные сети – это результат интеграционных процессов, протекающих на многих отраслевых рынках. Интересно отметить, что они имеют различный генезис, появляются в результате действия различных (иногда противоположных) тенденций как интеграционного, так и дезинтеграционного характера. Так, сеть может возникнуть путем выделения отдельных фрагментов (сделок, блоков) из взаимодействий экономических агентов, изначально организованных по типу рынка, т.е. введения элементов иерархии в рыночные формы. Такой процесс определяют как «квази-интернализацию». Его результатом выступает формирование гибридной структуры, в рамках которой существуют длительные

детализированные контракты, сохраняющие автономность сторон, но предполагающие использование специальных инструментов, препятствующих оппортунистическому поведению участников и обеспечивающих адаптацию к изменяющимся параметрам внешней среды в условиях неопределенности [2].

С другой стороны, смешанная форма организации взаимодействия может возникнуть как результат экстернализации отдельных функций, когда фирма как иерархическая структура реагирует на вызовы внешней среды. При этом фирма может осуществлять введение элементов рыночного регулирования в иерархию различными способами. Одним из путей формирования такой сети является практика аутсорсинга. Это может быть и реструктуризация фирмы с выделением множества отдельных самостоятельных единиц. В данном контексте происходящие на многих отраслевых рынках процессы, имеющие формальные характеристики дезинтеграции, по существу представляют собой переход от «классических» форм интеграции к другим, основанным на долгосрочных контрактах. Некоторые исследователи называют это квазиинтеграцией, определяемой как объединение юридически независимых экономических субъектов, предполагающее развитие устойчивых долгосрочных связей между ними и делегирование контроля над управлением совместной деятельностью [2]. Способ возникновения сети влияет на особенности ее формирования и функционирования.

#### 1.1.4. Виды межфирменных сетевых взаимодействий

Межфирменные сети представляют собой среднесрочные и долгосрочные формы координации. Если рынок использует классические контракты, иерархия в основном отношенческие, то гибридная форма базируется на неоклассическом контракте, оставляющем партнерам определенную степень свободы. Сети некоторым образом упорядочивают и координируют взаимодействие, но не исключают потенциальных конфликтов между участниками, что обуславливает необходимость построения регулирующих механизмов. Наиболее ярко это проявляется в рамках саморегулируемых организаций (СРО), которые тоже представляют собой пример межфирменной сети.

Отметим, что перспективы и возможности саморегулируемых организаций в России сейчас, оцениваются неоднозначно, что, на наш взгляд, оправдано. В целом в российской экономике пока СРО не воспринимаются как необходимый и действенный институт. Достаточно часто приводятся негативные оценки их роли на сегодняшний момент. Так результаты анкетирования, проводимого на сайте [7], показывают, что реальные преимущества СРО дают только чиновникам, это отметили 76,5 % участников опроса.



Преимущества для производителей (3,55%) и потребителей (3,1%) по существу сейчас не значимы. При всех недостатках подобных форм обследования, такие оценки не могут не настораживать. Действительно, кроме объективных сложностей учета и согласования интересов независимых автономных компаний, возникающих в рамках любой сети (соглашения, союза, объединения и других форм) в СРО появляется опасность бюрократизации, чрезмерного администрирования и излишней зарегулированности. Эти проблемы есть в любой иерархической структуре, но сущность СРО способствует их проявлению и усиливает негативный эффект. Возможность конструктивного диалога с властью, которую дает СРО, является важной особенностью этого вида взаимодействия, обуславливающей его позитивное воздействие на развитие участников рынка.

Любая фирма, являясь участником рынка, неизбежно взаимодействует с другими агентами, формы межфирменных взаимодействий разнообразны. В условиях ограниченности числа ключевых участников такие структуры оказывают существенное влияние на распределение сил на рынке, перспективы их развития, т.е. сети стали важным элементом многих российских отраслевых рынков. Рассуждения о сетевой организации используют предпосылку, согласно которой фирма, как правило, существует в пределах определенного отраслевого рынка или даже отдельного его сегмента, число контрагентов на котором ограничено, и все они вовлечены в долгосрочные межфирменные отношения. В этом случае каждый участник оказывает значительное влияние на всю сеть. Для иллюстрации реального влияния межфирменных сетей на особенности развития российских рынков обратимся к эмпирическим исследованиям.

Каждая фирма одновременно участвует в нескольких сетевых схемах. Особенную значимость межфирменные отношения приобретают в условиях внешней нестабильности. В период кризиса объективно растет вероятность оппортунистического поведения, что неизбежно влечет за собой разрушение налаженных связей. В это время компании стремятся одновременно сохранять существующие партнерские отношения и формировать новые цепочки. В особенности это можно отнести к поиску поставщиков, что полностью подтвердилось опытом российских компаний в период и после последнего системного кризиса 2008 года [3].

#### 1.1.5. Эмпирические исследования межфирменных взаимодействий

Интересные результаты эмпирического исследования сетевых форм межфирменных взаимодействий российских компаний приведены в работе Поповой Ю.Ф. [3]. Исследование проведено автором в 2006 году совместно с экспертами Российского Экономического

Барометра, опирается на данные опроса руководителей компаний, входящих в выборку РЭБ. Данное исследование направлено на анализ формирования процессов межфирменных взаимодействий продавцов – покупателей, интеграционных стратегий фирм, форм сотрудничества с государственными организациями. Особое внимание обращалось на долгосрочность сотрудничества, уровень формализации отношений, лояльность партнеров, а также формы кооперации. Результаты показали, что более 70% опрошенных руководителей отметили стремление компаний к стабильным долгосрочным отношениям с партнерами. Средняя продолжительность взаимоотношений с поставщиками и потребителями составила в 2006 году 9 лет. Интересно, что данные предыдущего раунда обследования (2000 г) отражали более высокую длительность типичного контракта. Это, по мнению авторов, является индикатором открытости большинства российских сетей на тот период. Хотя с точки зрения теории, как отмечалось выше, классические сети представляют собой достаточно закрытые структуры.

Для поддержания существующих форм взаимодействий многие фирмы несут дополнительные финансовые затраты, вызванные финансовыми преференциями, предоставляемыми партнерам. Именно скидки, кредиты, изменение графика поставок, определенные доработки качественных характеристик и являются теми основными инструментами, которые реально используются в рамках партнерских взаимодействий. Инвестиционные рычаги, т.е. инвестирование в бизнес партнеров по сети, применяются крайне редко. Партнерские отношения, по мнению руководителей, помогают консолидировать ресурсы, усилить конкурентные преимущества. Следует отметить, что взаимодействия развиваются в основном по вертикали. Горизонтальные партнерства в меньшей степени вызывают доверие у большинства участников рынков. Существующие сети часто используются для поиска новых партнеров. На наш взгляд, эмпирические данные отражают некоторую противоречивость природы сетевых взаимодействий. С одной стороны, они, безусловно, способствуют решению многих проблем отдельных фирм, усилению их конкурентных преимуществ на рынке, играют позитивную роль. С другой, являются определенным ограничением, затрудняющим вхождение в рынок для новых участников, дополнительным источником противоречий и конфликтов.

Сетевые структуры играют существенную роль в инновационной деятельности фирм. Посредством и в рамках таких взаимодействий происходит распространение информации об инновациях и обмен ресурсами, осуществляется обратная связь, реализуется продвижение конкретного инновационного проекта. Гибкость и высокая адаптивность сетей представляет собой существенное преимущество в условиях, когда продукция фирмы (товары, услуги) становится все сложнее и прямой контроль над всеми необходимыми ресурсами (в первую

очередь знаниями и умением персонала, «ноу-хау») затруднен, а внешняя среда отличается значительной неопределенностью [4]. Кроме того, сетевые взаимодействия позволяют сокращать разрывы и противоречия, существующие на различных этапах инновационного процесса. В рамках эмпирической части нашего исследования мы проводим анализ того, как реальные инновационные компании оценивают возможности межфирменных взаимодействий. Ниже приводятся некоторые предварительные результаты.

#### 1.1.6. Межфирменные взаимодействия инновационных компаний

Мы исследовали связи между характеристиками отдельных компаний и их отношением к различным формам взаимодействий с другими участниками рынка, используя эмпирические данные обследования малого инновационного бизнеса. В рамках масштабного исследования особенностей трансфера инноваций проводился анкетный опрос ряда сибирских инновационных компаний. Характеристики инновационного поведения фирм сопоставлялись с рядом индикаторов, отражающих их отношение к внешним и внутренним особенностям развития. Для анализа использовались данные двух раундов обследования малого инновационного бизнеса. На первом этапе было обследовано 59 малых инновационных компаний, в основном расположенных в Новосибирской области. На втором этапе было обследовано еще 27 компаний. Далее представлен анализ результатов первого этапа, которые относятся к ассоциативным взаимодействиям компаний, а в завершении этой части – анализ промежуточных результатов второго раунда, которые относятся к более широкому кругу партнерских отношений инновационных компаний и оценке их значимости и будущих перспектив развития.

Подробно характеристики выборки представлены в работе [10]. Согласно предложенной методологии исследования особенностей поведения инновационных компаний [5] все значения и зависимости анализировались для двух этапов жизненного цикла компаний: этапа создания компании и этапа развития. Из общего числа компаний была выделена группа «лидеров», т.е. таких фирм, которые ориентированы на общий национальный и международный рынок и производят продукты, отличающиеся высоким уровнем новизны (новые для России или не имеющие аналогов в мире). Это множество компаний обозначено как «Группа 1» (их в выборке 26), остальные фирмы выборки вошли в «Группу 2».

В нашей статье [6] рассматривается отношение инновационных компаний к участию в ассоциациях бизнеса (БА). В этой работе ставилась задача выявить связь между тем, в каких условиях создавалась компания, уровнем новизны ее продукции и широтой рынка, на

который она ориентирована, и тем, насколько важно для нее участие в БА, т.е. тем, как ее руководители оценивают эту форму поддержки.

Результаты показывают, что в целом инновационные компании считают бизнес ассоциации значимым фактором поддержки бизнеса. Достаточно высоко оценивается информационная поддержка, которую можно получить посредством членства в ассоциациях. Интересно отметить, что компании, вошедшие в группу 1, т.е. лидеры, оценивают роль ассоциаций выше, чем остальные. Анализ позиций отдельных фирм по отношению к членству в бизнес-ассоциациях и их значимости, показал наличие положительных зависимостей между инновационной ориентацией компании и ее оценкой роли БА.

Результаты показали, что значительно более высоко роль ассоциаций бизнеса оценивают фирмы, созданные в условиях нестабильной *внешней среды*, т.е. в период кризиса, что подтверждает эффективность ассоциаций бизнеса. Этот результат получил и эконометрическое подтверждение. Для компаний, созданных в «благополучные» годы, значимость координации и интеграции с другими участниками рынка возрастает по мере расширения деятельности, т.е. на этапе развития.

Влияние уровня новизны на оценку значимости ассоциаций бизнеса неоднозначно. Они более важны для компаний, выпускающих традиционные продукты и продукты, новые для регионального и национального рынков. Для компаний, выпускающих продукцию, новую для местного рынка, роль ассоциаций бизнеса возрастает на стадии их развития.

Было выявлено, что чем шире рынок, на который ориентирована фирма, тем выше ее оценка роли ассоциаций. Инновационные фирмы, работающие в пределах СФО, значительно выше оценивают значимость ассоциаций бизнеса на этапе развития по сравнению с этапом создания фирмы. Таким образом, ассоциации бизнеса оказывают действенную поддержку компаниям, ориентированным на развитие и расширение территориальных границ рынка.

Ассоциации можно рассматривать как тип межфирменного взаимодействия. Саморегулируемые организации, характеристика которых приводилась ранее, представляют собой один из видов БА. Соответственно, наши оценки их роли и значимости, приведенные в упомянутой статье, могут быть использованы и для анализа взаимодействий в целом.

Один из вопросов анкеты касался мер поддержки, необходимых, по мнению респондентов, для развития бизнеса. Каждая мера в зависимости от ее значимости могла быть оценена по шести балльной шкале от 0 до 5: 0 – не значима, 5 – высоко значима.

В числе мер поддержки, которые необходимы для развития бизнеса, в анкете перечислялось множество инструментов, каждый из них в определенной мере отражает взаимодействие с другими агентами. В рамках настоящего этапа исследования в качестве

базовых индикаторов отношения компаний к возможностям партнерских взаимодействий мы выбрали два инструмента поддержки, это:

- «кооперация с крупными компаниями»
- «кооперация с исследовательскими и образовательными организациями»

В одном из вопросов анкеты предлагалось проанализировать различные характеристики с позиций их влияния на успех компании, т.е. оценить факторы успеха. Многие из них также отражают взаимодействия с другими акторами. На данном этапе мы выбрали фактор «партнерство (с НИИ, предприятиями)». Значимость этого фактора (также как и мер поддержки) оценивалась респондентами по шести балльной шкале для каждого из рассматриваемых этапов жизненного цикла компании.

Таким образом, из всех пунктов анкеты на данном этапе мы выбрали три, которые с разных сторон затрагивают непосредственные партнерские связи компании с предприятиями и исследовательскими организациями.

В таблице 1 приведены усредненные оценки важности рассматриваемых факторов, они отражают то, как инновационные компании воспринимают выбранные виды взаимодействий.

Таблица 1 – Средние оценки значимости анализируемых факторов.

Множество компаний	Стадии жизненного цикла	Факторы		
		Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Вся выборка	Создание	1,86	1,87	2,84
	Развитие	2,56	2,28	3,04
Группа 1	Создание	2,21	2,35	3,09
	Развитие	2,71	2,61	3,36
Группа 2	Создание	1,52	1,42	2,62
	Развитие	2,42	1,96	2,74

Фактор 1 (мера поддержки) – «кооперация с крупными компаниями».

Фактор 2 (мера поддержки) – «кооперация с исследовательскими и образовательными организациями».

Фактор 3 (фактор успеха) – «партнерство (с НИИ, предприятиями)».

Как показывают данные, в целом компании не склонны высоко оценивать роль выделенных факторов. Для лидеров рынка формы взаимодействия оказались более значимыми, чем для остальных фирм. Все компании в выборке оценивают кооперацию выше на стадии развития, что дает основания предполагать наличие влияния партнерских связей на возможности роста фирм. С нашей точки зрения, представители малого инновационного бизнеса, отвечая на вопросы анкеты, в силу ряда объективных и субъективных причин не всегда могут точно отразить роль анализируемых факторов. Так, например, в числе мер поддержки наиболее значимой оказалась информационная [5]. Кооперация с выделенными акторами позволяет получать именно эту поддержку. Отсутствие квалифицированных кадров один из важных барьеров, на устранение его направлено взаимодействие с образовательными организациями. Наличие крупных компаний в числе потребителей чрезвычайно важно для успешного выхода малой инновационной фирмы на рынок. Анализ отдельных историй успеха, глубинные интервью с руководителями фирм полностью подтверждают это. Таким образом, есть много косвенных индикаторов того, что выделенные факторы значимы.

Полученные результаты мы сравнили с такой важной характеристикой компании как уровень новизны ее продукции.

Всего рассматривалось пять возможных уровней новизны продукции:

- 1 - традиционная продукция;
- 2 - новая для компании;
- 3- новая для местного рынка;
- 4- новая для России;
- 5- новая в мировом масштабе;

Отметим, что если компания выпускает несколько видов продукции, имеющих различный уровень новизны, то для анализа учитывался самый высокий уровень. Предполагая, что более высокий уровень новизны отражает более высокий уровень инновационной активности, мы ставили задачу определить, связана ли эта активность с признанием или непризнанием значимости партнерских взаимодействий с рассматриваемыми агентами. В качестве индикатора наличия или отсутствия зависимостей был выбран коэффициент корреляции. В таблице 2 приведены полученные значения коэффициентов корреляции уровня новизны продукции и оценок рассматриваемых факторов. Расчеты проводились для каждого из выделенных этапов для всей выборки в целом, группы компаний 1 и группы компаний 2.

Таблица 2 – Корреляции уровня новизны продукции и оценок рассматриваемых факторов.

Множество компаний	Факторы	Этапы жизненного цикла	
		Создание	Развитие
Вся выборка	Фактор 1	0,14	0,10
	Фактор 2	0,31	0,19
	Фактор 3	0,18	0,21
Группа 1	Фактор 1	-0,32	-0,32
	Фактор 2	-0,23	-0,53
	Фактор 3	-0,05	0,17
Группа 2	Фактор 1	0,13	0,22
	Фактор 2	0,38	0,27
	Фактор 3	0,21	0,13

Фактор 1 (мера поддержки) – «кооперация с крупными компаниями»

Фактор 2 (мера поддержки) – «кооперация с исследовательскими и образовательными организациями»

Фактор 3 (фактор успеха) – «партнерство (с НИИ, предприятиями)».

Каждая цифра в таблице показывает значение коэффициента корреляции между уровнем новизны продукции и оценкой соответствующего фактора. Конечно, при интерпретации полученных данных следует учитывать и относительно небольшой размер выборки, и особенности компаний (малый и средний инновационный бизнес), и другие ограничения. Однако, на наш взгляд, приведенные результаты позволяют выделить ряд интересных содержательных особенностей.

Будем считать, что если значение коэффициента оказалось меньше, чем 0,25, то связи между рассматриваемыми характеристиками компаний нет, или она настолько слаба, что ею можно пренебречь. Если значение соответствующего коэффициента находится в интервале от 0,25 до 0,35, то существует слабая зависимость. Если же оно превышает 0,35, то рассматриваемые характеристики действительно коррелируют между собой. Те величины, которые мы сочли значимыми, выделены в таблице жирным шрифтом.

Результаты, полученные для всей выборки в целом, отличаются от того, что показали отдельные группы компаний. Так, если рассматривать всю совокупность фирм, то можно отметить, лишь наличие слабой положительной связи между уровнем новизны и оценкой кооперации с исследовательскими и образовательными организациями как мерой поддержки на этапе создания компании. Все остальные коэффициенты не значимы, что дает основания

предполагать отсутствие какой либо связи между тем как компании воспринимают выбранные факторы и «уровнем их инновационности».

Более интересные интерпретации можно получить, рассматривая группы фирм отдельно. Так для лидеров рынка (группа 1) отражают наличие корреляции три коэффициента (из шести рассчитанных). Все их значения отрицательны, т.е. чем выше уровень новизны продукции, тем менее важной считают компании роль выделенных факторов. Самой сильной оказалась отрицательная связь с оценкой кооперации с исследовательскими и образовательными организациями как мерой поддержки на этапе развития компании. Это можно интерпретировать как отсутствие у компаний лидеров стремления к кооперации с официальными академическими организациями. Две другие значимые величины отражают слабую отрицательную связь с кооперацией с крупными компаниями как мерой поддержки, как на этапе создания, так и на стадии развития. Таким образом, наши расчеты показали, что лидеры рынка, с одной стороны достаточно высоко ценят информационную поддержку и возможности, предоставляемые ассоциациями бизнеса, с другой, демонстрируют тенденцию к относительной автономизации по отношению к таким партнерам как крупные предприятия и исследовательские организации.

Для остальных участников выборки, не вошедших в множество лидеров (Группа 2), значимыми оказались величины двух коэффициентов корреляции. Так, можно предполагать наличие положительной связи между уровнем новизны и тем, как компания оценивает кооперацию с исследовательскими и образовательными организациями. Причем на стадии создания эта связь более сильная, чем на следующем этапе. Т.е. взаимодействие с НИИ положительно влияет на инновационную активность тех фирм, которые не являются лидерами рынка.

Итак, на эмпирических данных было исследовано влияние партнерских связей и межфирменных взаимодействий на поведение инновационных компаний на примере ассоциаций бизнеса. В целом инновационные компании считают участие в ассоциациях значимым фактором успеха, важным на всех этапах жизненного цикла фирмы.

#### 1.1.7. Перспективы развития партнерских связей малых инновационных компаний

Горизонтальные взаимодействия инновационного бизнеса шире, чем ассоциативные связи. Для того, чтобы уловить более широкий спектр возможных взаимодействий, была разработана исследовательская программа и был выполнен второй раунд анкетирования, а также проведена серия углубленных интервью с руководителями инновационных компаний. Во время выполнения второго раунда обследования анкета была расширена за счет



включения блока вопросов, относящихся к характеристикам взаимодействий опрашиваемых компаний с их основными контрагентами. Выборка состояла из 27 малых и средних инновационных компаний, большинство из которых работает на рынках B2B, при этом менее 20% компаний производят товары и предоставляют услуги на потребительский рынок.

Ниже в табл. 3 показаны результаты обработки ответов на вопрос о значимости связей с основными контрагентами инновационных компаний, и на рис. 1.1.7.1 дополнительно представлены намерения компаний расширять связи с выделенными группами партнеров.

Таблица 3 – Оценка значимости и ранг партнеров малых инновационных компаний.

		Оценка значимости партнера, от 0 до 5	Ранг партн ера	Доля компаний, намеренных расширять связи, %
1	Потребители: малый бизнес	3,3	2	41
2	Потребители: крупный бизнес	3,7	1	44
3	Потребители: гос. структуры	2,7	4	26
4	Потребители: иностранные компании	1,4	10	44
5	Поставщики: малый бизнес	3	3	26
6	Поставщики: крупный бизнес	2,4	5	30
7	Поставщики: государственные структуры	0,4	15	15
8	Поставщики: иностранные компании	1,8	8	30
9	Компании, работающие в той же сфере деятельности	2	6	7
10	Банки и другие финансовые институты	2	7	15
11	Исследовательские институты	1,3	12	15
12	Высшие учебные заведения	1	13	11
13	Деловые ассоциации	0,7	14	11
14	Государственные структуры	1,5	9	19
15	Регулирующие организации	1,3	11	15

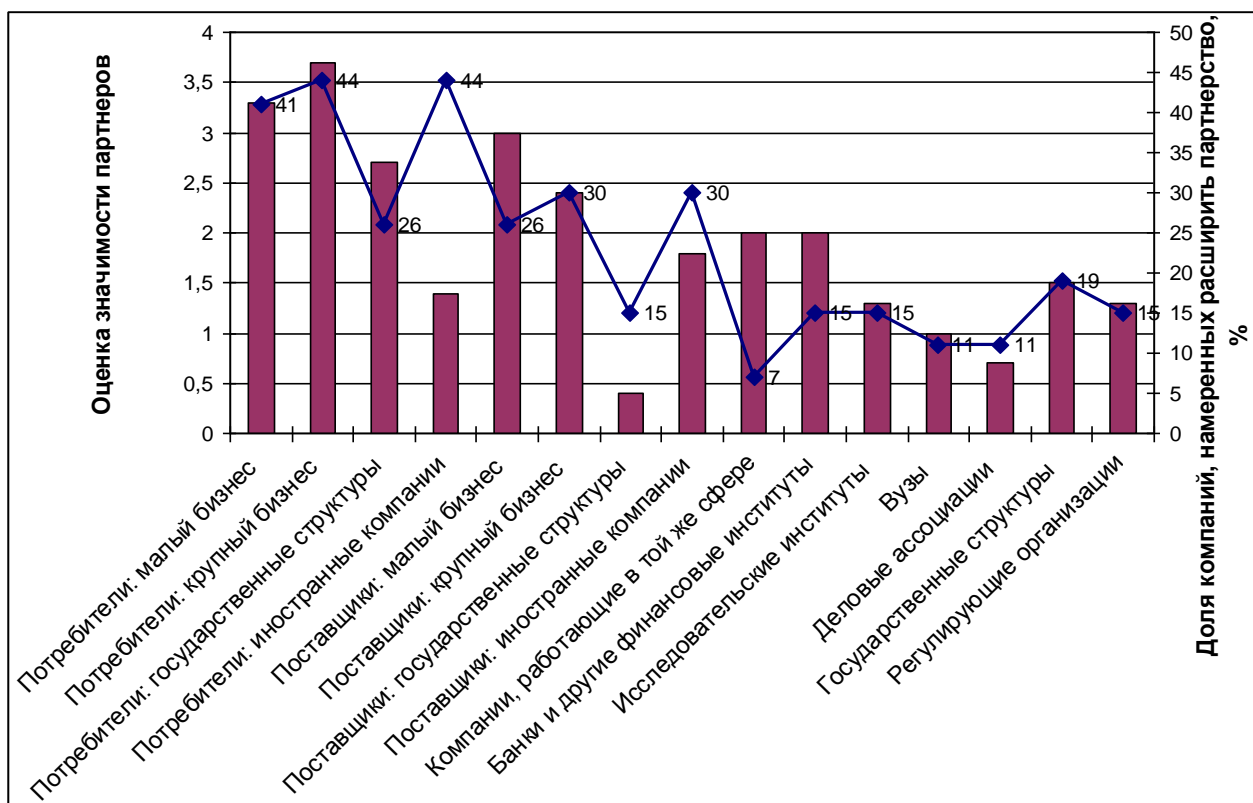


Рисунок 1.1.7.1 – Значимость и перспективы развития партнерских связей малых инновационных компаний.

Вопросы были сформулированы следующим образом:

1) Какие деловые партнеры наиболее значимы для Вашего предприятия?

Респондентам предлагалось оценить важность взаимодействий с выделенными группами партнеров по шкале от 0 (связи отсутствуют) до 5 (очень важно взаимодействие с партнером). Средние оценки представлены в виде столбиков. При ответах на данный вопрос четко выделилась тенденция к «вертикальной интеграции» - формирование цепочки потребители – малая инновационная компания – поставщики, при этом наиболее высоко среди потребителей оценен крупный бизнес, на втором месте – предприятия малого бизнеса. Привлекательным потребителем является также государственный сектор.

Вероятно, в этом отражается и особенности нашей выборки, т.к. определенная часть компаний производит специализированные наукоемкие приборы и оборудование, предназначенное, прежде всего, для предприятий и учреждений государственного сектора. Значимость крупного бизнеса и государственных структур в качестве потребителей продукции или услуг малого предприятия – это гарантированный рынок, работа под конкретный заказ. Среди поставщиков соотношение обратное – важнее малые компании – смежники, на втором месте – крупный бизнес. Это самые важные контрагенты, значимыми

являются также связи с компаниями, работающие на том же рынке, которые могут быть как конкурентами, так и партнерами по кооперации. Этот вопрос требует дополнительного исследования. Довольно низкую оценку получили исследовательские институты и вузы в качестве партнеров инновационных компаний. Возможно, это связано с тем, что малые компании продолжают использовать в производстве первоначальную технологию и /или совершенствуют уже освоенный продукт, и не нуждаются на данном этапе своего развития в притоке новых идей и компетенций, источником которых могут служить исследовательские учреждения и организации образования. Необходимо отметить, что, по данным зарубежных исследований, главными мотивами, которые приводят к кооперации с исследовательскими и образовательными организациями, являются: недостаток технологических знаний и недостаток специализированного персонала. Наши компании отмечают только недостаток квалифицированного персонала в качестве доминирующего ограничения своей деятельности, однако этот фактор не выступает достаточным мотивом для кооперации с вузами и институтами. Можно предположить, что наши инновационные компании – это прежде всего «специализированные поставщики», работающие чаще всего на нишевом рынке. Безусловно, это правило не без исключений. Если рынок только зарождается, то малые компании получают шанс вырасти вместе с рынком. Яркий пример такого развития – компания Алавар, которая вошла в состав нашей выборки, ее пример будет в дальнейшем использован в качестве примера case-study.

## 2) Планируете ли Вы развивать партнерские отношения в будущем?

В данном вопросе рассматривалось три варианта ответов: собираемся прекратить взаимоотношения с партнером; планируем сохранить; планируем существенно расширить. На рис.1.1.7.1 линией представлена доля компаний, которые предполагают существенно расширить связи с соответствующей группой партнеров. Здесь обращает на себя внимание явно выраженный интерес к расширению привлечения иностранных компаний как в качестве поставщиков необходимых ресурсов, материалов, комплектующих, оборудования, так и потребителей, формирующих заказ на инновационную продукцию. Обращает на себя внимание, что для наукоемких товаров отечественный рынок не очень привлекателен. Как отмечает один из наших респондентов: «Дело в том, что наша промышленность и энергетика могут поглотить совсем незначительное количество новых инновационных продуктов, даже стандартных». Приборы контроля могут снизить себестоимость, но зачем это делать теплоэнергетикам, если они свои затраты вносят в тарифы. То есть в рамках системы это абсолютно не нужно. Поэтому массового рынка нашего продукта практически нет».

Наши расчеты показывают, что рассмотренные виды партнерства и кооперации неоднозначно воспринимаются обследованными компаниями малого и среднего бизнеса и

также неоднозначно их влияние (с точки зрения самих фирм) на инновационную активность, в качестве индикатора которой мы брали уровень новизны продукции. Выбранные характеристики компаний и основные результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Особенности компаний выборки и влияние партнерских связей.

Характеристика компаний	Оценка влияния партнерских связей
Период создания: компании, созданные до 1998 года; в период 1998 – 2000; 2000 – 2008	Фирмы, созданные в условиях нестабильной среды, оценивают роль партнерских связей выше, чем компании, возникшие стабильной экономике.
Уровень новизны продукции: традиционная, новая для компании, новая для местного рынка, новая для России, новая в мировом масштабе	Разнонаправленное влияние.
Рынок сбыта: НСО; СФО; Россия в целом; страны СНГ; глобальный рынок	Наличие положительной связи между широтой рынка и оценкой роли партнерских связей

Описанные выше результаты получены на основе анализа данных двух раундов обследования малых инновационных компаний. Безусловно, их нужно воспринимать с учетом особенностей выборки. Есть целый ряд успешных компаний, которые высоко оценивают и партнерство с академическими институтами, и с крупным бизнесом, выступающим в качестве основного потребителя их продукции. Более того, для многих фирм, работающих в СО РАН, модель коммерциализации разработок обязательно включает академический институт как важный структурный элемент. Как правило, идейные лидеры и вдохновители создания таких компаний являются видными учеными, работавшими ранее или продолжающими работать в академической науке. При продвижении их разработок сочетаются разные формы: и академический институт, и инновационный фирмы, и временные трудовые коллективы. Каждый раз для конкретной разработки выбирается схема продвижения, которая обеспечит более высокую вероятность привлечения финансирования, соответственно подчеркивается либо академический, либо коммерческий потенциал инновации. При этом фактически исследовательская деятельность не прекращается, она остается в рамках академического института. Конечно, такая модель изначально не предполагает роста объемов, увеличения масштабов производства. Доходы от удачной коммерциализации используются для финансирования дальнейших исследований. Ядром

деятельности остаются научные результаты, идеи, на основе которых каждый раз по-новому решаются проблемы конкретного заказчика.

1.2. Формирование методической схемы и ее апробация на условном малоразмерном примере оценки эффективности крупных программ инновационного развития с помощью прикладных моделей многорегиональных систем

1.2.1. Методические рекомендации по оценке влияния инфраструктурных проектов на развитие макрорегионов

1.2.1.1 Комплекс моделей и показатели эффективности, используемые для оценки инфраструктурных проектов

Для оценки влияния последствий реализации инфраструктурного проекта на экономику макрорегионов и решения проблемы сочетания анализа инвестиционных процессов на макроэкономическом, мезоэкономическом и микроэкономическом уровнях используется комплекс взаимосвязанных моделей. Показатели эффективности проекта на макроэкономическом и региональном уровне рассчитываются на основе двух взаимосвязанных вариантов модели межотраслевых межрегиональных взаимодействий (МММВ): оптимизационной межотраслевой межрегиональной модели (ОМММ) и модели экономического взаимодействия регионов (МЭВР).

Последствия реализации инвестиционного проекта прежде всего определяются на основе традиционных показателей макроэкономического и регионального уровня в основных ценах. Для более точной оценки влияния проекта можно использовать двойственные переменные оптимизационной модели и равновесные цены модели экономического взаимодействия, которые рассматриваются в качестве эндогенно определяемых теневых цен. Для этого применяются две группы оптимальных двойственных оценок, определяемые в решении исходной модели (без учета проекта) или модифицированной модели (с проектом).

В зависимости от использования различных двойственных оценок для соизмерения выгод и затрат различаются прямой и полный макроэкономический эффект инвестиционного проекта. Прямой внутренний эффект инвестиционного проекта определяется произведением способа проекта и двойственных оценок исходной МММВ и показывает, насколько возрастает дисконтированное конечное потребление населения и государства (функционал модели), если данный способ вводится в модель с единичной интенсивностью, а оптимальный базис модели при этом остается неизменным. Аналогично можно определить прямой внешний эффект.

В целом суммарный прямой эффект, измеренный в двойственных оценках, рассчитывается на основе внутреннего и внешнего прямых эффектов. Прямые эффекты рассчитываются при условии неизменности оптимального базиса, поэтому значения двойственных переменных, используемых в качестве измерителей, остаются неизменными. В действительности реализация проекта ведет к изменению оптимального базиса экономики, в результате чего образуются полные эффекты. Их расчет связан с решением модифицированной МММВ. В действительности реализация проекта ведет к изменению оптимального базиса экономики, в результате чего образуются полные интегральные эффекты, расчет которых связан с применением двойственных оценок модифицированной МММВ.

Используемый аппарат позволяет разделить полученные эффекты – и прямой, и полный – по периодам, регионам, выделить эффекты внешней торговли, что создает широкую информационную базу для содержательного анализа.

На микроэкономическом уровне основным инструментом анализа является многопериодная имитационная модель инвестиционного проекта (МИМИП), состоящая из двух взаимосвязанных моделей: финансовой и экономической. В качестве проекта рассматривается или отдельный инвестиционный проект, или обобщенный проект, полученный в результате агрегирования комплекса проектов. МИМИП характеризуется двумя отличительными особенностями: представлением всех показателей во времени (и соответствующим расчетом традиционных дисконтированных показателей эффективности проектов) и возможностью оценки не только эффективности проекта, но и эффективности участия в проекте (и соответствующим анализом механизмов реализации проекта с выделением влияния различных инструментов государственной инвестиционной политики).

Переход от финансового анализа к экономическому осуществляется с помощью соответствующей корректировки денежных потоков от расчета финансовой (коммерческой) к расчету экономической (общественной) эффективности с учетом трех групп эффектов: налоговых, косвенных и внешних. Соответствующие расчеты включают два направления оценки инвестиционного проекта: во-первых, на основе показателей финансовой (коммерческой) эффективности; во-вторых, на основе показателей экономической (общественной) эффективности (с учетом межотраслевых и межрегиональных эффектов при производстве и использовании продукции проекта). Общая сумма косвенных и прямых внешних эффектов определяется в результате расчетов по МММВ. В качестве основного способа оценки этих эффектов предлагается использовать расчет на основе прироста за счет реализации проекта результирующего показателя целевой функции МММВ: конечного продукта в каждом из двух периодов. Распределение косвенных и внешних эффектов по

годам (в соответствии с временными интервалами многопериодной имитационной модели) осуществляется пропорционально ежегодным объемам суммарной выручки от реализации продукции проекта на базе информации финансовой МИМИП.

Взаимосвязь эффективности проекта и эффективности участия в инвестиционном проекте в рамках финансовой и экономической моделей можно представить следующим образом. Поток денежных средств от операционной и инвестиционной деятельности служит основой для расчета финансовой (коммерческой) эффективности проекта. Успешная реализация проекта зависит от правильного выбора способов его государственной поддержки и финансирования, следовательно, соответствующего перераспределения получаемых результатов и обеспечения всем участникам достаточно высокой эффективности участия в проекте.

Согласованность расчетов двух частей модельного комплекса обеспечивается за счет вспомогательных блоков инвестиционного проекта, агрегирования/деагрегирования, внешних и косвенных эффектов. Блок инвестиционного проекта содержит данные об инвестиционном проекте, по способам моделирования и измерения показателей соответствующие ОМММ, а по количеству рассматриваемых временных периодов – МИМИП. Блок учета внешних эффектов (экстерналий) определяет изменения в экономике, возникающие в результате реализации инвестиционного проекта, но не учитываемые в условиях рыночного взаимодействия. Влияние внешних эффектов учитывается за счет изменения технологических коэффициентов

#### 1.2.1.2 Алгоритм расчетов влияния крупных инфраструктурных проектов

Алгоритм расчетов по оценке влияния инвестиционного проекта на экономику макрорегионов предполагает последовательное прохождение десяти этапов:

1. идентификация проекта;
2. проведение расчетов по исходной ОМММ без учета проекта;
3. проведение расчетов по финансовой МИМИП без предоставления бюджетного финансирования;
4. формирование сопоставимых данных о проекте;
5. проведение расчетов по модифицированной ОМММ с учетом проекта;
6. расчет изменения показателей ОМММ в результате влияния проекта;
7. формирование данных для включения в экономическую МИМИП;
8. проведение расчетов по экономической МИМИП;
9. обоснование бюджетного финансирования проекта;



10. проведение расчетов по финансовой МИМИП с предоставлением бюджетного финансирования.

На рисунке 1.2.1.2.1 представлена логическая схема алгоритма проведения соответствующих расчетов. Четыре этапа (с номерами 1, 4, 7, 9) носят вспомогательный характер и выделены на схеме овальными рамками. Шесть этапов (с номерами 2, 3, 5, 6, 8, 10) являются основными и выделены на схеме прямоугольными рамками. Соответственно вспомогательные связи этапов обозначены пунктирными рамками, основные – сплошными.

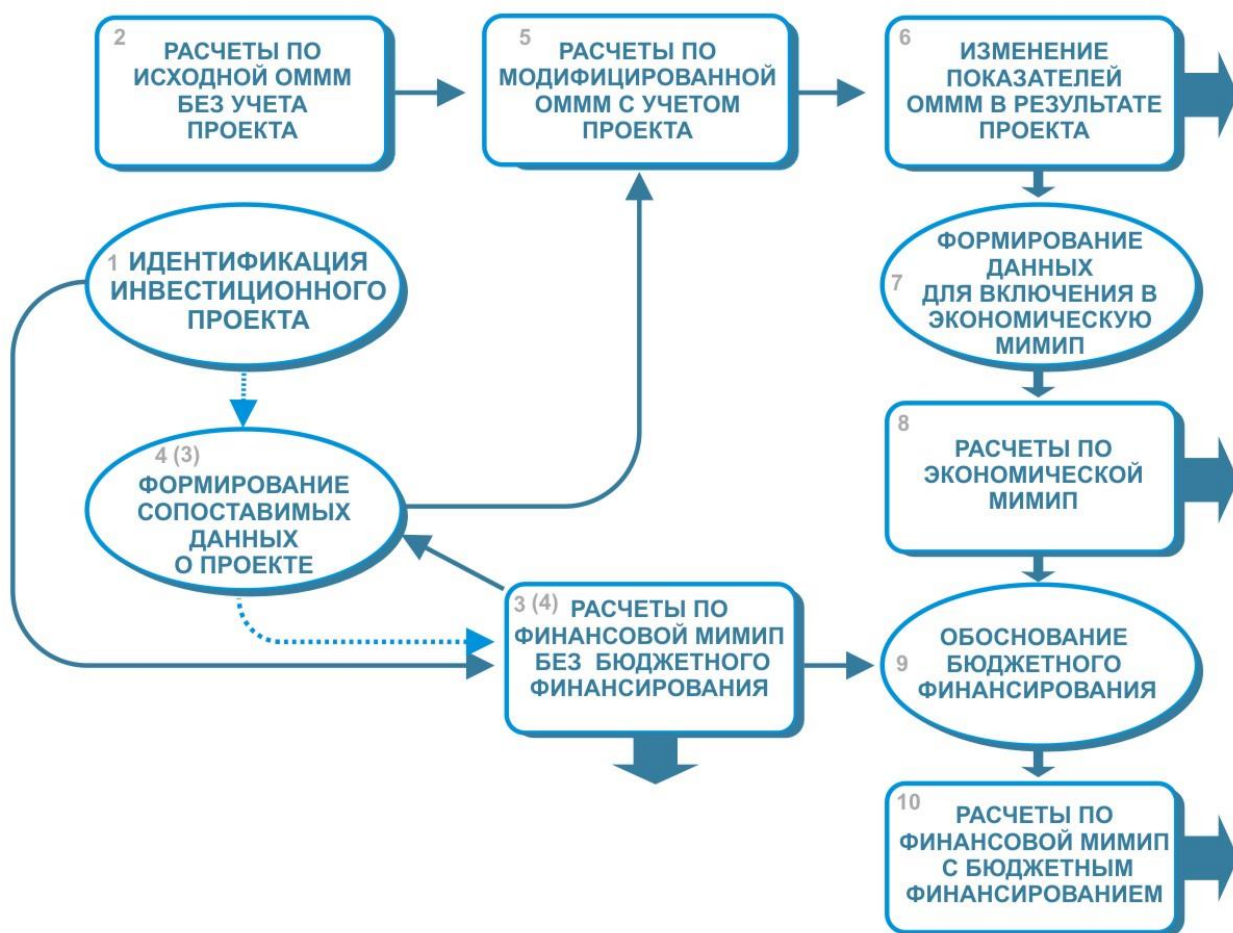


Рисунок 1.2.1.2.1 – Этапы алгоритма расчетов по оценке влияния крупного инвестиционного проекта.

#### 1. Идентификация проекта

В качестве отправной точки проведения расчетов выступает идентификация инвестиционного проекта. На данной стадии проводится краткая качественная оценка рассматриваемого проекта, включающая определение целей и задач проекта; анализ потенциальных проблем; характеристику информационной базы проекта.

Выявление потенциальных проблем и определение способов их решения проводится с учетом некоторых особенностей инвестиционных проектов, что предполагает представление

информации о сроках реализации проекта, объемах капитальных вложений, оценке эффекта масштаба, направлениях влияния проекта на развитие соответствующих территорий, политике ценообразования на предлагаемые услуги инфраструктуры.

Информационная база и соответствующие исходные данные об инвестиционных проектах в общем случае могут быть представлены в двух способах измерения, соответствующих системе показателей двух основных моделей: МИМИП и ОМММ. В рамках модельного комплекса обеспечивается возможность перехода в обоих направлениях от одного способа представления показателей инвестиционного проекта к другому.

## 2. Проведение расчетов по исходной ОМММ без учета проекта.

Расчеты по исходной ОМММ проводятся в целях прогнозирования экономического развития в условиях без реализации инвестиционного проекта, и получения количественной оценки соответствующих макроэкономических и региональных показателей. При этом используется уникальный многолетний опыт проведения таких расчетов, накопленный в ИЭОПП СО РАН.

В результате расчетов по исходной ОМММ определяются прогнозные значения основных показателей макрорегионов, в том числе объемы ВВП и ВРП, конечного продукта, объемы инвестиций в части затрат капиталобразующих отраслей, выпуска продукции каждой отрасли, перевозок продукции из одного региона в другой, объемы экспорта и импорта продукции каждой отрасли по каждому направлению, двойственные оценки продукции и ограничений модели в каждом регионе и в стране в целом.

## 3. Проведение расчетов по финансовой МИМИП в варианте без предоставления бюджетного финансирования.

Проведение расчетов по финансовой МИМИП позволяет анализировать проект с точки зрения частных участников и имеет важное значение для обеспечения заинтересованности частных инвесторов в предоставлении финансовых ресурсов для реализации инвестиционных проектов.

Определение соответствующих показателей финансовой эффективности в ситуации без предоставления бюджетных ассигнований проводится в соответствии со стандартными подходами, изложенными в соответствующих методиках.

В результате расчетов по финансовой МИМИП в варианте без предоставления бюджетного финансирования для рассматриваемого периода времени определяются прогнозные значения основных показателей инвестиционного проекта, в том числе объемы выпуска каждого вида продукции, выручка от реализации продукции на различных рынках, капитальные и текущие затраты, налоговые платежи по основным видам налогов и распределением по уровням бюджетной системы. На основе денежных потоков от

инвестиционной и операционной деятельности при заданной ставке дисконтирования рассчитываются основные показатели финансовой эффективности инвестиционного проекта. На основе денежных потоков для каждого участника при заданной ставке дисконтирования рассчитываются бюджетная эффективность проекта и показатели эффективности для основных частных участников.

#### 4. Формирование сопоставимых данных о проекте

На данном этапе обеспечивается сопоставимость исходных данных, необходимая для проведения расчетов в различных составляющих модельного комплекса. Последовательность расчетов и направления передачи информации на данном и предыдущем этапах различаются в зависимости от формы предоставления и способов измерения исходных показателей инвестиционного проекта. Сначала рассмотрим основной вариант информационной базы проекта, представленный на рисунке сплошными линиями связей между этапами. Переходные блоки должны быть написаны по одной структуре текста, только с точностью наоборот + обратное движения для другого представления формата исходных данных проекта. Проблема сопоставимости и перехода от одного к другому. Для этого при переходе от финансовой к ОМММ решаются проблемы агрегирования и перехода к другим ценам. Блок проекта нужен, чтобы потом при фиксации всех переменных на уровне проекта получился технологический способ проекта (название технологический неточное, т.к. кроме технологий материальных, капитальных и трудовых затрат в нем заложены способы потребления и транспортировки продукции, включая и межрегиональные связи, и внешнеэкономические. Построение блока инвестиционного проекта, затем включаемого в ОМММ, проводится с целью обеспечения сопоставимости расчетов по двум группам основных моделей, прежде всего по используемым ценам, классификации продукции и временных периодов. На данном этапе осуществляется построение способа инвестиционного проекта, обеспечивается представление информации в форме, позволяющей проводить расчет по выбору начала реализации проекта, а также формируются коэффициенты изменения материалоемкости и трудоемкости для учета влияния внешних эффектов реализации инвестиционного проекта.

Переход к расчетам по финансовой МИМИП требует существенного изменения формата показателей ОМММ.

#### 5. Проведение расчетов по модифицированной ОМММ с учетом проекта

Расчеты по модифицированной ОМММ проводятся в целях прогнозирования экономического развития в условиях с реализацией инвестиционного проекта и получения количественной оценки соответствующих макроэкономических и региональных показателей.

Проведение расчетов по модифицированной оптимизационной межотраслевой межрегиональной модели позволяет определить основные эндогенные решения в модельном комплексе. Она формируется на основе исходной ОМММ и изменяется за счет подключения в модель технологического способа проекта, а также изменения технологических коэффициентов соответствующего региона в результате положительных внешних эффектов при реализации проекта.

В результате расчетов по модифицированной ОМММ определяются прогнозные значения основных показателей макрорегионов, в том числе объемы ВВП и ВРП, конечного продукта, объемы инвестиций в части затрат капиталобразующих отраслей, выпуска продукции каждой отрасли, перевозок продукции из одного региона в другой, объемы экспорта и импорта продукции каждой отрасли по каждому направлению, двойственные оценки продукции и ограничений модели в каждом регионе и в стране в целом.

#### 6. Расчет изменения показателей ОМММ в результате влияния инвестиционного проекта

На данном этапе проводится сравнение прогнозируемых показателей, получаемых в результате расчетов по исходной и модифицированной ОМММ, в двух ситуациях: с проектом и без проекта.

Представление результатов расчетов по данному этапу включает изменение системы макроэкономических показателей на национальном и региональном уровне с выделением изменения объемов валового регионального продукта, показателей межрегиональных и внешнеэкономических связей; оценку полного и прямого макроэкономического эффекта инвестиционного проекта; прямых и косвенных, внутренних и внешних эффектов реализации инвестиционного проекта, измеренных в основных ценах и двойственных оценках, для рассматриваемого периода. В частности, возможность определения косвенных эффектов инвестиционного проекта и передачи соответствующих данных в имитационную модель является одним из важных результатов сочетания макроэкономического и микроэкономического анализа влияния проекта на развитие макрорегионов.

#### 7. Формирование данных для включения в экономическую МИМИП

На данном этапе проводится комплекс расчетов с целью перевода значений косвенных эффектов (полученных на основе решения ОМММ на предыдущем этапе) в форму, сопоставимую с показателями имитационной модели (для определения изменения денежных потоков при переходе от финансовой к экономической эффективности). Расчет косвенных эффектов проводится с целью перевода значений данной группы показателей (полученных на основе решения ОМММ) в форму, сопоставимую с показателями имитационной модели (для определения изменения денежных потоков при переходе от

финансовой к экономической эффективности). Общая сумма косвенных эффектов проекта рассчитывается на основе решения ОМММ, тем самым представляется в форме, необходимой для включения в экономическую МИМИП.

#### 8. Проведение расчетов по экономической МИМИП

Проведение расчетов по экономической МИМИП позволяет анализировать проект с точки зрения общества в целом и имеет важное значение для оценки макроэкономических и региональных последствий реализации инвестиционных проектов с использованием микроэкономического подхода. Представление результатов расчетов по данному этапу включает расчет системы показателей экономической эффективности проекта. Соответствующие показатели ЧПВ, ВНД и СО являются основными показателями экономической (общественной) эффективности инвестиционного проекта в измерителях МИМИП, традиционных для проектного анализа.

В результате расчетов по экономической МИМИП определяются прогнозные значения основных показателей инвестиционного проекта, аналогичных финансовой МИМИП, с выделением влияния основных факторов различия финансовой и экономической эффективности. На основе денежных потоков от инвестиционной и операционной деятельности, но уже определяемых в рамках анализа экономической эффективности, при заданной социальной ставке дисконтирования рассчитываются основные показатели экономической эффективности инвестиционного проекта.

#### 9. Обоснование необходимости бюджетного финансирования проекта

На данном этапе расчетов проводится сравнение уровня показателей финансовой и экономической эффективности, полученных из соответствующих финансовой и экономической МИМИП, и соответствующее обоснование необходимости бюджетного финансирования проекта (или отсутствия такой необходимости). Сочетание низких показателей финансовой и высоких показателей экономической эффективности служит основанием предоставления государственного финансирования и вызывает необходимость проведения новых расчетов по финансовой модели, уже с учетом предоставления проекту бюджетного финансирования. В противном случае расчеты завершаются выводом об отсутствии оснований для выделения бюджетных ассигнований рассматриваемому проекту.

#### 10. Проведение расчетов по финансовой МИМИП в варианте с предоставлением бюджетного финансирования

Расчеты по финансовой многопериодной имитационной модели инфраструктурного проекта с государственной поддержкой в форме бюджетного финансирования проводятся с целью оценки частных участников в реализации проекта в новой, более благоприятной ситуацией (по сравнению с отсутствием бюджетных ассигнований). Они базируются на

информации финансовой модели, построенной на 3 этапе, но использующей новые способы финансирования проекта с учетом бюджетных ассигнований. В результате расчетов определяется новая система показателей финансовой эффективности инвестиционного проекта. На данном этапе экспериментальные расчеты в основном аналогичны расчетам по соответствующей модели без учета государственного финансирования. Главное отличие по сравнению с 3-м этапом заключается в оценке эффективности участия в проекте в новых условиях и обосновании экономических стимулов по привлечению частных инвесторов к совместному финансированию проекта, а также анализе необходимых институциональных изменений, необходимых для успешной реализации инвестиционного проекта.

#### 1.2.2. Результаты экспериментальной апробации методических рекомендаций

##### 1.2.2.1. Характеристика основных предположений и вариантов расчетов

При проведении экспериментальных расчетов ОМММ информационная база и соответствующие исходные данные об инфраструктурных проектах формировалась в способах измерения, соответствующих системе показателей ОМММ (представленного на рисунке 1.2.1.2.1 штриховыми стрелками связей и с указанной в скобках нумерацией 3-го и 4-го этапов). Построение информационной базы расчетов базировалось на следующих предположениях. Правые части балансовых ограничений по производству и распределению транспортабельной продукции были заданы равными нулю (обычно ненулевые значения возникали при выделении фиксируемой части конечного потребления или других экзогенных составляющих распределения продукции, не учитываемых в рассматриваемых расчетах). Для расширения возможностей анализа в качестве основного использовался вариант ОМММ с эндогенным определением в проекте общих объемов связей по каждому виду транспортабельной продукции. В этом варианте фиксировались только инвестиции и производство различных видов продукции инфраструктурного проекта, соответственно рассчитывались расходы на промежуточное производственное потребление и затраты труда для реализации проекта. Одновременно суммарное использование продукции для межзональных и внешнеэкономических связей определялось эндогенно в составе общих объемов вывоза, ввоза, экспорта и импорта соответствующей продукции по соответствующим направлениям. Затем на основе полученных результатов расчетов при определенных предположениях выделялись связи по проекту. В рамках проектов не использовались возможности использования продукции для конечного потребления. Для производства продукции в проекте и в регионе размещения проекта использовался

аналогичный набор гипотез о технологиях и их изменении в результате реализации проекта. Рассмотренные особенности не носят принципиального характера и могут быть ослаблены в соответствующих вариантах, однако позволяют более ясно представить результаты экспериментальных исследований.

Варианты экспериментальных расчетов формировались по сочетанию различных проектов и применяемого для их оценки инструментария, с одной стороны, и объективных условий реализации проектов с выделением основных групп факторов, с другой стороны (см. таблицу 5). Для проведения расчетов были построены инфраструктурные проекты, носящие условный характер. Оценка последствий влияния этих проектов проводилась с помощью расчетов по модифицированной ОМММ со свободным определением направлений и объемов межзональных и внешнеэкономических связей.

Таблица 5 – Дисконтированное конечное потребление в различных вариантах расчетов (млн. руб., номер варианта)

Сценарии и факторы Проекты и способы учета рисков	Сбалансированное развитие			Дефицит транспорта		
	Инерционное развитие	Изменение технологий в проекте	Учет внешних эффектов	Инерционное развитие	Учет изменения технологий	Учет внешних эффектов
<b>Исходные варианты без проекта</b>	46248 (1)			43426 (2)		
<b>Отраслевой проект</b>	47766 (3)	<b>48035 (4)</b>	48877 (5)	44719 (6)	<b>44896 (7)</b>	45673 (8)
<b>Комплексный проект:</b>						
базовый	46762 (9)	47125 (10)	<b>48043 (11)</b>	44357 (12)	44591(13)	<b>45138 (14)</b>
пессимистический			47114 (15)			
оптимистический			48985 (16)			

Для анализа объективных условий реализации проектов сначала были сформированы два исходных варианта агрегированной ОМММ без учета инфраструктурного проекта: сбалансированный и дефицитный, соответствующие центральному сценарию относительно сбалансированного развития и пессимистическому сценарию нарастания неблагоприятных тенденций в развитии инфраструктуры.

В таблице 5 приводятся значения общего дисконтированного конечного потребления (функционала ОМММ, равного сумме дисконтированных объемов конечного потребления в последних годах первого и второго периодов) для основных вариантов расчетов, в том числе для 10 вариантов в условиях сбалансированного развития и 8 вариантов в условиях дефицита инфраструктуры. В скобках указаны номера вариантов. Жирным шрифтом выделены варианты, рассматриваемые в качестве базовых для каждого инфраструктурного проекта в условиях сбалансированного развития и дефицита транспорта.

Каждый сценарий анализировался с использованием следующих гипотез о влиянии основных факторов:

1. инерционное развитие без учета технологических изменений в проекте и регионе;
2. учет технологических изменений за счет снижения коэффициентов удельных затрат труда и материалов в рамках каждого проекта;
3. учет положительных внешних эффектов за счет сочетания роста производительности труда и снижения материалоемкости в проекте и в регионе реализации проекта.

Для каждого исходного варианта проводилась оценка последствий реализации одинакового набора инфраструктурных проектов с учетом влияния аналогичных факторов и с использованием одинакового способа определения поставок продукции. Сопоставимость расчетов обеспечивалась установлением на одном уровне суммарных объемов выпуска продукции различных отраслей и общего объема инвестиций во всех проектах. Предполагалось, что в 15-м году реализации каждого проекта суммарные объемы выпуска продукции равняются 12 млн. руб., а общая сумма инвестиций за 15 лет составляет 6 млн. руб. (без учета НДС).

#### 1.2.2.2. Анализ результатов в соответствии с этапами алгоритма расчетов

##### 1.2.2.2.1. Идентификация проектов

Расчеты по агрегированной модифицированной ОМММ с учетом инфраструктурных проектов проводились для условного малоразмерного примера (своеобразного «полигона» для отладки экономико-математического инструментария). Экономика представлена в нем в разрезе трех регионов: Запад (с ориентацией на Северо-западный и Центральный федеральные округа), Центр (Приволжский, Южный и Уральский округа), Восток (Сибирский и Дальневосточный округа); семи отраслей: две добывающие (топливные и не топливные полезные ископаемые), две перерабатывающие отрасли (инвестиционная, в том числе металлургия и машиностроение, и прочая обрабатывающая промышленность), сельское хозяйство, услуги, транспорт; двух периодов (пятилетний и десятилетний).

Для проведения расчетов было сформировано два инфраструктурных проекта, различающихся структурой выпуска продукции: отраслевой (топливный) и комплексный. Как видно из таблицы 6, проекты характеризуются значительными объемами транспорта, достигающими к 15 году уровня 3 и 4 млн. руб. для топливного и комплексного проекта, соответственно.



Оба проекта относятся к группе крупных инфраструктурных проектов, для которых характерно не только непосредственное строительство объектов инфраструктуры, но и наиболее важных сопряженных предприятий. Отраслевой проект направлен на комплексное освоение месторождений топливных полезных ископаемых в Центральном регионе. В нем опережающими темпами развивается добыча топлива (достигающая уровня 6000 млн. руб. в 15-м году реализации проекта), добыча нетопливных ископаемых (в размере 1500 млн. руб., соответственно), а также металлургия и машиностроение, обеспечивающие необходимые инвестиции (в размере 1000 млн. руб.). Одновременно выпуск прочей обрабатывающей промышленности, сельского хозяйства и услуг в отраслевом проекте не предусматривается. В комплексном проекте предполагается, что создание объектов инфраструктуры приводит к одновременному развитию ряда сопряженных производств на территории реализации проекта, что обуславливает достаточно равномерную структуру производства, представленную в таблице 6.

Таблица 6 – Объемы и структура производства в 15-м году реализации двух инфраструктурных проектов.

Отрасли		Объемы производства (в млн.руб)		Отраслевая структура производства (в %)	
		<i>Отраслевой проект</i>	<i>Комплексный проект</i>	<i>Отраслевой проект</i>	<i>Комплексный проект</i>
1	Добыча топливных ископаемых	6 000	3 000	50,0	25,0
2	Добыча нетопливных ископаемых	1 500	500	12,5	4,2
3	Металлургия и машиностроение	1 000	1 500	8,3	12,5
4	Прочая обрабатывающие промышленность	0	1 000	0,0	8,3
5	Сельское хозяйство	0	500	0,0	4,2
6	Транспорт	3 500	4 000	29,2	33,3
7	Услуги	0	1 500	0,0	12,5
	Итого	12 000	12 000	100,0	100,0

Производство всех отраслей за исключением транспорта размещается в Центральном регионе. Для транспорта предусматривается создание необходимых дополнительных мощностей в сопряженных регионах. При изменении направлений перевозок продукции в соответствующих вариантах расчетов распределение объемов выпуска транспортной отрасли по регионам перераспределяется.

Модуль модельно-программного комплекса (МПК) для работы с описанным примером реализован реализован с помощью языка Visual Basic 6.0 в среде Microsoft Office

Excel. Создан язык программирования для работы с элементарными матричными операциями, дающий средства описания пред- и послеоптимизационных вычислений, средства связи со стандартными пакетами оптимизации и отражающие базу данных в достаточно упрощенной структуре.

#### 1.2.2.2.2. Результаты расчетов по исходной ОМММ (без учета проекта)

Рассмотрим основные показатели сбалансированного и дефицитного вариантов расчетов по ОМММ без учета инфраструктурного проекта. В качестве основного использовался сценарий относительно сбалансированного развития, в котором объемы производства в транспортной отрасли определялись эндогенно в соответствии с выпуском и транспортировкой продукции других отраслей. Основные макроэкономические показатели сбалансированного варианта содержатся в таблице 1 Приложения В. Учитывая современное состояние и тенденции развития инфраструктуры в России, особый интерес представляет также анализ пессимистического сценария, который характеризуется неблагоприятными изменениями одновременно со стороны и спроса, и предложения услуг транспорта. В таблице 2 Приложения В приводятся макроэкономические показатели варианта дефицита транспорта.

Затраты на транспортировку продукции в Центральном регионе в сценарии дефицита транспорта возрастают на 30%. Одновременно вводятся ограничения на приросты объемов выпуска транспортной отрасли во всех регионах, характеризующиеся возрастающими затратами на каждый дополнительный прирост. Это приводит к снижению дисконтированного конечного потребления на 6,1%.

Основной причиной такого снижения является возросший дефицит транспорта, о чем свидетельствует изменение двойственных оценок в рассматриваемом пессимистическом сценарии по сравнению со сбалансированным. Двойственные оценки транспорта существенно возрастают во всех регионах и особенно в Центральном регионе, для которого оценка в 5-м году реализации проекта составила 1,8, вдвое превысив соответствующие оценки в Западном и Восточном регионах, а в 15-м году 1,1, превысив оценки в сопредельных регионах в 5,2 и 4,0 раза, соответственно. В сбалансированном сценарии все оценки продукции, в том числе и оценки транспорта, находятся практически на одном уровне во всех регионах (превышение двойственной оценки транспорта в Центре по сравнению со среднеарифметической оценок транспорта Запада и Востока составило 16% в 5-м году реализации проекта и на 17% в 15-м году).

#### 1.2.2.2.3. Формирование исходных данных о проекте

Для проведения расчетов экспериментальных расчетов использовалось построение исходных данных на основе системы упрощающих предположений. Для каждого инвестиционного проекта были построены 15 блоков, соответствующих числу периодов МИМИП. Были выделены основные экзогенные переменные и параметры инвестиционных проектов, в частности была задана динамика технологических способов (коэффициентов материальных, транспортных, трудовых и капитальных затрат) по регионам и отраслям, участвующим в проекте; зафиксированы объемы выпуска основных видов продукции в заключительном периоде реализации проекта и общая сумма инвестиций в основной капитал за все годы реализации проекта. Затем на основе традиционных методов экономико-математического моделирования строилась динамика объемов выпуска, инвестиций, на период жизненного цикла проекта в разрезе рассматриваемых регионов и отраслей. Информация была сформирована для того, чтобы обеспечивать достаточную гибкость для выбора соответствующего варианта модели: со свободными и фиксированными связями, с заданным или определяемым эндогенно периодом начала реализации проекта.

Важной особенностью рассматриваемого этапа с точки зрения представления исходных данных и методов согласования информационных потоков является измерение всех показателей в формате ОМММ. Непротиворечивость исходной информации об инфраструктурном проекте обеспечивается за счет ее представления в форме, используемой в модели для любого региона, в частности, измерения всех показателей в основных ценах базисного года. В результате формируется целый блок инфраструктурного проекта, легко встраиваемый в межрегиональную межотраслевую модель. Блок внешних эффектов был представлен двумя группами коэффициентов изменения технологических матриц в результате реализации инфраструктурного проекта в трех вариантах: пессимистический, оптимистический и основной. В оптимистическом варианте прогноза использовалась гипотеза о снижении удельных затрат уже в 5-м году в размере 10% для затрат труда и 2% для затрат материалов, а в 15-м году в размере 20% для трудоемкости и 7% для материалоемкости. В пессимистическом варианте 15 предполагалось, что в результате реализации проекта изменялась только производительность труда в размере 5%-го снижения удельных затрат труда в последнем году второго периода.

#### 1.2.2.2.4. Проведение расчетов по финансовой МИМИП без предоставления бюджетного финансирования

Для проведения экспериментальных расчетов по многопериодной имитационной модели из 18 основных вариантов было выделено два основных: вариант 11 комплексного проекта и вариант 7 отраслевого проекта.

Расчет финансовой эффективности показывает, что реализация рассматриваемых проектов обеспечивает получение значительного чистого дисконтированного дохода в размере 895,4 млн. руб. в отраслевом проекте при 15%-й ставке дисконтирования (или 13131,4 млн. руб. при расчете простыми методами) и 1599,5 млн. руб. (15502,5 млн. руб. без дисконтирования) в комплексном проекте. Более детальный анализ данного этапа проводится в сравнении с результатами оценки экономической эффективности.

#### 1.2.2.2.5. Результаты расчетов по модифицированной ОМММ с учетом проекта

Все основные варианты расчетов по модифицированной ОМММ с учетом инфраструктурного проекта свидетельствуют об устойчивом и достаточно сбалансированном развитии на национальном уровне при нарастании определенной неравномерности роста на региональном уровне, вызванном реализацией инфраструктурных проектов, что особенно характерно для топливного проекта.

Особенности двух рассматриваемых инфраструктурных проектов существенно влияют на отраслевую структуру производства, прежде всего в Центральном регионе. В варианте 3 по сравнению с соответствующим 1-м вариантом без проекта удельный вес добычи топливных ископаемых в 15-м году в Центральном регионе возрастает в отраслевом проекте в 6,6 раза и достигает уровня 16,1% (см. таблицу 4 Приложения В). За счет этого возрастает общий удельный вес топлива в экономике России, увеличиваясь в 2 раза. В комплексном проекте изменение структуры производства более равномерное. Наряду с аналогичным (хотя и менее выраженным) ростом удельного веса топливных (в 1,5 раза) и нетопливных (в 4,5 раза) полезных ископаемых следует отметить заметный на фоне снижения удельного веса других отраслей рост доли транспорта (в 1,1 раза).

При проведении расчетов технологические изменения в рамках каждого проекта в основных вариантах учитывались за счет снижения коэффициентов удельных затрат труда на 15% и материалоемкости на 5%. Последствия положительных внешних эффектов при

создании инфраструктурных объектов учитывались за счет сочетания роста производительности труда и снижения материалоемкости в проекте и в регионе реализации проекта в аналогичных размерах.

Для двух рассматриваемых инфраструктурных проектов возможности использования такого фактора, как снижение издержек производства за счет технологических изменений, существенно отличаются. Для отраслевого топливного проекта достаточно реалистичным является инерционный развития, соответствующий варианту 3 экспериментальных расчетов. При этом наиболее значимая часть источников роста связана с благоприятным соотношением цен на мировом рынке и соответствующим расширением экспорта в результате реализации рассматриваемого инфраструктурного проекта. Этим объясняется такой значительный прирост дисконтированного конечного потребления в варианте 3 по сравнению с исходным вариантом без проекта в размере 1538 млн. руб., или 3,3%, несмотря на применение традиционных технологий. Тем не менее снижение затрат в рамках рассматриваемого проекта (см. вариант 4 таблицы 5) представляется обоснованным и используется для основного прогноза. В этом варианте обеспечивается прирост функционала по сравнению с сопоставимым вариантом без проекта 1807 млн. руб., или 3,9%. Вариант 5 для отраслевого проекта можно рассматривать как наиболее оптимистичный, но маловероятный, поскольку условий для возникновения внешних эффектов при односторонней структуре выпуска продукции практически не возникает. Тем не менее, в качестве благоприятного предельного случая для отраслевого проекта можно рассматривать характерный для данного варианта 5 прирост общего конечного потребления в условиях сбалансированной экономики до 5,7%.

Наоборот, для комплексного проекта в случае инерционного развития в варианте 9 возникает совсем небольшой прирост функционала в размере 534 млн. руб., составивший 1,2% к исходному варианту без проекта. Особенности проекта позволяют использовать фактор не только снижения затрат в рамках проекта и обеспечить переход к варианту 10, но и рассчитывать на значительные выгоды перелива и соответствующее снижение затрат как минимум в пределах всего региона размещения проекта. При учете возможностей снижения затрат труда и материалов за счет применения в проекте более совершенных производственных технологий конечное потребление в соответствующем варианте 10 возрастает на 897 млн. руб., а при дополнительном учете в варианте 11 фактора внешних эффектов на 1815 млн. руб. В том числе общий прирост функционала за счет снижения затрат составляет 1281 млн. руб. Это обеспечивает прирост дисконтированного конечного потребления на 3,9% и позволяет увеличить функционал до уровня, несколько превышающего соответствующий показатель основного варианта 4 для отраслевого проекта.

Соответствующий вариант 11 рассматривается в качестве основного для комплексного проекта.

Для этого основного варианта были сформированы варианты неблагоприятных и благоприятных изменений условий реализации комплексного проекта при одновременном воздействии факторов совершенствования в проекте технологий и внешних эффектов. При этом основной вариант использовался в качестве базового, по сравнению с которым были построены пессимистический и оптимистический варианты. В результате реализации пессимистического варианта 15 (с 5%-м снижением удельных затрат труда в последнем году второго периода) дисконтированное конечное потребление в пессимистическом варианте уменьшилось на 1,9% по сравнению с 11-м вариантом (основным для комплексного проекта) и на 1,4% по сравнению с 1-м исходным без учета проекта.

В результате реализации оптимистического варианта 16 общее конечное потребление возросло на 2757 млн. руб., или 6,0% по сравнению с исходным вариантом без учета проекта. Несмотря на такой значительный рост макроэкономических показателей, используемые в оптимистичном варианте предположения достаточно реалистичны. Полученные результаты позволяют делать вывод о существенно более высокой эффективности технологических изменений для инфраструктурных проектов комплексного характера.

#### 1.2.2.2.6 Расчет изменения показателей ОМММ в результате влияния проекта

Изменение макроэкономических показателей в результате воздействия рассматриваемых инфраструктурных проектов относительно небольшое. Остановимся на оценке проектов в условиях сбалансированного развития. Реализация 10 основных проектов, представленных в таблице 5, обеспечивает прирост максимизируемой части конечного потребления в последнем году второго периода в пределах 887-2757 млн. руб., что составляет 1,9-6,0% по отношению к общему объему дисконтированного конечного потребления в исходном варианте 1. Основные макроэкономические показатели основных вариантов 4 и 11 для отраслевого и комплексного проектов в последнем 15-м году второго периода представлены в таблице 3 Приложения В, объемы и структура производства для этих вариантов - в таблице 4 Приложения В.

Показатель валового внутреннего продукта в варианте 4 с отраслевым проектом в 15-м году увеличился по сравнению с аналогичным показателем исходного варианта на 768, 9 млн. руб. и на 2070,0 млн. руб. в 5-м году, что составило 1,1% и 4,9% по отношению к общему объему ВВП исходного варианта. В варианте 11 с комплексным проектом ВВП

возрос на 3532,3 млн. руб. в 15-м году и на 1563,2 млн. руб. в 5-м году, что составило 4,8% и 3,7% по отношению к общему объему ВВП исходного варианта, соответственно.

На уровне регионов влияние проекта существенно выше. Валовой региональный продукт в Центральном регионе в варианте с отраслевым проектом по сравнению с исходным вариантом увеличился в 5-м году на 1429,1 млн. руб. (или 4,9% к ВРП исходного варианта), а в Восточном регионе в 5-м году произошло заметное снижение ВРП в размере 1204,9 млн. руб. (-9,6 %, соответственно). В варианте с комплексным проектом ВРП в Центральном регионе по сравнению с исходным вариантом увеличился в 15-м году на 3693,7 млн. руб. (или 14,6% к ВРП исходного варианта) и на 1024,7 млн. руб. (или 6,8% к ВРП исходного варианта).

#### Оценка проектов в условиях дефицита транспорта

Влияние инфраструктурных проектов на макроэкономические показатели России в целом для сценария дефицита транспорта также небольшое. Последствия реализации 8 основных проектов данного сценария (см. таблицу 5) приводит к приросту дисконтированной части конечного потребления в 15-м году в пределах от 2,1% до 5,2% к значению целевой функции в исходном варианте 2 без проекта. Макроэкономические показатели основных вариантов отраслевого (вариант 7) и комплексного (вариант 14) проектов представлены в таблице 5 Приложения В для 15-го года второго периода, соответствующие показатели объемов и структуры производства – в таблице 6 Приложения В. Кроме того, для рассматриваемых основных вариантов 7 и 14 в Приложении В приводятся объемы и структура производства ОМММ с учетом каждого из инфраструктурных проектов в 5-м году их реализации.

Показатель валового внутреннего продукта в варианте 7 отраслевого проекта увеличился по сравнению с аналогичным показателем исходного варианта в 15-м году на 1,1% и 4,9%. В варианте 14 с комплексным проектом ВВП возрос на 247,8 млн. руб. в 15-м году и на 1135,2 млн. руб. в 5-м году, что составило 0,89 и 3,4% по отношению к общему объему ВВП исходного варианта, соответственно.

Отраслевая структура производства за счет реализации двух рассматриваемых инфраструктурных проектов в условиях дефицитного и сбалансированного сценариев также изменилась в аналогичных направлениях. Как видно из таблицы 6 Приложения В, в обоих основных вариантах для отраслевого и комплексного проектов наблюдается значительный рост удельного веса добычи топливных и нетопливных ископаемых, прежде всего в отраслевом проекте. В Центральном регионе в 15-м году реализация отраслевого проекта приводит к увеличению доли добычи топлива в варианте 7 по сравнению с соответствующим исходным 2-м вариантом в 4,0 раза, а доля добычи нетопливных полезных ископаемых – в

2,3 раза. В комплексном проекте соответствующий рост долей составил в 3,6 раза и 2,0 раза, соответственно. Одновременно реализация инфраструктурных проектов приводит к увеличению по сравнению с вариантом без проекта удельного веса транспорта: в отраслевом проекте в 1,8 раза, а в комплексном проекте - в 1,3 раза.

Несмотря на существенное изменение объективных условий реализации инфраструктурных проектов, общая величина приростов макроэкономических показателей по сравнению с соответствующим исходным вариантом без учета проекта практически совпадает для сопоставимых проектов и факторов. Для комплексного проекта общий прирост дисконтированного конечного потребления в основном варианте 14 ОМММ по сравнению с соответствующим вариантом без проекта составляет 1712 млн. руб. или 3,9% по сравнению с сопоставимым вариантом 2 без проекта. Темп прироста полностью совпадает с аналогичным показателем сбалансированного сценария. Однако влияние различных факторов на его получение существенно отличается при неблагоприятном изменении внешних условий реализации проекта. Представим общий прирост как сумму приростов в варианте 12 инерционного развития без изменения издержек (равного 2,1%), в варианте 13, учитывающего технологические изменения в самом проекте (равного 0,5%) и в варианте 14, учитывающего также технологические изменения, возникающие за счет внешних эффектов в регионе размещения проекта (равного 1,3%). В отличие от сбалансированного сценария, в котором на долю технологических изменений приходилось 70,6%, вклад фактора снижения затрат сократился до 54,4%. В условиях дефицитной экономики (в данном случае определяемой развитием инфраструктуры) основные результаты в большей мере связаны с использованием прямой возможности расшивки узких мест, а не с институциональными и технологическими изменениями. Для отраслевого проекта изменение объективных условий в меньшей мере повлияло на соотношение влияния рассматриваемых факторов. В основном варианте 7 решения ОМММ с учетом отраслевого проекта конечное потребление увеличилось на 3,4% по сравнению с соответствующим вариантом 2 без проекта, в том числе на 3,0% за счет реализации проекта в условиях инерционного развития и на 0,3% за счет снижения трудоемкости и материалоемкости в рамках проекта.

Для двух рассматриваемых инфраструктурных проектов возможности использования такого фактора, как снижение издержек производства за счет технологических изменений, существенно отличаются. Для отраслевого топливного проекта достаточно реалистичным является инерционный вариант развития. При этом наиболее значимая часть источников роста связана с благоприятным соотношением цен на мировом рынке и соответствующим расширением экспорта в результате реализации рассматриваемого инфраструктурного проекта.



### Оценка прямого и полного эффектов инфраструктурных проектов

Общая оценка последствий реализации инфраструктурного проекта в каждом варианте расчетов на проводилась на основе оптимальных двойственных оценок в рассматриваемом и соответствующем базовом вариантах расчетов. Прямой эффект каждого проекта определяется в результате скалярного умножения технологического способа проекта на вектор оптимальных оценок ингредиентов модели, полученный из соответствующего варианта решения ОМММ без учета проекта. Он показывает, насколько возрастет дисконтированное конечное потребление в двух периодах, если данный способ ввести в модель с единичной интенсивностью, а оптимальный базис при этом не изменится. Полный эффект рассчитывается аналогично, но на основе эндогенных оптимальных двойственных оценок рассматриваемого варианта. Полученные результаты оценки приводятся таблице 6 Приложения В.

Макроэкономический эффект от реализации всех проектов в целом по России от 81,5 до 1391,4 млн. руб. для прямого эффекта и от 1545,4 до 2982,4 млн. руб. для полного эффекта. Однако общий эффект крайне неравномерно распределяется между регионами. Во всех вариантах наибольшая часть эффектов приходится на Центр как регион размещения проекта. Небольшой, но как правило положительный эффект обеспечивается в Восточном регионе.

Результаты оценки прямого и полного эффектов проектов существенно различаются, прежде всего, отражая изменение системы экономических оценок. Особенно заметное различие возникает для вариантов пессимистического сценария, в которых снижение дефицитности транспорта и соответствующее изменение двойственных оценок приводит к прямо противоположным результатам оценки проектов. Например, в варианте 14 в соответствии с прямым эффектом комплексный проект оценивается как неприемлемый для Центрального региона. Однако при использовании новой системы оценок, полученных в результате решения ОМММ с учетом проекта, результат оценки изменяется на противоположный и свидетельствует о высокой эффективности проекта для региона. Несмотря на существенное влияние способов измерения показателей, основу определения последствий реализации проекта составляют особенности развития внешнеэкономических связей в каждом из вариантов и соответствующие сальдо технологического способа проекта.

#### 1.2.2.2.7. Формирование данных для включения в экономическую МИМИП

Для проведения расчетов по имитационной модели на основе сравнения расчетов по модифицированной и исходной ОМММ были рассчитаны приросты общей суммы

косвенных эффектов на основе изменения конечного потребления в двух вариантах: вариант 11 комплексного проекта, реализующегося в условиях сбалансированного развития, и вариант 7 отраслевого проекта, реализующегося в условиях дефицита транспорта.

Для варианта 11 общая сумма прироста конечного продукта составила 2795 млн. руб., в том числе за счет внутренних косвенных эффектов 877 млн. руб., или 48,9% общего прироста, и 918 млн. руб. за счет косвенных внешних эффектов.

Для варианта 7 общая сумма прироста конечного продукта составила 1470 млн. руб., и весь прирост обеспечивался за счет внутренних косвенных эффектов. Гипотетический оптимистичный вариант с возможностью использования внешнего эффекта в тех же размерах, что и для варианта сбалансированного развития, могла бы привести к приросту конечного продукта и соответствующих косвенных эффектов на 2247 млн. руб.

Соответствующие объемы прироста косвенных эффектов были переданы в МИМИП и распределены по времени в соответствии с динамикой выручки от реализации продукции.

#### 1.2.2.2.8 Результаты расчетов по экономической МИМИП

Для двух основных вариантов был проведен одновременный расчет трех групп показателей финансовой и экономической эффективности двух проектов, прежде всего чистой приведенной стоимости (NPV), внутренней нормы доходности и срока окупаемости.

Таблица 7 – Основные показатели финансовой и экономической эффективности инфраструктурных проектов.

Показатели	Финансовая эффективность		Экономическая эффективность	
	Отраслевой проект	Комплексный проект	Отраслевой проект	Комплексный проект
Чистый дисконтированный доход, млн. руб. ( $r = 0\%$ )	13131,4	15502,5	92318,6	63870,4
Чистый дисконтированный доход, млн. руб. ( $r = 15\%$ )	895,4	1599,5	19847,4	13186,3
Внутренняя норма доходности, %	19,1%	22,1%	60,7%	52,0%
Срок окупаемости с дисконтированием, годы	8,8	8,2	5,7	6,2
Срок окупаемости без дисконтирования, годы	5,4	5,1	5,1	4,7

В таблице 7 представлены результаты оценки соответствующих показателей за 15 лет осуществления проектов при ставке дисконтирования  $r$ , установленной на уровне 15%.

#### 1.2.2.2.9. Обоснование бюджетного финансирования проекта

Результаты одновременной оценки и финансовой, и экономической эффективности показывают, что в рамках экономической МИМИП достигаются значительно более высокие показатели. Чистая приведенная стоимость, рассчитанная при 15%-й ставке дисконтирования в рамках экономической эффективности, достигает уровня 19847,4 млн. руб. в отраслевом проекте и 13186,3 в комплексном проекте. Тем самым показатели экономической эффективности превышают показатели соответствующие финансовой эффективности в 22,2 раза в отраслевом проекте и в 8,2 раза в комплексном проекте.

Внутренний уровень доходности в рамках экономической эффективности составляет 60,7% в отраслевом проекте и 52,0% в комплексном проекте, что значительно превышает соответствующие показатели финансовой эффективности 19,1% и 22,1%, и тем более нормативный 15%-й уровень.

На рисунках 1.2.2.2.9.1 и 1.2.2.2.9.2 приведена динамика накопленной чистой приведенной стоимости (рассчитанного нарастающим итогом) для анализа финансовой и экономической эффективности для отраслевого и комплексного проектов, соответственно.

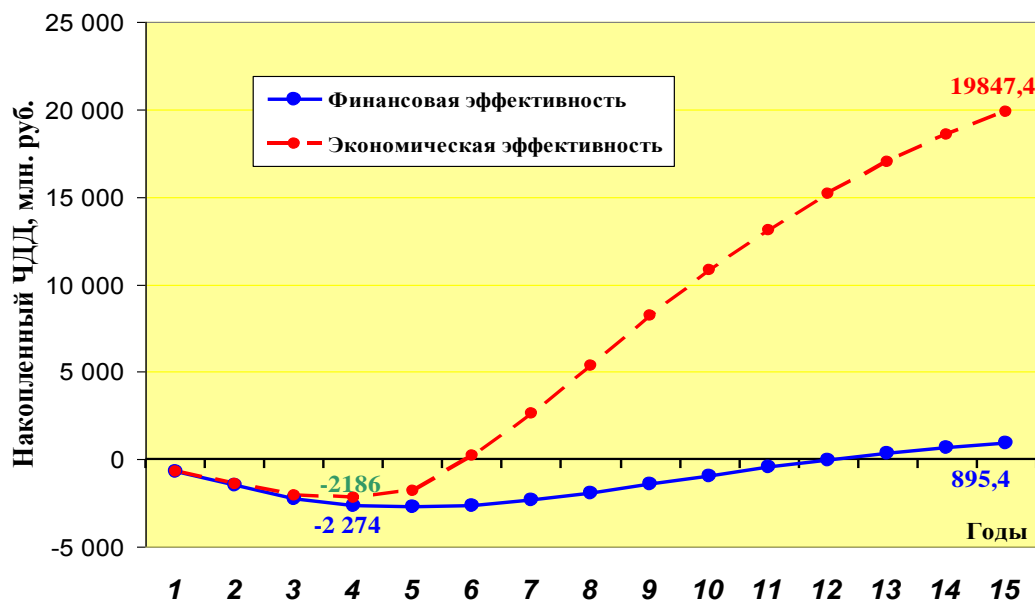


Рисунок 1.2.2.2.9.1 – Динамика накопленной чистой приведенной стоимости в рамках анализа финансовой и экономической эффективности в отраслевом проекте

( $r=15\%$ , млн. руб.).

На различие оценок финансовой и экономической эффективности оказали влияние следующие основные факторы. Возникающее за счет реализации проекта увеличение объемов конечного потребления, характерное для решения модифицированной ОМММ, приводит при реализации отраслевого проекта к образованию положительных косвенных эффектов в размере 6986,0 млн. руб., в том числе 237,3 млн. руб. в первом периоде и 6748,7 млн. руб. во втором периоде. В комплексном проекте косвенные эффекты составили 3437,8 млн. руб., в том числе 465,0 млн. руб. в первом периоде и 2972,8 млн. руб. во втором периоде.

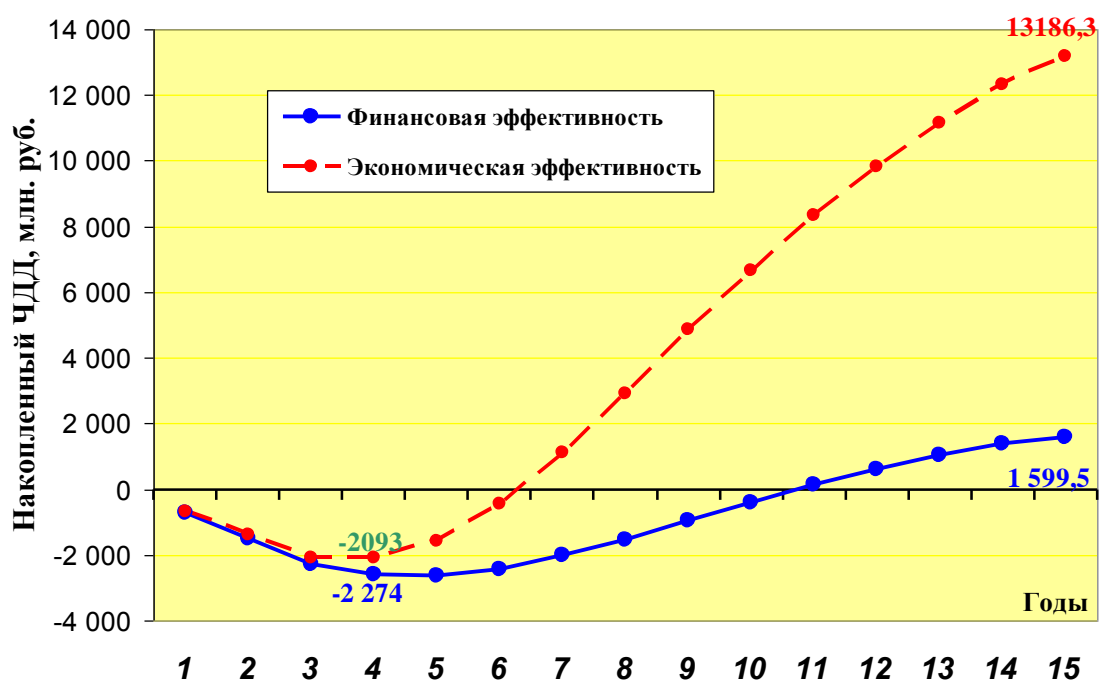


Рисунок 1.2.2.2.9.2 – Динамика накопленной чистой приведенной стоимости в рамках анализа финансовой и экономической эффективности в комплексном проекте ( $r=15\%$ , млн. руб.).

Результаты количественной оценки основных эффектов и распределение общего эффекта от реализации проекта по основным факторам, приводящим к различию финансовой и экономической эффективности, приводятся в таблице 8 с использованием показателя чистой приведенной стоимости (NPV). Каждый эффект оценивался в денежном выражении и по отношению к NPV для общественной эффективности при 15%-й ставке дисконтирования.

Таблица 8 – Различие чистой приведенной стоимости (NPV) в рамках финансовой и экономической эффективности проекта ( $r = 15\%$ ).

Показатели	Отраслевой проект		Комплексный проект	
	Объем, млн. руб.	Структура, %	Объем, млн. руб.	Структура, %
<i>Финансовая эффективность</i>	895,4	4,5%	1599,5	12,1%
Косвенные эффекты	4445,8	22,4%	2517,2	19,1%
Налоговые эффекты	14506,2	73,1%	9069,0	68,8%
<i>Экономическая эффективность</i>	19847,4	100,0%	13186,3	100,0%

Два рассматриваемых фактора экономической эффективности взаимно дополняют друг друга. В целом, для проекта возникает существенный разрыв между финансовой и экономической эффективностью, что служит основанием для выделения государственной поддержки данному проекту в форме бюджетного финансирования вложений в акционерный капитал.

#### 1.2.2.2.10 Проведение расчетов по финансовой МИМИП с предоставлением бюджетного финансирования

В обоих проектах за счет бюджетных ассигнований финансируется 40% инвестиций. Это позволяет существенно повысить финансовую эффективность обоих проектов (см. данные таблицы 9). Поскольку экономическая эффективность при изменении

Таблица 9 – Различие чистой приведенной стоимости (NPV) в рамках финансовой эффективности проекта без предоставления и с предоставлением бюджетных ассигнований ( $r = 15\%$ )

Показатели финансовой эффективности	Отраслевой проект		Комплексный проект	
	Объем, млн. руб.	Структура, %	Объем, млн. руб.	Структура, %
Вариант без предоставления бюджетных ассигнований	895,4	4,5%	1599,5	12,1%
Вариант с предоставлением бюджетных ассигнований	2431,7	12,3%	3135,8	23,8%

финансирования остается неизменной, из приведенных в таблице 9 данных ясно видно, как заметно возрастает финансовая ЧПС по отношению к вариантам без предоставления бюджетного финансирования то в абсолютном, и в относительном выражении: в отраслевом проекте в 2,7 раза, в комплексном проекте в 1,96 раза.

Это позволяет сделать вывод о том, что предоставление бюджетного финансирования создает достаточные стимулы для частных участников в реализации обоих проектов.

### 1.3. Разработка методики комплексной оценки пространственных трансформаций экономики РФ

Данный отчет содержит результаты 4-го этапа исследований по направлению «Модели прогнозирования пространственных трансформаций экономики России в условиях сценария ее модернизации». Общий план работ был разбит на следующие этапы.

1. Разработка методики построения сопоставимых массивов региональных индикаторов.
2. Разработка методики построения упорядоченной системы региональных кластеров в пространстве региональных индикаторов, измерения их мощности и внутренней структуры.
3. Разработка комплекса иерархических расчетов (национальная экономика-федеральные округа-макрорегионы-субъекты РФ) основных прогнозных показателей и индикаторов развития многорегиональной системы РФ.
4. Синтез п.1-3. Разработка методики комплексной оценки пространственных трансформаций экономики РФ
5. Проведение и анализ серий прикладных расчетов, оценка трансформаций пространственной структуры РФ на период до 2030г в рамках сценарных условий модернизации экономики РФ

Комплексная оценка территориальных сдвигов содержит следующие этапы:

- формирование массивов исходных и прогнозных показателей и индикаторов, достаточно полно и адекватно раскрывающих социально-экономическое развитие регионов страны.
- построение оценок степени межрегиональных различий и желаемых уровней изменения региональных индикаторов (или их части), системно определяющих изменение общего уровня межрегиональной дифференциации и территориальных сдвигов в разных сценариях социально-экономического развития страны;
- выделение в пространстве региональных индикаторов системы упорядоченных региональных кластеров, изучение их эволюции и закономерностей межкластерных переходов;
- построение обобщающих оценок пространственных трансформаций экономики РФ.

Операционные блоки методики были разработаны на предыдущих этапах исследования по теме и отражены в соответствующих отчетах 2010 и 2011 годов. Данный отчет содержит материал, демонстрирующий работоспособность этой методики на примере анализа изменений территориальной структуры экономики за период 2008-2011 годы. На

заключительном этапе методика будет применена для оценки трансформации пространственной структуры РФ на период до 2030г в рамках сценарных условий модернизации экономики РФ

Обнародованная в 2011г оперативная статистика социально-экономического развития регионов РФ в 2010г ([www/gks.ru](http://www/gks.ru), обращение 04.03.2012) позволяет получить за период 2008-2010гг оценки выхода регионов России из глубокого спада, порожденного мировым финансовым кризисом 2008г и изменения пространственной структуры экономического развития. По каждому представленному в табл.1 виду экономической деятельности и каждому субъекту РФ был рассчитан индекс его физического роста в 2010г по отношению к 2008г. Затем для каждого федерального округа было подсчитано число регионов с индексом не ниже 100%. Результаты представлены в табл.10, а усредненные оценки по всем видам экономической деятельности приведены на рис.1.3.1.

Таблица 10 – Число регионов в округе, превысивших по итогам 2010г уровень 2008г в разрезе видов экономической деятельности.

	ЦФО	СЗФО	ЮжФО	СКФО	ПрФО	УрФО	СФО	ДВО
<b>Регионов в округе</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>9</b>
Промышленность	5	5	2	5	6	2	7	7
Добыча полезных ископаемых	5	5	2	3	9	2	8	7
Обрабатывающие производства	4	2	3	6	5	3	7	7
Пр-во и распределение Э\э,Г,В	7	5	1	4	3	3	5	3
Сельское хозяйство	1	5	2	6	0	3	8	5
Строительство	6	3	1	2	3	0	3	4
Оборот розничной торговли	12	6	5	7	8	1	3	8
Платные услуги	11	5	6	6	10	4	6	9
Инвестиции в основной капитал	9	2	1	3	1	2	4	5
Реальные доходы	15	7	5	6	13	2	6	6

Здесь ЦФО – Центральный федеральный округ, СЗФО – Северо-Западный федеральный округ, ЮжФО – Южный федеральный округ, СКФО – Северо-Кавказский федеральный округ, ПрФО – Приволжский федеральный округ, УрФО – Уральский федеральный округ, СФО – Сибирский федеральный округ, ДВО – Дальневосточный федеральный округ

Масштабы восстановления экономического роста наиболее заметны в Северо-Кавказском и Дальневосточном округах (в них лишь треть субъектов РФ не достигли к концу 2010г уровня 2008г). В остальных федеральных округах восстановление можно отметить в лучшем случае для каждого второго региона (рис.1.3.1).



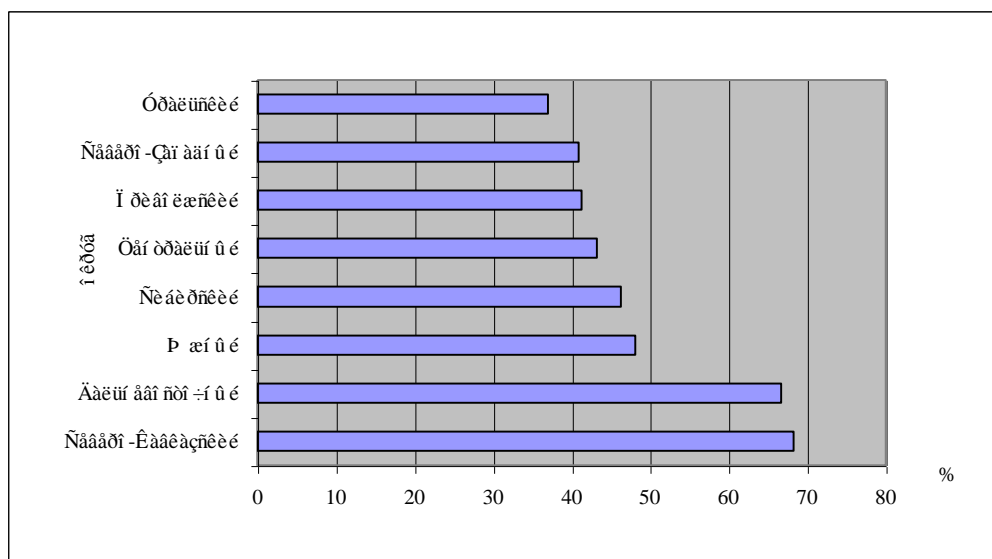


Рисунок 1.3.1 – Средняя оценка восстановления уровня 2008 г.

Собственно масштабы роста и снижения показателей развития по федеральным округам представлены в табл. 11.

Таблица 11 – Показатели роста в 2009-2010 г. в разрезе федеральных округов, % к 2008 г.

Виды деятельности	РФ	ЦФО	СЗФО	ЮжФО	СКФО	ПрФО	УрФО	СФО	ДВО
Добыча полезных ископаемых	103,0	91,5	103,6	95,0	81,2	107,8	99,1	115,1	111,0
Обрабатывающие производства	94,8	90,9	93,2	97,1	118,7	96,7	97,3	98,9	125,5
Пр-во и распределение электроэнергии, газа, воды	100,0	101,5	103,0	100,2	99,5	98,4	99,6	100,4	98,0
Строительство	86,3	87,9	86,9	106,9	101,0	87,2	84,6	81,8	102,3
Инвестиции в осн. капитал	89,4	78,0	89,4	101,5	90,0	83,1	93,9	88,8	105,1
Оборот розничной торговли	99,3	102,5	100,3	107,9	116,0	100,0	93,6	92,2	104,1
Платные услуги	97,2	91,9	96,0	103,6	108,0	101,8	99,9	93,8	108,6
Реальные доходы	104,8	108,3	109,5	109,3	106,0	105,5	96,1	95,5	106,3
СрИнд	96,7	93,6	97,5	102,6	101,8	97,2	95,4	95,4	107,3
ИндМин	86,3	78,0	86,9	95,0	81,2	83,1	84,6	81,8	98,0

По субъектам РФ масштабы спада и уровни роста заметно отличаются (табл.12). С одной стороны, среди регионов есть такие, итоги развития которых к 2011г, остаются вдвое ниже уровня 2008г (г. Санкт-Петербург по добыче полезных ископаемых, 39,5%, что возможно объясняется особенностями действующей системы статучета; Курганская обл.- 48,3% по виду деятельности «строительство»; Архангельская обл. – 49,7% по показателю «инвестиции в основной капитал» и др.), табл.13.

Таблица 12 – Диапазоны интервалов роста показателей развития регионов РФ за 2009-2010г, %.

Виды экономической деятельности	По полной совокупности регионов	Без маргинальных групп (лидеров и аутсайдеров)
Добыча полезных ископаемых	39,5 – 187,6	59,0 – 123,0
Обрабатывающие производства	58,4 – 164,4	85,8 – 119,0
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	73,0 – 122,4	77,3 – 108,7
Сельское хозяйство	65,5 – 151,0	61,9 – 114,9
Строительство	48,3 – 228,7	65,9 – 126,2
Инвестиции в основной капитал	49,7 – 228,7	93,3 – 110,8
Оборот розничной торговли	76,0 – 147,2	93,3 – 109,8
Платные услуги	74,4 – 130,1	93,3 – 109,3
Реальные доходы	81,8 – 129,6	93,5 – 113,4

С другой стороны, можно отметить в отдельных регионах всплески экономической активности, заметно превышающие уровень 2008г (в Еврейской авт.обл. – это добыча полезных ископаемых (187,6% к 2008г), строительство (228,7%) и инвестиции в основной капитал (175,7%); в Новгородской области – это сельское хозяйство (151,0%); в Приморском крае – это инвестиции в основной капитал –204%; в Чеченской республике – это оборот розничной торговли (147,2%) и платные услуги (130,1); в Республике Адыгея – рост реальных доходов населения (129,6), табл. 13. Общий диапазон вариации темпов роста и падения по регионам и видам экономической деятельности представлен в табл. 12. Последний столбец этой таблицы характеризует вариацию темпов роста группы регионов, без рассмотренных отдельно маргинальных групп – лучших и худших «десяток» по каждому виду деятельности. В так выделенном «серединном кластере», разбросы регионов по темпам развития в 2009-2010гг значительно ниже, составляя в среднем плюс минус 10-12% от уровня 2008г, табл. 12.

Основной вывод из анализа таблиц 12 –14 состоит в том, произошедшие потрясения мировой финансовой системы не привели к системному кризису в реальном секторе экономики РФ, что неминуемо бы отразилось для ряда субъектов РФ обвальным падением их развития по большинству наиболее значимых показателей. Из анализа данных табл. 13 видно, что по итогам развития в 2009-2010 гг. выделяется 58 регионов-аутсайдеров, т.е. таких, что попали в «замыкающие десятки» хотя бы по одному показателю. Из них лишь 6 вошли в разряд худших по 3-м показателям, 19 – по 2-м, а 33 региона попали в эту группу по одному разу.

Таблица 13 – Маргинальные группы регионов по видам экономической деятельности (аутсайдеры).

Показатель	Регионы
Добыча полезных ископаемых	Тверская обл.(59,0), Вологодская обл.(58,2),Ивановская обл.(57,8), Ростовская обл.(56,1), Алтайский край (55,7), Орловская обл.(54,6), Республика Алтай (54,4), Московская обл.(50,9), Костромская обл.(50,3), г.Санкт-Петербург(39,5)
Обрабатывающие производства	Нижегородская обл.(85,8), Ярославская обл.(85,1), Орловская обл.(84,3), Чувашская Республика (82,0), г.Санкт-Петербург (81,9), г.Москва (81,9), Оренбургская обл.(81,6), Самарская обл.(79,5), Забайкальский край(68,0), Республика Ингушетия (58,4)
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	Карачаево-Черкесская Респ.(91,2), Респ.Адыгея (90,2), Курганская обл. (88,6), Республика Бурятия (88,5), Тамбовская обл. (88,3), Пензенская обл.(88,3), Республика Мордовия (85,1), Рязанская обл.(79,6), Республика Хакасия (74,1), Республика Калмыкия (73,3)
Сельское хозяйство	Курская обл. (77,3), Пензенская обл.(76,7), Саратовская обл.(75,2), Ульяновская обл.(74,4), Воронежская обл.(73,1), Тамбовская обл.(72,7), Оренбургская обл.(71,3), Республика Татарстан (69,1), Республика Башкортостан (67,4), Самарская обл.(65,5)
Строительство	Архангельская обл.(61,9), Удмуртская Республика (61,4), Кабардино-Балкарская Республика (60,7), Чувашская Республика (60,5), Астраханская обл.(59,9), Кировская обл.(59,8), Чукотский авт.окр.(57,8), Забайкальский край (53,0), Калининградская обл.(49,9), Курганская обл.(48,3)
Инвестиции в основной капитал	Республика Башкортостан (65,9), Калининградская обл.(65,2), г.Москва (64,9), Рязанская обл. (64,5), Мурманская обл.(63,8), Московская обл.(63,5), Республика Саха (Якутия), (62,7), Кировская обл.(62,4), Чукотский авт.окр.(50,4), Архангельская обл.(49,7)
Оборот розничной торговли	Томская обл.(93,3), Ростовская обл.(92,8), Пермский край (92,3), Республика Коми (90,2), Алтайский край (87,9), Иркутская обл.(87,2), Республика Хакасия (86,1), Ямало-Ненецкий авт.окр.(80,4), Кемеровская обл.(79,6), Ханты-Мансийский авт.окр.(76,0)
Платные услуги	Вологодская обл.(93,3), г.Санкт-Петербург (93,0), Томская обл.(92,4), Республика Ингушетия (90,9), Смоленская обл.(89,5), Республика Карелия (89,3), Ярославская обл. (89,2), Челябинская обл. (89,1), г.Москва (86,2), Новосибирская обл. (74,4)
Реальные доходы	Вологодская обл.(93,5), Амурская обл. (93,0), Омская обл.(91,3), Ярославская обл.(90,8), Чеченская обл.(90,0), Алтайский край (89,7), Кемеровская обл. (88,2), Ямало-Ненецкий авт.окр.(86,9), Ханты-Мансийский авт.окр.(83,4), Чукотский авт.окр.(81,8)

Несколько иная картина следует из анализа группы регионов-лидеров (табл.5). Всего в ней можно насчитать 49 регионов. Из них Республика Дагестан представлена в 5 номинациях; три региона (Республика Ингушетия, Краснодарский и Приморский края) – по 4 раза; семь регионов вошли в группы лидеров по 3-м показателям (Чеченская республика, Республика Северная Осетия (Алания), Республика Калмыкия, Республика Тыва, Хабаровский край, Амурская обл., Чукотский авт.окр.); 11 по 2-м показателям; остальные 27 – по одному разу. Очевидными причинами большего расслоения группы лидеров по сравнению с аутсайдерами, является попадание ряда регионов в зону реализации крупных проектов, активно поддерживаемых государством и в кризисный период: Саммит АТР 2012г во Владивостоке, Олимпиада в Сочи – 2014г, утвержденные и реализуемые две программы федерального статуса (по Югу России и Дальнему Востоку).

Таблица 14 – Маргинальные группы регионов по видам экономической деятельности (лидеры).

Показатель	Регионы
Добыча полезных ископаемых	Еврейская авт.обл.(187,6), Красноярский край (157,3), Псковская обл.(148,7),Иркутская обл.(147,9), Тамбовская обл.(133,6), Брянская обл.(131,9), Республика Калмыкия (131,2), Республика Хакасия (127,9), Чукотский авт.округ(132,2), Кабардино-Балкарская республика(123,2)
Обрабатывающие производства	Сахалинская обл.(164,4), Амурская обл.(164,0), Карачаево-Черкесская обл.(143,1), Республика Бурятия (141,1), Хабаровский край (134,0), Калужская обл.(126,9), Ямало-Ненецкий авт.окр.(123,1), Ставропольский край (121,4), Калининградская обл. )119,4), Магаданская обл.(119,0)
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	Курская обл.(122,4), Амурская обл.(117,5), Ямало-Ненецкий авт.окр.(117,4), Республика Ингушетия (117,3), Чеченская Республика (116,7), Республика Дагестан (114,4), г.Санкт-Петербург (113,9), Новосибирская обл.(112,5), Томская обл. (112,5), Респ.Сев.Осетия (111,1)
Сельское хозяйство	Новгородская обл.(151,0), Астраханская обл.(125,3), Алтайский край (114,8), Кабардино-Балкарская Респ.(114,7), Амурская обл.(114,2), Республика Хакасия (113,2), Республика Алтай (112,5), Приморский край (110,5), Калининградская обл.(109,8), Белгородская обл.(108,7)
Строительство	Еврейская авт.обл.(228,7), Республика Тыва (196,3), Приморский край (181,8), Хабаровский край (160,0), Краснодарский край (133,8), Республика Дагестан (126,8), Республика Карелия (123,1), Тверская обл.(122,6), Республика Коми (119,5), Республика Бурятия (114,9)
Инвестиции в основной капитал	Приморский край (204,0), Еврейская авт.обл.(175,7), Республика Тыва (154,5), Тверская обл. (144,1), Ленинградская обл.(142,6), Брянская обл.(141,1), Хабаровский край (137,7), Камчатский край (136,8), Республика Ингушетия (132,4), Краснодарский край (126,2)
Оборот розничной торговли	Чеченская Республика (147,2), Республика Адыгея (123,7), Республика Дагестан (116,1), Респ.Северная Осетия (114,7), Ставропольский край (113,7), Республика Ингушетия (113,7), Чукотский авт.окр.(111,7), Республика Калмыкия (110,8), Краснодарский край (110,8)
Платные услуги	Чеченская Республика (130,1), Приморский край (117,0), Республика Дагестан (116,9), Белгородская обл.(115,9), Липецкая обл.(111,6), Архангельская обл.(111,5), Саратовская обл.(111,0), Республика Мордовия (110,9), Новгородская обл. (110,4), Чукотский авт.окр.(109,3)
Реальные доходы	Республика Адыгея (129,6), Респ.Северная Осетия (122,2), г.Санкт-Петербург (122,0), Республика Дагестан (120,1), Республика Ингушетия (117,5), Краснодарский край (116,6), Республика Тыва (116,0), Республика Калмыкия (114,9), Хабаровский край (113,7), г.Москва (113,4)

В заключение приведем временные оценки выхода регионов РФ из кризиса. На данных табл. 11 можно рассчитать средние индексы, интегрирующие частные показатели роста (две последних строки этой таблицы). Первый индекс (Ср.Инд) рассчитывается как среднегеометрическая величина компонент столбца. В соответствии с ним, Дальневосточный федеральный округ уже вышел на уровень заметного роста, Южный и Северо-Кавказский федеральные округа восстановили докризисный уровень, остальным округам понадобится не менее года, чтобы преодолеть падение экономического роста. Второй индекс, (ИндМин), определен как минимальная компонента столбца, и ориентирован на полное (по всем показателям) преодоление спада, а не в среднем, как в первом случае. Очевидно, что более жесткие требования к оценке динамики развития, определяют и более поздние сроки

преодоления спада. Экспертные оценки времени выхода на 100% с уровня, определенного индексом ИндМин, с учетом специфики его определения, представлены на рис. 1.3.2.

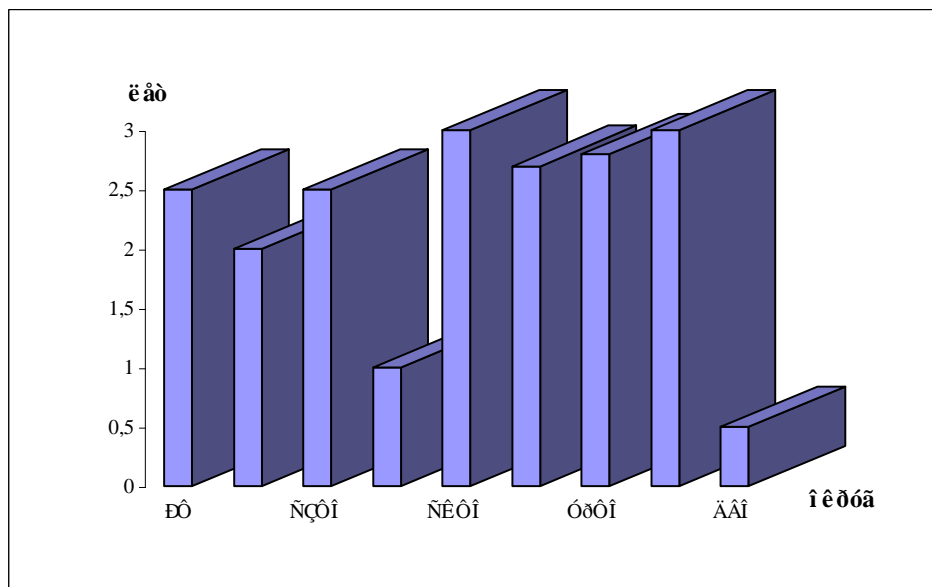


Рисунок 1.3.2 – Сроки полного преодоления кризиса.

Можно ожидать, что в Южном федеральном округе последствия спада будут нивелированы в течение года, в Центральном федеральном округе для этого потребуются до 2-х лет, в остальных федеральных округах – в интервале 2,5-3 лет.

#### 1.4. Разработка алгоритмов построения локально-оптимальных решений задач двухуровневого математического программирования, связанных с моделями конкурентной борьбы

В предыдущих отчетах даны математические формулировки задач принятия решений фирмой-лидером (Лидером) в конкурентной борьбе на рынке в виде задач двухуровневого целочисленного программирования. Рассмотрены задачи  $(L, F)$  и  $(L, F')$ , отличающиеся видом целевой функции фирмы-последователя (Последователя). Рассмотрены также две концепции оптимальности решений этих задач, приводящие к оптимальным кооперативным и оптимальным некооперативным решениям. Ранее были доказаны утверждения, устанавливающие некоторые свойства систем подмножеств, определенных строгими и нестрогими неравенствами. Ранее также был предложен метод построения верхних границ значений целевых функций задач  $(L, F)$  и  $(L, F')$ , базирующийся на указанных утверждениях. В настоящем разделе рассматривается процесс конкурентной борьбы двух производителей (поставщиков) некоторых видов продукции при их последовательном вхождении в рынок. Сначала свой набор видов продукции и свои цены предлагает один из производителей (Лидер), а затем другой производитель (Последователь), зная решение Лидера, делает свой выбор, стремясь предложить рынку более привлекательные виды продукции по возможно более низким ценам. После этого каждый потребитель продукции, представленной на рынке, исходя из своих известных потребностей и своих собственных целей (предпочтений), приобретает на рынке интересующую его продукцию и приносит тем самым доход либо Лидеру, либо Последователю. Цель Лидера состоит в выборе такого решения, которое в условиях принятия Последователем наилучшего решения, позволяет получать наибольшую прибыль.

Формализация этой модели в виде задачи двухуровневого целочисленного программирования аналогична рассмотренным задачам конкурентной борьбы и позволяет проводить необходимые расчёты по обоснованию решения, принимаемого Лидером и позволяющего достичь «равновесия» на рынке. Существенное допущение, используемое при построении этой модели, состоит в дискретности выбираемых цен на рассматриваемую продукцию.

В настоящем разделе показано, что задачи поиска оптимальных кооперативных и некооперативных решений в исследуемой модели, как и ранее рассмотренные задачи  $(L, F)$  и  $(L, F')$  сводятся к задаче максимизации псевдобулевых функций. Особенность этих функций состоит в том, что они заданы неявным образом и для вычисления значения таких функций необходимо решить две задачи целочисленного линейного программирования.

Приводятся алгоритмы поиска локально-оптимальных решений задачи максимизации псевдобулевых функций указанного вида. Алгоритмы включают два этапа. На первом вычисляется верхняя граница для значений рассматриваемых псевдобулевых функций и одновременно строится некоторое начальное решение. На втором этапе это решение улучшается до локально-оптимального решения. Соответствующий алгоритм представляет собой стандартную процедуру локального поиска с окрестностью специального вида.

#### 1.4.1. Математическая модель

Предлагаемая математическая модель отображает конкурентную борьбу на рынке двух соперничающих производителей некоторых видов продукции: Лидера и Последователя, а также поведение потребителей данной продукции. Решения в этой борьбе принимают все участники рынка: Лидер, Последователь и потребители. Процесс принятия этих решений удобно представить состоящим из трёх этапов.

На первом этапе Лидер принимает решение о том, какие виды продукции и по каким ценам реализовывать на рынке, учитывая, что Последователь также может предложить рынку аналогичные виды продукции.

На втором этапе Последователь, зная решение Лидера, принимает своё решение о видах продукции, предлагаемых рынку, и ценах на эту продукцию.

На третьем этапе каждый потребитель, имея возможность выбрать для удовлетворения своей потребности продукцию как Лидера, так и Последователя, принимает решение в соответствии со своими предпочтениями (целями) и приносит доход либо Лидеру, либо Последователю.

Задача Лидера состоит в выборе такого решения, которое даёт наибольшую прибыль в условиях, когда Последователь также стремится получить максимальную прибыль, «захватив» часть потребителей. При этом предполагается, что Лидер, принимая решение, имеет точный прогноз о видах продукции, которые может предложить рынку Последователь, и о возможном спектре цен на продукцию этих видов. Кроме того считается, что обе фирмы знают предпочтения каждого потребителя, сформированные с учётом цен на продукцию.

При формальной записи задачи будем использовать следующие дополнительные предположения. Считаем, что прибыль производителя того или иного вида продукции складывается из доходов, получаемых от потребителей, выбравших эту продукцию для удовлетворения своей потребности, минус так называемые фиксированные затраты, связанные, например, с затратами на организацию производства (поставок) продукции,

рекламу и т.п. Доход, получаемый от потребителя, определяется количеством продукции, необходимой потребителю, установленной ценой на продукцию и произведёнными затратами. При этом будем предполагать, что спектр цен, которые может назначить своей продукции Лидер или Последователь, не слишком велик и ограничен конечным набором значений, например низкая, средняя и высокая цена.

Обозначим через  $I = \{1, \dots, m\}$  множество видов продукции, которые могут обращаться на рынке. Каждый элемент  $i \in I$  соответствует конкретному виду продукции, который реализуется на рынке по конкретной цене. Этот вид продукции будем называть видом  $i$ . Таким образом, если два вида продукции являются продукцией одного и того же физического свойства, но имеют разные цены, то эти виды продукции представлены в множестве  $I$  разными элементами. Можно считать также, что каждый вид продукции производится либо Лидером, либо Последователем. Поэтому если оба производителя могут предложить рынку одинаковые виды продукции по одной и той же цене, то эти виды продукции должны быть представлены в множестве  $I$  разными элементами.

Обозначим через  $J = \{1, \dots, n\}$  множество потребителей продукции, реализуемой на рынке. Каждый элемент  $j \in J$  обозначает некоторого потребителя, которого будем называть *потребителем*  $j$ . Считаем, что потребитель выбирает на рынке продукцию для удовлетворения своей потребности, исходя из собственных предпочтений. Эти предпочтения задаются отношением линейного порядка  $\succ_j$  на множестве  $I$ . Отношение  $i \succ_j k$  для  $i, k \in I$  означает, что если на рынке присутствует продукция видов  $i$  и  $k$ , то потребитель  $j$  предпочтёт продукцию вида  $i$ . Считаем также, что для любых  $i, k \in I$  отношение  $i \succsim_j k$  означает либо  $i \succ_j k$ , либо  $i = k$ . Отметим, что поскольку в рассматриваемой ситуации каждый потребитель сам принимает решение о выборе вида продукции для удовлетворения своей потребности и при этом всегда выбирает наиболее предпочтительный вид продукции, то в данной модели как для Лидера, так и Последователя действует жёсткое правило выбора вида продукции для удовлетворения потребности потребителя.

Для всякого  $i \in I$  предполагаем заданными величины  $f_i$  и  $g_i$ , равные фиксированным затратам на производство и реализацию на рынке продукции вида  $i$  соответственно для Лидера и Последователя. Если Лидер или Последователь не могут предложить рынку продукцию вида  $i \in I$ , то считаем, что  $f_i = \infty$  или  $g_i = \infty$ . Обозначим через  $I_F \subset I$  множество  $\{i \in I \mid g_i \neq \infty\}$ .



Для любых  $i \in I$ ,  $j \in J$  предполагаем известной величину  $p_{ij}$  дохода, получаемого производителем (Лидером или Последователем) от реализации на рынке продукции вида  $i$  потребителю  $j$ .

Для формальной записи задачи используем те же переменные, что и в задачах конкурентного размещения предприятий, придав им следующий содержательный смысл:

$x_i$  — переменная, равная единице, если Лидер предлагает рынку продукцию вида  $i \in I$ , и принимающая значение нуль в противном случае;

$x_{ij}$  — переменная, принимающая значение единица, если продукция вида  $i \in I$ , предлагаемая рынку Лидером, является наиболее предпочтительной для потребителя  $j \in J$  среди всех видов продукции, предлагаемых Лидером, и равная нулю в противном случае;

$z_i$  — переменная, равная единице, если Последователь предлагает рынку продукцию вида  $i \in I$ , и принимающая значение нуль в противном случае;

$z_{ij}$  — переменная, принимающая значение единица, если продукция вида  $i \in I$ , предложенная рынку Последователем, является наиболее предпочтительной для потребителя  $j \in J$  среди всех видов продукции, предлагаемых Лидером и Последователем, и равная нулю в противном случае.

С использованием введённых обозначений и указанных переменных задача Лидера в конкурентной борьбе на рынке записывается как следующая задача двухуровневого целочисленного программирования:

$$\max_{(x_i), (x_{ij})} \left\{ - \sum_{i \in I} f_i x_i + \sum_{j \in J} \left( \sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \right) \left( 1 - \sum_{i \in I} \tilde{z}_{ij} \right) \right\}; \quad (1.4.1.1)$$

$$x_i + \sum_{k | i >_j k} x_{kj} \leq 1, \quad i \in I, \quad j \in J; \quad (1.4.1.2)$$

$$x_i \geq x_{ij}, \quad i \in I, \quad j \in J; \quad (1.4.1.3)$$

$$x_i, x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, \quad j \in J; \quad (1.4.1.4)$$

$$(\tilde{z}_i), (\tilde{z}_{ij}) — \text{оптимальное решение задачи} \quad (1.4.1.5)$$

$$\max_{(z_i), (z_{ij})} \left\{ - \sum_{i \in I} g_i z_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_{ij} z_{ij} \right\}; \quad (1.4.1.6)$$

$$x_i + z_i + \sum_{k|i \succ_j k} z_{kj} \leq 1, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.4.1.7)$$

$$z_i \geq z_{ij}, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.4.1.8)$$

$$z_i, z_{ij} \in \{0,1\}, \quad i \in I, j \in J. \quad (1.4.1.9)$$

Эта задача является задачей конкурентного размещения предприятий в случае, когда целью как Лидера, так и Последователя является получение максимальной прибыли, а при выборе предприятий для обслуживания потребителей Лидер и Последователь используют правило жёсткого выбора. Поэтому задачу верхнего уровня (1.4.1.1)–(1.4.1.4) обозначим через  $L$ , а задачу нижнего уровня (1.4.1.6)–(1.4.1.9) — через  $F_{11}$ . Для задачи (1.4.1.1)–(1.4.1.9) в целом будем использовать обозначение  $(L, F_{11})$ .

Допустимое кооперативное (некооперативное) решение  $(X, \bar{Z})$  задачи  $(L, F_{11})$  так же, как и в случае других рассмотренных задач конкурентной борьбы на рынке, может быть построено по допустимому решению  $X$  задачи  $L$ . Соответствующий алгоритм включает два этапа.

На этапе 1 при фиксированном решении  $X$  решается задача  $F_{11}$  и вычисляется оптимальное значение  $F^*$  её целевой функции.

На этапе 2 при фиксированном решении  $X$  в случае поиска допустимого кооперативного решения решается следующая вспомогательная задача.

$$\max_{(z_i), (z_{ij})} \sum_{j \in J} \left( \sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \right) \left( 1 - \sum_{i \in I} z_{ij} \right); \quad (1.4.1.10)$$

$$x_i + z_i + \sum_{k|i \succ_j k} z_{kj} \leq 1, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.4.1.11)$$

$$z_i \geq z_{ij}, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.4.1.12)$$

$$-\sum_{i \in I} g_i z_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_{ij} z_{ij} \geq F^*; \quad (1.4.1.13)$$

$$z_i, z_{ij} \in \{0,1\}, \quad i \in I, j \in J. \quad (1.4.1.14)$$

а в случае поиска допустимого некооперативного решения — вспомогательная задача, в которой требуется найти

$$\min_{(z_i), (z_{ij})} \sum_{j \in J} \left( \sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \right) \left( 1 - \sum_{i \in I} z_{ij} \right) \quad (1.4.1.15)$$

при ограничениях (1.4.1.11)–(1.4.1.14).

Оптимальное решение  $\bar{Z}$  вспомогательной задачи (1.4.1.10)–(1.4.1.14) (вспомогательной задачи (1.4.1.15), (1.4.1.11)–(1.4.1.14)) даёт допустимое кооперативное (некооперативное) решение  $(X, \bar{Z})$  задачи  $(L, F_{11})$ . При этом отметим, что, хотя оптимальное решение  $\bar{Z}$  может быть не единственным, значение целевой функции  $(L, F_{11})$  на соответствующем допустимом кооперативном (некооперативном) решении  $(X, \bar{Z})$  вычисляется однозначно.

#### 1.4.2. Верхние границы целевой функции задачи $(L, F)$

Построим сначала систему подмножеств  $I_j, j \in J$ , определённую нестрогими ослабленными неравенствами.

При фиксированном  $j_0 \in J$  для  $i \in I$  рассмотрим множества

$$N(i) = \{k \in I \mid k \succ_{j_0} i\}, \quad J(i) = \{j \in J \mid i \succ_j k \text{ для всякого } k \notin N(i)\}.$$

Если  $N(i) = \emptyset$ , то считаем, что  $i \in I_{j_0}$ . Пусть  $N(i) \neq \emptyset$ . Для всякого  $k \in N(i)$  построим множества  $J(k, i) = \{j \in J(i) \mid k \succ_j i\}$ ,  $S(k, i) = \{j \notin J(i) \mid k \succ_j i\}$ . Считаем, что  $i \in I_{j_0}$ , если для каждого  $k \in N(i)$  выполняется неравенство

$$g_k + \sum_{j \in S(k, i)} \max\{0, \max(p_{lj} - p_{kj}), l \in I_F \setminus N(i) : k \succ_j l \succ_j i\} \geq \sum_{j \in J(k, i)} p_{kj},$$

и  $i \notin I_{j_0}$ , если найдется  $k \in N(i)$ , для которого указанное неравенство нарушается.

Лемма 1.4.1. Пусть  $\{I_j\}, j \in J$ , — система подмножеств, определённая нестрогими ослабленными неравенствами. При любом допустимом решении  $(X, \tilde{Z})$ ,  $X = ((x_i), (x_{ij}))$ ,  $\tilde{Z} = ((\tilde{z}_i), (\tilde{z}_{ij}))$ , задачи  $(L, F_{11})$  для всякого  $j_0 \in J$ , такого, что  $p_{i_0 j_0} x_{i_0 j_0} > 0$  для некоторого  $i_0 \notin I_{j_0}$ , выполняется равенство  $\sum_{i \in I} \tilde{z}_{ij_0} = 1$ .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Для заданных  $(0,1)$ -векторов  $x = (x_i)$  и  $\tilde{z} = (\tilde{z}_i)$  рассмотрим элементы  $i_j, j \in J$ , где  $i_j = i_j(x \cup \tilde{z})$ . Предположим, что для некоторых  $j_0 \in J$  и  $i_0 \notin I_{j_0}$  имеем  $x_{i_0 j_0} > 0$ , но требуемое равенство не выполняется. Для данного  $j \in J$  рассмотрим множества  $N(i_0)$  и  $J(i_0)$ . Поскольку  $i_0 \notin I_{j_0}$ , найдется  $k \in N(i_0)$ , такое что

$$g_k + \sum_{j \in S(k,i)} \max\{0; \max(p_{lj} - p_{kj}), l \in I_F \setminus N(i) : k \succ_j l \succ_j i\} < \sum_{j \in J(k,i)} p_{kj}.$$

Для данного  $k \in N(i_0)$  рассмотрим множества

$$S = \{j \notin J(i_0) \mid k \succ_j i_j\}, \quad S_1 = \{j \in S \mid \tilde{z}_{i_j} = 1\}$$

и построим допустимое решение  $Z = ((z_i), (z_{ij}))$  задачи  $F_{11}$ , которое отличается от оптимального решения  $\tilde{Z}$  тем, что  $z_k = 1$  и  $z_{kj} = 1$  для  $j \in J(k, i_0) \cup S$ ,  $z = 0$  для  $j \in S_1$ .

Поскольку  $S(k, i_0) \supset S_1$ , для разности значений целевой функции задачи  $F_{11}$  на решениях  $\tilde{Z}$  и  $Z$  справедливы соотношения

$$\begin{aligned} F_1(Z) - F_1(\tilde{Z}) &= -g_k + \sum_{j \in J(k, i_0)} p_{kj} + \sum_{j \in S} p_{kj} - \sum_{j \in S_1} p_{i_j j} \geq -g_k + \sum_{j \in J(k, i_0)} p_{kj} - \sum_{j \in S_1} (p_{i_j j} - p_{kj}) \\ &\geq -g_k + \sum_{j \in J(k, i)} p_{kj} - \sum_{j \in S(k, i)} \max\{0; \max(p_{lj} - p_{kj}), l \in I_F \setminus N(i) : k \succ_j l \succ_j i\} > 0. \end{aligned}$$

Это противоречит тому, что  $\tilde{Z}$  — оптимальное решение задачи  $F_{11}$ . Лемма доказана.

Обозначим через  $C_0^*$  оптимальное значение целевой функции оценочной задачи, сформулированной с использованием системы подмножеств,  $\{I_j\}$ ,  $j \in J$ , определённой нестрогими ослабленными неравенствами.

Из леммы 1.4.1 по аналогии с теоремами, полученными ранее, имеем

Теорема 1.4.1. Для любого допустимого решения  $(X, \tilde{Z})$  задачи  $(L, F_{11})$  выполняется неравенство  $L(X, \tilde{Z}) \leq C_0$ .

Для вычисления верхней границы значений целевой функции задачи  $(L, F_{11})$  на допустимых некооперативных решениях рассмотрим систему подмножеств  $I_j$ ,  $j \in J$ , определённую строгими ослабленными неравенствами. В случае такой системы подмножеств считаем, что  $i \in I_{j_0}$ , если для каждого  $k \in N(i)$  выполняется неравенство

$$g_k + \sum_{j \in S(k,i)} \max\{0; \max(p_{lj} - p_{kj}), l \in I_F \setminus N(i) : k \succ_j l \succ_j i\} > \sum_{j \in J(k,i)} p_{kj}.$$

и  $i \notin I_{j_0}$ , если найдётся  $k \in N(i)$ , для которого указанное неравенство нарушается.

По аналогии с леммой 1.4.1 легко убедиться в справедливости следующего утверждения:

Лемма 1.4.2. Пусть  $\{I_j\}$ ,  $j \in J$ , — система подмножеств, определённая строгими ослабленными неравенствами. При любом допустимом некооперативном решении  $(X, \bar{Z})$ ,

$X = ((x_i), (x_{ij})), \bar{Z} = ((\bar{z}_i), (\bar{z}_{ij}))$ , задачи  $(L, F_{11})$  для всякого  $j_0 \in J$ , такого, что  $p_{i_0 j_0} x_{i_0 j_0} > 0$  для некоторого  $i_0 \notin I_{j_0}$ , выполняется равенство  $\sum_{i \in I} \bar{z}_{ij_0} = 1$ .

Обозначим через  $C^*$  оптимальное значение целевой функции оценочной задачи, построенной с использованием системы подмножеств  $\{I_j\}$ ,  $j \in J$ , определённой строгими ослабленными неравенствами.

Из леммы 1.4.2 по аналогии с теоремой 1.4.1 получаем

Теорема 1.4.2. Для любого допустимого некооперативного решения  $(X, \bar{Z})$  задачи  $(L, F_{11})$  выполняется неравенство  $L(X, \bar{Z}) \leq C^*$ .

Легко увидеть, что  $C \leq C_0$ .

Из теорем 1.4.1 и 1.4.2 вытекают те же достаточные условия точности получаемых верхних границ, что и для ранее рассмотренных задач конкурентного размещения предприятий.

Пусть  $X^*$  — оптимальное решение оценочной задачи с системой подмножеств, определённой нестрогими (строгими) ослабленными неравенствами, и пусть  $(X^*, \bar{Z})$  — соответствующее решению  $X^*$  допустимое кооперативное (некооперативное) решение задачи  $(L, F_{11})$ .

Следствие 1.4.1. Если для всякого  $j \in J$  выполняется равенство

$$\left( \sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij}^* \right) \left( \sum_{i \in I} \bar{z}_{ij} \right) = 0,$$

то  $(X^*, \bar{Z})$  — оптимальное кооперативное (некооперативное) решение задачи  $(L, F_{11})$ .

Таким образом, получаем, что в случае задачи  $(L, F_{11})$  так же как и в случае других рассмотренных задач конкурентного размещения предприятий, одновременно с вычислением верхней границы строится допустимое кооперативное (некооперативное) решение задачи. В некоторых случаях это решение является оптимальным, в общем случае его можно рассматривать как начальное приближенное кооперативное (некооперативное) решение.

Выше отмечалось, что по всякому допустимому решению  $X$  задачи  $L$  может быть построено соответствующее допустимое кооперативное (некооперативное) решение задачи конкурентной борьбы на рынке  $(L, F_{11})$ . При этом, хотя в общем случае соответствующее допустимое решение  $(X, \bar{Z})$  строится неоднозначно, значения целевой функции  $L(X, \bar{Z})$  на всех таких решениях одинаковые. Таким образом, решение  $X$  однозначно задаёт значение

целевой функции рассматриваемой задачи, а любое значение целевой функции задаётся некоторым допустимым решением  $X$ .

Заметим также, что само допустимое решение  $X = ((x_i), (x_{ij}))$  задачи  $L$  однозначно определяется  $(0,1)$ -вектором  $x = (x_i)$ . Поэтому любой  $(0,1)$ -вектор  $x$  однозначно определяет некоторое значение  $L(X, \bar{Z})$  целевой функции рассматриваемой задачи на соответствующем допустимом кооперативном (некооперативном) решении  $(X, \bar{Z})$ .

Таким образом, получаем, что задачу поиска оптимального кооперативного (некооперативного) решения каждой из рассматриваемых моделей конкурентной борьбы на рынке можно представить как задачу максимизации некоторой псевдобулевой функции  $f(x)$ ,  $x \in B^m$ . Эта функция задана неявным образом и для вычисления её значения необходимо найти оптимальное решение соответствующей задачи нижнего уровня и затем оптимальное решение соответствующей вспомогательной задачи.

В силу сказанного далее при построении алгоритмов вычисления приближенных решений исследуемых задач конкурентного размещения предприятий (конкурентной борьбы на рынке) будем рассматривать задачу максимизации псевдобулевых функций  $f(x)$ , определённых на множестве  $(0,1)$ -векторов  $x = (x_i)$ ,  $i \in I$ , и строить приближенные алгоритмы для этой задачи. Особенность рассматриваемых псевдобулевых функций состоит в том, что вычисление каждого значения такой функции может быть достаточно трудоёмкой процедурой, включающей решение двух задач целочисленного линейного программирования. Будем считать также, что известно начальное приближенное решение задачи максимизации псевдобулевой функции. Таким решением является  $(0,1)$ -вектор  $x^* = (x_i^*)$ , порождаемый оптимальным решением  $X^*$  соответствующей оценочной задачи. Оптимальное значение целевой функции этой задачи даёт оценку сверху для значений псевдобулевой функции.

#### 1.4.3. Стандартный алгоритм локального поиска

С учётом неявного задания рассматриваемых функций для построения алгоритмов их максимизации используем метод локального поиска и, в частности, простейший его вариант — стандартный алгоритм локального поиска.

Основным понятием метода локального поиска является понятие окрестности. Окрестностью решения  $x$  называется подмножество  $N(x) \subset B^m$ , заданное для всякого  $x \in B^m$ . Решение  $x_0 \in B^m$  такое, что  $f(x_0) \geq f(x)$  для всякого  $x \in N(x_0)$  называется

локально-оптимальным. Результатом работы алгоритма локального поиска является локально-оптимальное решение.

В случае множества  $B^m$  в качестве окрестности  $N(x)$  обычно используются следующие множества:

$$N_1(x) = \{y \in B^m \mid d(x, y) = 1\},$$

$$N_2(x) = \{y \in B^m \mid d(x, y) = 2, d(0, x) = d(0, y)\},$$

где  $d(x, y)$  — расстояние Хэмминга, равное числу несовпадающих компонент  $(0,1)$ -векторов  $x$  и  $y$ .

Стандартный алгоритм локального поиска по заданной окрестности  $N(x)$ ,  $x \in B^m$ , включает конечное число однотипных шагов, на каждом из которых рассматривается некоторое текущее решение  $x_0$ . На первом шаге в качестве  $x_0$  может быть взят любой  $(0,1)$ -вектор. Шаг состоит в поиске элемента  $x' \in N(x)$ , улучшающего текущее решение  $x_0$ , т.е. такого элемента  $x' \in N(x)$ , что  $f(x') > f(x_0)$ . Если решение  $x'$  найти не удастся, то алгоритм останавливается и текущее решение  $x_0$  есть результат его работы. В противном случае текущее решение  $x_0$  заменяется на решение  $x'$  и начинается следующий шаг.

Способ выбора решения  $x'$  в алгоритме локального поиска нуждается в уточнении. Если задан некоторый порядок просмотра элементов множества  $N(x_0)$ , то решение  $x'$  может быть выбрано в результате частичного просмотра окрестности  $N(x_0)$ . Таким решением будет первый в заданном порядке элемент  $x \in N(x_0)$ , для которого  $f(x) > f(x_0)$ . При полном просмотре окрестности  $N(x_0)$  в качестве улучшающего решения выбирается такой элемент  $x'$ , что  $f(x') > f(x_0)$  и  $f(x') \geq f(x)$  для каждого  $x \in N(x_0)$ .

В нашем случае локальный поиск по «широкой» окрестности, например окрестности  $N(x) = N_1(x) \cup N_2(x)$ , может оказаться достаточно трудоемкой процедурой. Поэтому определим для  $(0,1)$ -вектора  $x$  окрестность  $N_0(x) \subset N_1(x) \cup N_2(x)$ , которая включает относительно небольшое число существенных вариантов изменения текущего решения  $x$ .

Для произвольного ненулевого  $(0,1)$ -вектора  $w = (w_i)$ ,  $i \in I$ , рассмотрим множество  $I_0(w) = \{i \in I \mid w_i = 1\}$  и для всякого  $j \in J$  вычислим элемент  $i_j(w)$ . Для всякого  $k \in I_0(w)$  определим величину

$$\Delta_k(w) = -f_k + \sum_{j: k=i_j(w)} p_{kj},$$

которую назовем прибыльностью предприятия  $k$  относительно решения  $w$ .

Пусть задано решение  $x = (x_i)$ . Используя величину прибыльности, построим множество  $N_0(x)$  «существенных» вариаций текущего решения  $x$ . Окрестность  $N_0(x)$  считаем состоящей из  $(0,1)$ -векторов  $x^k = (x_i^k)$ ,  $k \in I$ . При фиксированном  $k \in I$  вектор  $x^k$  строится следующим образом.

Если  $x_k = 1$ , то полагается  $x_i^k = x_i$  для  $i \neq k$  и  $x_k^k = 0$ . После этого вектор  $x^k$  считается построенным.

Если  $x_k = 0$ , то полагается  $x_i^k = x_i$  для  $i \neq k$  и  $x_k^k = 1$ . Далее вычисляется величина  $\Delta_k(x^k)$ . Возможны два случая:  $\Delta_k(x^k) \geq 0$  и  $\Delta_k(x^k) < 0$ . В первом случае, когда доходность вида продукции (предприятия)  $k$  неотрицательная, для всякого  $i \in I_0(x)$  вычисляется величина  $\Delta_i(x^k)$ . Если  $\Delta_i(x^k) \geq 0$  для всякого  $i \in I_0(x)$ , т. е. открытие «нового» предприятия  $k$  не приводит к тому, что некоторые «старые» предприятия, открытые Лидером, становятся убыточными, то вектор  $x^k$  считается построенным. Если же  $\Delta_i(x^k) < 0$  для некоторых  $i \in I_0(x)$ , то определяется элемент  $i_0 \in I_0(x)$  такой, что  $\Delta_{i_0}(x^k) \leq \Delta_i(x^k)$  для всякого  $i \in I_0(x)$ , полагается  $x_{i_0}^k = 0$  и вектор  $x^k$  считается построенным.

Если  $\Delta_k(x^k) < 0$ , т. е. доходность нового предприятия отрицательная, то среди старых предприятий отыскивается такое, удаление которого максимально увеличивает доходность нового предприятия  $k$ . Для этого для всякого  $l \in I_0(x)$  строится  $(0,1)$ -вектор  $x^{kl} = (x_i^{kl})$ , где  $x_i^{kl} = x_i^k$  при  $i \neq l$  и  $x_l^{kl} = 0$ , и вычисляется величина  $\Delta_k(x^{kl})$ . Далее определяется номер  $l_0 \in I_0(x)$  такой, что  $\Delta_k(x^{kl_0}) \geq \Delta_k(x^{kl})$  для всякого  $l \in I_0(x)$ . Если  $\Delta_k(x^{kl_0}) \geq 0$ , то полагается  $x_{l_0}^k = 0$ . После этого вектор  $x^k$  считается построенным.

Нетрудно увидеть, что все  $(0,1)$ -векторы  $x^k, k \in I$ , попарно различны и поэтому окрестность  $N_0(x)$  включает ровно  $m$  элементов.

Предлагаемый алгоритм построения приближенного решения задачи максимизации псевдобулевой функции  $f(x)$  представляет собой стандартный алгоритм локального поиска по окрестности  $N_0(x)$ . Работа алгоритма начинается с решения  $x^*$ , полученного в результате вычисления верхней границы, и завершается построением локально-оптимального решения.



В данном алгоритме рассматриваются три способа выбора улучшающего элемента  $x'$  в окрестности  $N_0(x) = \{x^k, k \in I\}$ . При первом способе используется правило полного просмотра, а в двух других — частичного просмотра окрестности. При втором способе просмотр элементов множества  $\{x^k, k \in I\}$  производится в порядке возрастания номера  $k$ , а при третьем в порядке неубывания числа вхождений элемента  $k \in I$  в множества  $I_j, j \in J$ , определенных при вычислении верхней границы.

### 1.5. Разработка точного гибридного алгоритма на основе декомпозиции и генетического локального поиска в моделях ценообразования

В моделях исследования операций, имеющих экономическое содержание, ценовые или затратные параметры, как правило, предполагаются заданным. Основное внимание уделяется поиску наилучших в том или ином смысле объемов производства, планов поставок, размещений пунктов производства, номенклатур изделий и т.п. Процессы ценообразования в условиях рыночных отношений выдвигают новые задачи, целью которых является нахождение цен на продукцию, наилучших для ее производителя [12, 13]. Сформулируем содержательную постановку исследуемой задачи в виде игры Штакельберга [14]. На верхнем уровне производитель выбирает цены на каждом из своих предприятий, выпускающих однородную продукцию. На нижнем уровне каждый из потребителей выбирает одно из предприятий, на котором транспортные затраты и затраты на приобретение продукции в сумме минимальны. Покупка совершается в том случае, когда это позволяет бюджет потребителя. Требуется определить такие цены на каждом предприятии, при которых доход производителя максимален. Предлагаемая стратегия ценообразования называется фабричной (mill pricing) [15]. Помимо этой стратегии обычно рассматриваются следующие две стратегии. Равномерное ценообразование (uniform pricing) [15], т.е. на всех пунктах обслуживания устанавливается одна и та же цена. Дискриминационное ценообразование (discriminator pricing) - стратегия ценообразования, при которой могут быть ущемлены интересы каких-то групп покупателей, т.к. на каждом пункте обслуживания могут устанавливаться разные цены для разных покупателей [15].

Рассматриваемая в работе задача фабричного ценообразования, относится, как и многие другие интересные задачи комбинаторной оптимизации, к классу труднорешаемых задач. В [16] установлена NP-трудность данной задачи в сильном смысле. Однако, можно получить более детальную характеристику сложности задачи, уточнив положение соответствующей ей задачи оценивания в полиномиальной иерархии. Если к входу задачи фабричного ценообразования присоединить целочисленный параметр  $k$ , то получим вход задачи оценивания, в которой надо определить является ли  $k$  оптимальным значением целевой функции на множестве допустимых решений задачи или нет. Первые два базовых класса задач распознавания  $P$  и  $NP$  определяются с помощью детерминированных и недетерминированных машин Тьюринга [17, 18]. Класс  $P$  образован задачами, которые распознаются за полиномиальное время на детерминированных машинах Тьюринга. Соответственно, класс  $NP$  определяется как класс задач, которые распознаются за полиномиальное время на недетерминированных машинах Тьюринга. Третий базовый класс

*co-NP* состоит из задач распознавания, чьи дополнения лежат в классе *NP*. Данные классы образуют первый уровень полиномиальной иерархии и их обозначают как  $\Delta^P_1$ ,  $\Sigma^P_1$  и  $\Pi^P_1$ , соответственно. Второй уровень полиномиальной иерархии определяется с помощью детерминированных и недетерминированных оракульных машин Тьюринга [17, 18]. Задача распознавания *L* принадлежит классу  $\Delta^P_2$  если существует детерминированная оракульная машина Тьюринга, которая распознает за полиномиальное время задачу *L*, используя в качестве оракула некоторый язык из класса *NP* (*NP* -оракул). Класс  $\Delta^P_2$  часто обозначают как  $P^{NP}$ . Аналогично определяются классы  $\Sigma^P_2$  и  $\Pi^P_2$ . Сопоставим задаче ценообразования стандартную задачу распознавания *D*, в которой для каждого входа задачи надо решить существует или нет допустимое решение со значением целевой функции большим или равным *k*. Очевидно, что задача распознавания *D* лежит в классе *NP* и является *NP*-полной в сильном смысле. Очевидно, что, используя двоичный поиск и задачу *D* в качестве оракула, можно за полиномиальное время найти решение задачи оценивания [19]. Это означает, по определению класса  $\Delta^P_2$ , что задача оценивания принадлежит данному классу. Тогда из результатов полученных в [20] следует, что, при условии,  $NP \neq co-NP$  задача оценивания является нетривиальной  $\Delta^P_2$  задачей [20].

Из теории известно, что если задача распознавания *D* является *NP*-полной задачей, то тогда задачи оценивания, *D* и ценообразования эквиваленты в том смысле, что зная полиномиальный алгоритм решения одной из них можно построить полиномиальный алгоритм для решения оставшихся двух [19]. Так как в настоящий момент общепринята гипотеза, что  $P \neq NP$ , то существование полиномиального алгоритма для решения любой из этих задач маловероятно. Другими словами из упомянутой выше эквивалентности следует, что при выполнении указанной гипотезы алгоритм решения любой из этих задач должен иметь экспоненциальную трудоёмкость. Утверждаемая теоремой нетривиальность задачи оценивания в классе  $\Delta^P_2$  означает, что если  $NP \neq co-NP$ , то детерминированный полиномиальный оракульный алгоритм её решения не может ограничиться обращением к *NP*-оракулу только с "да" вопросами или только с "нет " вопросами [20]. На содержательном уровне это означает следующее. Предположим, что в качестве *NP*-оракула используется задача *D*. Тогда "да" вопрос в задаче *D* формулируется как "существует ли допустимое решение величины *k* или больше?", соответственно, "нет" вопрос формулируется как "не существует допустимого решения величины *k* или больше?". В этих терминах гипотетический детерминированный полиномиальный оракульный алгоритм решения задачи оценивания в силу её нетривиальности потребует не только информацию о существовании допустимых решений со значениями не меньше заданных величин для некоторых конкретных исходных данных задачи ценообразования, но и информацию о не

существовании допустимых решений со значениями не меньше заданных величин для некоторых других конкретных исходных данных задачи ценообразования. Столь высокий сложностной статус задачи фабричного ценообразования свидетельствует о значительных вычислительных усилиях, которые потребуются в худшем случае для вычисления оптимального решения задачи. Поэтому, вполне естественно, что при разработке методов её решения возникает классическая дилемма. Если сосредоточиться на построении точных методов, то, как показывает вычислительная практика, такие подходы становятся несостоятельными из-за нехватки ресурсов. С другой стороны, современный опыт построения метаэвристик показывает, что для большинства задач удаётся построить малотрудоёмкие приближённые алгоритмы решения [21, 22, 23, 24, 25]. Однако возникает проблема с оценкой качества таких решений. Рассматриваемые в работе гибридные алгоритмы — попытка совместить сильные стороны того и другого направлений решения NP-трудных задач. Последние десятилетия это направление, лежащее на стыке математического программирования, комбинаторной оптимизации, математической логики и программирования быстро развивается [26-32]. Гибридизация методов глобального поиска и метаэвристик одно из главных направлений проводимых исследований [29]. Предлагаемые в данной работе для решения задачи ценообразования алгоритмы основываются на использовании декомпозиции и метаэвристик. Такой подход к разработке точных и приближенных алгоритмов использовался в работе [24]. Проведенный там эксперимент показал работоспособность разработанных точных и приближенных алгоритмов для задачи об  $(g|p)$ -центроиде. В настоящей работы оценивается эффективность данных гибридных схем при поиске точных и приближенных решений для задач имеющих "компактное" представление допустимой области в отличие от экспоненциального по числу ограничений представления, которое использовалось при описании задачи об  $(g|p)$ -центроиде в виде смешанно-целочисленной задачи.

Основной недостаток декомпозиционных алгоритмов - медленная сходимость [33]. Поэтому в настоящей работе внимание также уделялось поиску методов ускорения декомпозиционных алгоритмов. Ранее подобные исследования проводились, например, в [34-37]. В [24, 37] эта проблема рассматривалась с точки зрения применения метаэвристик.

Постановки, основанные на равномерном ценообразовании или на дискриминационном ценообразовании, оказываются полиномиально разрешимыми. Данный факт был использован в предшествующих исследованиях при построении приближённых алгоритмов решения исследуемой задачи.

В двухуровневой задаче 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. В отличие от близкой и достаточно глубоко исследованной задачи размещения производства с предпочтениями клиентов о задаче ценообразования известно немного. В данной главе рассматриваются методы построения гибридных алгоритмов решения задачи, основанные на идеях локального поиска и декомпозиции. В подразделе 1.5.1 приводится постановка задачи. В подразделе 1.5.2 излагаются точные алгоритмы решения задачи, которые используются для разработки гибридных методов решения задачи ценообразования. В следующем подразделе приводится описание метаэвристик – поиска с чередующимися окрестностями и локального генетического поиска, которые используются в гибридных алгоритмах решения задачи. В разделе 1.5.4 приводится гибридный алгоритм для решения задачи ценообразования. В разделе 1.5.5 приводятся результаты вычислительного эксперимента.

#### 1.5.1. 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;

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

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

$$\max_{p, x^*(p, x)} \sum_{i \in I} p_i \sum_{j \in J} x_{ij} - \sum_{i \in I} f_i z_i \quad (1.5.1)$$

$$p_i \geq 0, \quad i \in I; \quad (1.5.2)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad i \in I; \quad (1.5.3)$$

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

$$\max_x \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (b_j - c_{ij} - p_i) x_{ij} \quad (1.5.4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1, \quad j \in J; \quad (1.5.5)$$

$$x_{ij} \leq z_i, \quad i \in I, j \in J; \quad (1.5.6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J. \quad (1.5.7)$$

Целевая функция (1.5.1) задачи выражает величину прибыли, получаемой Лидером после того как он выберет вариант размещения предприятий и установит цены. Условие (1.5.2) означает, что цены неотрицательные величины, а условие (1.5.3) определяет размещено в данном месте производство или нет. Целевая функция (1.5.4) выражает величину сэкономленного потребителями бюджета. Ограничения (1.5.5) и (1.5.6) 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 квадратичного программирования со смешанными переменными. Она включает задачу первого уровня (1.5.1)–(1.5.3), которую будем называть задачей Лидера, и задачу второго уровня (1.5.4)–(1.5.7), которую будем называть задачей Пользователей.

Вектор  $((p_i), (z_i), (x_{ij}))$  допустимое решение задачи (1.5.1)–(1.5.7), если пара  $((p_i), (z_i))$  удовлетворяет условиям (1.5.2), (1.5.3), а вектор  $(x_{ij})$  является оптимальным решением задачи Пользователей для заданных векторов  $((p_i), (z_i))$ .

Под оптимальным решением задачи (1.5.1)–(1.5.7) можно понимать любое её допустимое решение, на котором достигается максимум задачи (1.5.1)–(1.5.7). 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 [14]. 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 (1.5.1)–(1.5.7) в виде следующей задачи квадратичного программирования (MP):

$$\max_{p, z, x} \sum_{i \in I} p_i \sum_{j \in J} x_{ij} - \sum_{i \in I} f_i z_i \quad (1.5.8)$$

$$p_i \geq 0, \quad i \in I; \quad (1.5.9)$$

$$\sum_{i \in I} (b_j - c_{ij} - p_i) x_{ij} \geq 0, \quad j \in J; \quad (1.5.10)$$

$$\sum_{i \in I} (c_{ij} + p_i) x_{ij} \leq c_{kj} + p_k, \quad k \in I, \quad j \in J; \quad (1.5.11)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1, \quad j \in J; \quad (1.5.12)$$

$$x_{ij} \leq z_i, \quad i \in I, \quad j \in J; \quad (1.5.13)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, \quad j \in J. \quad (1.5.14)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad i \in I. \quad (1.5.15)$$

Известно, что данная задача является NP-трудной в сильном смысле. В дальнейшем предполагаем, что все исходные данные ( $b_j$  и  $c_{ij}$ ) являются рациональными числами. Если величины  $c_{ij}$  принимают только два значения: либо 0, либо  $+\infty$ , и в двухуровневой задаче требуется, что каждый потребитель должен быть удовлетворен, то получим постановку, рассмотренную в работе [12]. В настоящей работе не предполагается удовлетворения спроса всех клиентов. Ранее было введено предположение, что в случае нескольких оптимальных решений в задаче Пользователей каждый клиент выбирает тот пункт обслуживания (из числа доступных), который ближе к нему. Содержательно это означает, что клиенты выбирают такое оптимальное решение, которое сохраняет прибыль производителя. Другими словами

рассматривается кооперативная постановка задачи. Заметим, что в частном случае, рассмотренном в [12], такой проблемы не возникает. В силу специфического вида транспортных затрат не возникает разницы между кооперативной и некооперативной постановками задачи. В дальнейшем будем предполагать, задано размещение пунктов производства. Тогда задача **MP** может быть записана в следующем виде:

$$\max_{p, z, x} \sum_{i \in I} p_i \sum_{j \in J} x_{ij} \quad (1.5.16)$$

$$p_i \geq 0, \quad i \in I; \quad (1.5.17)$$

$$\sum_{i \in I} (b_j - c_{ij} - p_i) x_{ij} \geq 0, \quad j \in J; \quad (1.5.18)$$

$$\sum_{i \in I} (c_{ij} + p_i) x_{ij} \leq c_{kj} + p_k, \quad k \in I, \quad j \in J; \quad (1.5.19)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1, \quad j \in J; \quad (1.5.20)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, \quad j \in J. \quad (1.5.21)$$

### 1.5.2. Точные алгоритмы решения задачи ценообразования

Из [16] можно сделать вывод, что при условии  $P \neq NP$  не существует алгоритма, находящего оптимальное решение задачи **MP** за полиномиальное время. Это означает, что любой точный алгоритм решения такой задачи будет иметь экспоненциальную трудоёмкость. Приведём два точных алгоритма решения задачи, которые имеют полиномиальную трудоёмкость либо при фиксированном числе клиентов, либо при фиксированном количестве предприятий. Из вида ограничений задачи **MP** следует, что для заданного вектора цен или для заданной матрицы назначений задача станет полиномиально разрешимой. В первом случае необходимо вычислить 0-1 матрицу назначений, удовлетворяющую ограничениям. Заметим, что для некоторого предприятия  $i$  и потребителя  $j$  выполнено равенство  $x_{ij}=1$  тогда и только тогда, когда для всех  $k \neq i$  имеем  $x_{kj} = 0$ , к тому же сумма затрат  $j$ -го потребителя минимальна на  $i$ -ом предприятии, при том в случае равенства затрат на предприятиях  $i$  и  $k$  выполнено неравенство  $p_i \geq p_k$ , и затраты  $j$ -го потребителя не превышают его бюджет. То есть, для поиска матрицы назначений каждому потребителю необходимо сопоставить предприятие с минимальными затратами, не превышающими бюджет, а в случае равенства затрат выбирается предприятие с максимальной ценой.



Получается, что задача **МР** с фиксированным вектором цен решается за  $O(n \cdot m)$ . Также не трудно убедиться, что задача **МР** с фиксированной матрицей назначений является задачей линейного программирования и, следовательно, полиномиально разрешима [38]. Если использовать алгоритм Кармаркара, то для решения задачи потребуется  $O(n^{3.5}L)$  арифметических операций при условии, что величины  $b_j, c_{ij}$  являются  $O(L)$ -разрядными числами [38]. Исходя из этих соображений, для нахождения оптимального решения задачи **МР** можно воспользоваться одним из двух следующих переборных алгоритмов:

Алгоритм A1. Обозначим за  $X$  - множество всех 0-1 матриц размера  $n \times m$ , удовлетворяющих ограничению (1.5.20). Пусть  $Y \subseteq X$ .

Шаг 0: Положим  $Y := \emptyset, f^* := 0$  и перейдем на Шаг 1.

Шаг 1: Выберем матрицу  $x \in X \setminus Y$ . С помощью алгоритма Кармаркара найдем оптимальный вектор цен  $p$  в задаче **МР** с фиксированной матрицей назначений  $x$ . Далее на Шаг 2.

Шаг 2: Если  $f(p, x) > f^*$ , тогда положим  $p^* := p, x^* := x, f^* := f(p^*, x^*)$ .  $Y := Y \cup x$ . Если  $X \setminus Y \neq \emptyset$ , тогда переходим на Шаг 1. Иначе СТОП.

Очевидно, что алгоритм  $A_1$  конечен, т.к. конечно множество  $X$ . Второй алгоритм основан на переборе неотрицательных векторов цен, которых, однако, континуальное количество. На самом деле, как показано в [16] для нахождения оптимального решения можно обойтись перебором конечного числа неотрицательных векторов цен, притом цена на каждом предприятии  $p_i \in [0, \max_{j \in J} \{b_j - c_{ij}\}]$ . Обозначим это конечное множество за  $Price$ . Его описание можно найти в [16]. Получаем следующий алгоритм:

Алгоритм A2. Пусть  $P \subset Price$ .

Шаг 0: Положим  $P := \emptyset, f^* := 0$  и перейдем на Шаг 1.

Шаг 1: Выберем вектор  $p \in Price \setminus P$ . Найдем оптимальную матрицу назначений  $x$  в задаче **МР** с фиксированным вектором цен  $p$ . Далее на Шаг 2.

Шаг 2: Если  $f(p, x) > f^*$ , тогда положим  $p^* := p, x^* := x, f^* := f(p^*, x^*)$ .  $P := P \cup p$ . Если  $Price \setminus P \neq \emptyset$ , тогда переходим на Шаг 1. Иначе СТОП.

Оценки трудоёмкости алгоритмов  $A_1$  и  $A_2$  [5] приводят к следующему результату:

**Теорема 1.** Задача **МР** полиномиально разрешима при выполнении любого из следующих условий:

1.  $|J| = m = \text{const}$ ;

2.  $|I| = n = \text{const.}$

Теперь сформулируем в общем виде метод декомпозиции применительно к максиминным задачам. Аналогичные построения верны и для минимаксных задач. С этой точки зрения декомпозицию Бендерса можно рассматривать как сведение исследуемой задачи к эквивалентной максиминной задаче (координирующая задача или master problem в классической формулировке [39]) с последующим применением модифицированного варианта описываемого далее метода декомпозиции. В этой же работе был предложен общий метод сведения оптимизационных задач к максиминной задаче.

Рассмотрим следующую максиминную задачу:

$$z = \max_{x \in X} \min_{y \in Y} R(x, y).$$

В дальнейшем будем предполагать, что хотя бы одно из множеств  $X$  или  $Y$  конечно и задача разрешима. Перепишем её в эквивалентном виде, который обычно используется при описании декомпозиции Бендерса:

$$\begin{aligned} \gamma &\rightarrow \max_{y, x \in X}; \\ \gamma &\leq R(x, y), \quad y \in Y. \end{aligned}$$

Сформулируем метод декомпозиции для максиминной задачи. Пусть  $\bar{Y} \subseteq Y$ .

Шаг 1: Решить релаксированную задачу

$$\begin{aligned} \bar{z} &= \max_{\gamma, x \in X} \gamma; \\ \gamma &\leq R(x, y), \quad y \in \bar{Y}. \end{aligned}$$

Пусть  $x^*$  — её оптимальное решение.

Шаг 2: Решить подзадачу

$$\underline{z} = \min_{y \in Y} R(x^*, y).$$

Пусть  $y^*$  — её оптимальное решение.

Шаг 3: Если  $\underline{z} = \bar{z}$ , то стоп. Иначе  $\bar{Y} := \bar{Y} \cup y^*$  и вернуться на Шаг 1.

Если на шагах 1 и 2 существуют оптимальные решения  $x^*$  и  $y^*$ , то  $\underline{z} \leq z \leq \bar{z}$ . При этом генерируемая методом последовательность  $\bar{z}$  является невозрастающей. Если на шаге 3 выполняется условие  $\underline{z} = \bar{z}$ , то  $z = \underline{z} = \bar{z}$  — искомое оптимальное значение максиминной задачи, а  $(x^*, y^*)$  — её оптимальное решение. Для упрощения анализа этого метода будем предполагать, что разрешима любая релаксированная задача, возникающая на шаге 1. Аналогично, будем считать, что разрешима любая подзадача на шаге 2. Тогда очевидно, что

описываемый метод конечен, если на шагах 1 или 2 повторяются оптимальные решения. По-видимому, впервые это было отмечено в [39]. Там же доказано, что если одно из множеств  $X$  и/или  $Y$  конечно, то конечен и метод. В этом случае также можно отказаться от требования, что всегда разрешимы задачи, возникающие на шагах 1 и 2. Чтобы гарантировать корректную работу алгоритма, будем считать, что в случае неразрешимости задачи на шаге 1 генерируется вектор  $x^* \in X$ , который не встречался на предыдущих итерациях. Аналогично поступаем, если неразрешима подзадача на шаге 2.

Важным при реализации этого метода является выбор начального семейства решений  $Y$ . Из описания метода следует, что если множество  $X$  конечно, то вне зависимости от того, конечно или бесконечно множество  $Y$ , предлагаемый метод является точным и конечным. Поэтому возникает проблема отыскания такого начального множества  $Y$ , которое позволяет быстро найти оптимальное решение исследуемой задачи. Впервые эта проблема была сформулирована в [23, 24]. В этих работах генетический локальный поиск использовался для генерации начального множества ограничений при решении известной задачи о  $(r/p)$ -центроиде. В настоящей работе подчеркивается возможность применения и других метаэвристик для выбора начального семейства  $\bar{Y}$ .

### 1.5.3. Метаэвристики для приближённого решения задачи ценообразования

Методы локального поиска являются наиболее естественными и простыми способами построения нижних оценок в задачах дискретной оптимизации. Однако простой локальный спуск не позволяет гарантированно находить глобальный оптимум задачи.

Стандартный алгоритм локального спуска начинает работу с некоторого начального решения  $x_0$ , выбранного случайно или с помощью какого-либо вспомогательного алгоритма. На каждом шаге локального спуска происходит переход от текущего решения к соседнему решению с большим значением целевой функции до тех пор, пока не будет достигнут локальный оптимум. Алгоритм локального спуска:

**Шаг 1.** Выбрать начальное решение  $x_0$ ,  $k \leftarrow 1$

**Шаг 2.**

2.1 найти  $x' \in N_k(x)$  такое, что  $f(x') = \max\{f(y) \mid y \in N_k(x)\}$ ;

2.2 если  $f(x') > f(x_0)$ , то положить  $x_0 \leftarrow x'$ ,  $k \leftarrow k + 1$ , вернуться на **Шаг 2**, иначе достигнут локальный максимум.

Алгоритмы локального поиска широко применяются для решения NP-трудных задач дискретной оптимизации.

На каждом шаге локального спуска функция окрестности  $N$  задает множество возможных направлений движения. Очень часто это множество состоит из нескольких элементов и имеется определенная свобода в выборе следующего решения. Правило выбора может оказать существенное влияние на временную сложность алгоритма и результат его работы. Таким образом, при разработке алгоритмов важно не только правильно определить окрестность, но и верно задать правило выбора направления спуска. Интуитивно кажется, что в окрестности надо брать элемент с наибольшим значением целевой функции. Однако, разумным оказывается не только такой выбор, но и движение в «абсурдном» направлении, когда несколько шагов с ухудшением впоследствии могут привести к лучшему локальному оптимуму.

При выборе окрестности хочется иметь множество  $N(x)$  как можно меньшей мощности, чтобы сократить трудоемкость одного шага. С другой стороны, более широкая окрестность может привести к лучшему локальному оптимуму. Приходится искать оптимальный баланс между этими противоречивыми факторами. Один из путей разрешения этого противоречия состоит в разработке сложных окрестностей, размер которых можно варьировать в ходе локального поиска.

Методы локального поиска получили свое дальнейшее развитие в так называемых метаэвристиках [41]. Применение метаэвристик позволяет получить более качественные нижние оценки. В данной работе при вычислении оценок рассматривается поиск с чередующимися окрестностями и генетический локальный поиск [40-44].

Выбор окрестности играет важную роль при построении алгоритмов локального поиска. От него существенно зависят сложность выполнения одного шага алгоритма, общее число шагов и, в конечном счете, погрешность получаемых алгоритмом решений.

Рассмотрим выбор окрестности в поставленной задаче. В окрестности  $N_1$  лежат точки, которые получаются изменением цены на одном предприятии, в окрестности  $N_2$  изменяются цены на двух предприятиях одновременно и так далее до  $N_{k_{\max}}$ .

Предприятие, на котором будет изменяться цена, выбирается произвольным образом. Цена произвольным образом увеличивается или уменьшается на произвольную величину. Важным шагом является выбор количества окрестностей. Если выбрать большое  $k_{\max}$ , время работы алгоритма увеличится. При этом величина найденного локального оптимума не обязательно будет превосходить величину, получаемого локального оптимума при меньшем значении параметра  $k_{\max}$ . Поэтому важно определить, какое количество окрестностей будет оптимальным. Эксперименты показали, что при количестве предприятий равном пяти и количестве клиентов равном десяти, пятнадцати и двадцати, достаточно двух окрестностей, чтобы получить максимальное значение целевой функции. При увеличении количества

предприятий до десяти, с тридцатью клиентами, потребовалось три окрестности, чтобы получить максимальное значение целевой функции. При большей размерности входных данных, а именно при двадцати предприятиях и сорока клиентах, максимальный результат достигается при значении параметра  $k_{\max}$  равном семи.

Обозначим через  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{\max}$ , конечное множество окрестностей, предварительно выбранных для локального поиска. Предлагаемый метод с чередующимися окрестностями опирается на следующие три тезиса.

- Локальный минимум относительно одной окрестности не обязательно является локальным минимумом относительно другой окрестности.
- Глобальный минимум является локальным относительно любой окрестности.
- Для NP-трудных задач локальные минимумы в среднем значительно ближе к глобальному, чем случайно выбранная точка. Распределение локальных минимумов не является равномерным. Они расположены достаточно близко друг к другу, занимая малую часть допустимой области.

Метод чередующихся окрестностей может быть реализован одним из трех способов: детерминированным, вероятностным или смешанным, сочетающим в себе два предыдущих [43].

Детерминированный локальный спуск с чередующимися окрестностями (VND) предполагает фиксированным порядок смены окрестностей и поиск локального минимума относительно каждой из них. Алгоритм:

Шаг 1. Выбрать окрестности  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{\max}$ , и начальную точку  $x$ .

Шаг 2. Повторять, пока не выполнен критерий остановки.

2.1.  $k \leftarrow 1$ .

2.2. Повторять до тех пор, пока  $k \leq k_{\max}$ :

(a) найти  $x' \in N_k(x)$  такое, что  $f(x') = \max\{f(y) \mid y \in N_k(x)\}$ ;

(b) если  $f(x') > f(x)$ , то положить  $x \leftarrow x'$ ,  $k \leftarrow 1$ , иначе  $k \leftarrow k + 1$ .

Вероятностный локальный спуск с чередующимися окрестностями (RVNS) получается из предыдущего метода при случайном выборе точек из окрестности  $N_k(x)$ . Этап поиска наилучшей точки в окрестности опускается. Алгоритм:

Шаг 1. Выбрать окрестности  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{\max}$ , и начальную точку  $x$ .

Шаг 2. Повторять, пока не выполнен критерий остановки.

2.1.  $k \leftarrow 1$ .

2.2. Повторять до тех пор, пока  $k \leq k_{\max}$ :

(a) случайно выбрать точку  $x' \in N_k(x)$ ;

(b) если  $f(x') > f(x)$ , то положить  $x \leftarrow x'$ ,  $k \leftarrow 1$ , иначе  $k \leftarrow k + 1$ .

Этот алгоритм наиболее продуктивен при решении задач большой размерности, когда применение детерминированного варианта требует слишком много машинного времени для выполнения одной итерации. Число итераций без смены лучшего найденного решения (шаг 2.2(b)), как правило, используется в качестве критерия остановки.

Основная схема локального поиска с чередующимися окрестностями (VNS) является комбинацией двух предыдущих вариантов. Алгоритм:

Шаг 1. Выбрать окрестности  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{\max}$ , и начальную точку  $x$ .

Шаг 2. Повторять, пока не выполнен критерий остановки.

2.1.  $k \leftarrow 1$ .

2.2. Повторять до тех пор, пока  $k \leq k_{\max}$ :

(а) случайно выбрать точку  $x' \in N_k(x)$ ;

(б) применить локальный спуск с начальной точки  $x'$  в окрестности  $N_1$ .

Полученный локальный оптимум обозначается  $x''$ ;

(с) если  $f(x'') > f(x)$ , то положить  $x \leftarrow x''$ ,  $k \leftarrow 1$ , иначе  $k \leftarrow k + 1$ .

В качестве критерия остановки используется максимальное число итераций без смены лучшего найденного решения. Случайный выбор точки  $x'$  на шаге 2.2(а) применяется для того, чтобы избежать заикливания, которое может иметь место при детерминированном варианте.

Разработке генетических алгоритмов и на их основе гибридных схем посвящена обширная литература (см., например [40, 41]). Успех того или иного подхода здесь во многом определяется учетом специфики задачи, адаптацией общих схем метаэвристик к особенностям решаемой задачи. Генетический локальный поиск, по сути, является гибридной схемой, сочетающей в себе идеи генетических алгоритмов и локальной оптимизации. В англоязычной литературе такие алгоритмы получили название Memetic Algorithms. Это итерационные методы, на каждом шаге которых имеется некоторый набор локальных оптимумов. Согласно принятой терминологии [41], его принято называть популяцией.

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.

Шаг состоит в выборе двух элементов из популяции (их называют родителями), построении на их основе нового решения и применении к нему методов локального улучшения. После получения нового локального оптимума принимается решение о пополнении популяции новым элементом. Шаги повторяются до тех пор, пока не будет выполнен критерий остановки. Общую схему такого метода можно представить следующим образом.

1. Построить начальную популяцию.
2. Пока не выполнен критерий остановки, делать следующее:
  - 2.1. Выбрать двух родителей из популяции.
  - 2.2. Построить по ним новое решение.
  - 2.3. Применить к нему алгоритм локального улучшения.
  - 2.4. Если новое решение лучше худшего в популяции, то обновить популяцию.
3. Предъявить лучшее найденное решение.

Остановимся подробнее на основных элементах этого подхода.

Как уже отмечалось, с теоретической точки зрения для сходимости метода выбор начальной популяции не имеет принципиального значения. Тем не менее, хорошая стартовая популяция может заметно снизить время получения оптимального или приближенного решения с заданной погрешностью. Для того, чтобы добиться этого используют различные жадные стратегии и локальный поиск на шаге 1, приведённой выше схеме. Чтобы улучшить результаты, можно многократно применять вероятностные жадные алгоритмы и выбирать из полученных решений наилучшее. Дальнейшее улучшение может быть получено применением алгоритмов локального спуска к каждому из таких решений. Алгоритмы, построенные по такому принципу, получили название GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) [41]. Именно такой подход применяется для получения начальной популяции. Его эффективность существенно зависит от выбора окрестностей. Мощные окрестности дают возможность получать решения с малой погрешностью, но требуют больших затрат на выполнение каждого шага алгоритма. Малые окрестности избавлены от этого недостатка, но часто приводят к плохим результатам. Найти "золотую" середину и подобрать эффективную структуру данных для просмотра окрестности и поиска в ней наилучшего элемента представляется серьезной проблемой. Для каждой задачи ее приходится решать заново. Поэтому имеет смысл пользоваться как малыми, так и большими окрестностями с различными жадными алгоритмами при выборе начальной популяции.

Выбор родительской пары. Скрещивание и порождение локальных оптимумов. Существует много различных стратегий выбора родительской пары. Наиболее известным является турнирный отбор и пропорциональная селекция [41]. Основная идея этих процедур состоит в том, чтобы дать предпочтение "хорошим" решениям и как-то ограничить "плохие". Однако в данном алгоритме уже начальная популяция состоит из локальных оптимумов. Поэтому можно ожидать, что решения не сильно отличаются друг от друга по целевой функции и в качестве родителей имеет смысл выбирать случайно выбранные элементы популяции.

Во время эволюционного процесса, который описывается шагами 2.1–2.4 алгоритма, необходимо всё время порождать всё новые и новые локальные оптимумы. С этой целью, на шаге 2.2 используется оператор кроссовера, который применяется к решениям–родителям, а на шаге 2.3 используется алгоритм локального поиска. Обычно используются стохастические операторы кроссовера. Так что в этом случае повторяющееся скрещивание одной и той же пары родителей будет приводить к различным потомкам. Считается, что оператор скрещивания должен удовлетворять следующим свойствам [41]:

- 1) скрещивание похожих родителей должно приводить к похожим потомкам;
- 2) родители, которые мало отличаются в выбранной кодировке друг от друга, должны порождать потомков с близкими к ним показателями.

Эти свойства выполняются для точечных кроссовера и для ряда других операторов. Точечные кроссоверы были опробованы одними из первых в генетических алгоритмах [41]. Причиной тому, по-видимому, была их простота и наглядность. Используются также вероятностные кроссоверы.

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

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

2. Пока не выполнен критерий остановки, делать следующее:

- 2.1 выбрать решения  $p_i, p_j$  из популяции  $P_t$ ;

- 2.2 построить решение  $\tilde{p}$  по решениям  $p_i, p_j$

- 2.3 применить алгоритм локального спуска;

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

- 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 [41]. 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  $\tilde{p}$ , которое наследует некоторые свойства своих родителей. В качестве оператора скрещивания использовался "равномерный кроссовер" (Uniform) [41], 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 [21], в котором в качестве начальной точки берется решение  $\hat{p}$ . В качестве критерия остановки генетический алгоритм использует ограничение по числу итераций.

Введем функцию  $f^*(p) := f(p, x^*)$ , где  $x^* \in F^*(p)$  — множество оптимальных решений задачи P при фиксированном вектором  $p$ . 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 (1.5.18)-(1.5.19) 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 (1.5.19), 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.

#### 1.5.4. Гибридный алгоритм решения задачи ценообразования

В данной работе в качестве точного алгоритма используется метод декомпозиции. Схема гибридного алгоритма такова, что в сочетании с декомпозицией может быть использована любая метаэвристика: генетический локальный поиск, поиск с запретами, методы отжига и т.д. В частности, основываясь на концепциях и идеях, используемых в области интеллектуального анализа данных (data mining) [45], оказывается возможным получить метаэвристики нового типа для решения комбинаторных задач [46], которые также могут быть использованы в гибридных алгоритмах. Понятно, однако, и другое обстоятельство, если ставить целью разработку только точных алгоритмов решения задачи, то гибридный алгоритм, как и любой другой точный алгоритм решения рано или поздно станет нереализуемым при росте размерности задачи. Однако, у декомпозиционных алгоритмов есть очень важное свойство. Будучи остановленными на любой из итераций они дают верхнюю и нижнюю оценку на оптимальное значение целевой функции задачи. И самое главное, так как метаэвристики встроены изначально в схему алгоритма, то они оказывают необходимое влияние на качество нижних и верхних оценок, получаемых с помощью гибридных алгоритмических схем.

Перепишем модель первой главы в виде линейной задачи частично целочисленного программирования. Обозначим за  $p_i = \max_j(b_j - c_{ij})$  — максимально возможную цену на  $i$ -м предприятии, и введем переменную  $z_{ij} \geq 0$  — доход, который получает производитель на  $i$ -м предприятии от  $j$ -го потребителя. Используя данные обозначения, получим:

$$\max_{p, z, x} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} z_{ij} \quad (1.5.29)$$

$$\sum_{i \in I} (b_j - c_{ij})x_{ij} - \sum_{i \in I} z_{ij} \geq 0, j \in J; \quad (1.5.30)$$

$$c_{kj} + p_k - \sum_{i \in I} c_{ij}x_{ij} - \sum_{i \in I} z_{ij} \geq 0, k \in I, j \in J; \quad (1.5.31)$$

$$(1 - x_{ij})\bar{p}_i - z_{ij} + p_i \geq 0, i \in I, j \in J; \quad (1.5.32)$$

$$(1 - x_{ij})\bar{p}_i + z_{ij} - p_i \geq 0, i \in I, j \in J; \quad (1.5.33)$$

$$z_{ij} \leq \bar{p}_i x_{ij}, i \in I, j \in J; \quad (1.5.34)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1, j \in J; \quad (1.5.35)$$

$$p_i \geq 0, x_{ij} \in \{0, 1\}, z_{ij} \geq 0, i \in I, j \in J. \quad (1.5.36)$$

Ограничения (1.5.32)–(1.5.34) гарантируют, что доход производителя  $z_{ij}$  от обслуживания  $j$ -го потребителя на  $i$ -м предприятии равен  $p_i$ , если  $j$ -й потребитель выбрал  $i$ -е предприятие, и 0 в противном случае.

Применим к задаче подход реализованный в [37] и получим точный гибридный декомпозиционный алгоритм решения. Задача (1.5.29)–(1.5.36) при фиксированном  $x$  является задачей линейного программирования. Введем двойственные переменные  $t \geq 0, \mu \geq 0, \lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0, \lambda_3 \geq 0$ , для ограничений (1.5.30)–(1.5.34). Обозначим через  $\delta(x, t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  целевую функцию задачи  $D(x)$  двойственной к задаче (1.5.29)–(1.5.36) при фиксированном  $x$ , а через  $\delta_{ij}(x, t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  и через  $\delta_i(x, t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  её ограничения соответствующие переменным  $z_{ij}$  и  $p_i$ , соответственно.

Приведём описание точного гибридного алгоритма для решения задачи (1.5.29)–(1.5.36).

**Шаг 1.** С помощью приближенного алгоритма для задачи (1.5.29)–(1.5.36) построим семейство решений  $x^r, r = 1, \dots, R$ , для каждого из которых решим следующую задачу:

$$\rho(x^r) = \min_{t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3} \delta(x^r, t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$$

$$\delta_{ij}(x^r, t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \leq 0, i \in I, j \in J;$$

$$\delta_i(x^r, t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \leq 0, i \in I.$$

Найдем оптимальные значения двойственных переменных  $(t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ , если задача разрешима. Иначе, в качестве вектора  $(t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  возьмем направляющий вектор

соответствующего бесконечного ребра.  $LB = \max\{\delta(x^r, t^r, \mu^r, \lambda_1^r, \lambda_2^r, \lambda_3^r), r = 1, \dots, R$ . Далее на Шаг 2.

**Шаг 2:** Решить релаксированную задачу  $\mathbf{RMP}_{Q,U}$ :

$$\begin{aligned} & \max_{y, x} y \\ & y \leq \delta(x, t^q, \mu^q, \lambda_1^q, \lambda_2^q, \lambda_3^q), q = 1, \dots, Q; \\ & \delta(x, t^u, \mu^u, \lambda_1^u, \lambda_2^u, \lambda_3^u) \geq 0, u = 1, \dots, U; \\ & \sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1, j \in J; \\ & y \geq 0, x_{ij} \in \{0, 1\}, i \in I, j \in J. \end{aligned}$$

Пусть  $(\bar{x}, \bar{y})$  — оптимальное решение,  $UB = \bar{y}$  — верхняя граница.

**Шаг 3:** Решить подзадачу  $\rho(\bar{x})$ .

1) Задача разрешима: Если  $UB = p(x)$ , то стоп. Нашли оптимальное решение исходной задачи. Иначе положить:  $Q := Q + 1$ ,  $t^Q := t$ ,  $\mu^Q := \mu$ ,  $\lambda_1^Q := \lambda_1$ ,  $\lambda_2^Q := \lambda_2$ ,  $\lambda_3^Q := \lambda_3$ , где  $t$ ,  $\mu$  и  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  — оптимальные двойственные переменные. Если  $p(x) > LB$ , то  $LB := p(x)$  — новая нижняя граница. Далее на **Шаг 2**.

2) Задача не разрешима: Найдем направляющий вектор бесконечного ребра  $(t, \mu, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  и положим:  $U := U + 1$ ,  $t^U := t$ ,  $\mu^U := \mu$ ,  $\lambda_1^U := \lambda_1$ ,  $\lambda_2^U := \lambda_2$ ,  $\lambda_3^U := \lambda_3$ . Далее на **Шаг 2**.

Данный алгоритм решения задачи конечен [38, 40]. Если на шаге 3 заменить условие совпадения верхней и нижней границ на неравенство  $\frac{(UB - LB)}{UB} \leq \varepsilon$ , где  $\varepsilon > 0$ , то получим приближённую версию алгоритма.

Основные трудности метода декомпозиции связаны с необходимостью решать релаксированную координирующую задачу  $\mathbf{RMP}_{Q,U}$ . Чтобы получить более эффективный алгоритм решения задачи ценообразования сведём решение задачи  $\mathbf{RMP}_{Q,U}$  к решению набора её ЛП-релаксаций с дополнительными отсечениями.

Работа алгоритма описывается перечислительным деревом или деревом ветвлений. Каждой вершине соответствует ЛП-релаксация (т.е. релаксация, которая получается заменой целочисленных переменных непрерывными, в результате чего возникает задача линейного программирования) некоторой релаксированной координирующей задачи с дополнительными ограничениями. Эти ограничения возникают при ветвлении вершин.

Пусть проверяется вершина с номером  $k$ . Проверка начинается с решения ЛП-релаксации задачи  $\mathbf{RMP}_{Q,U}$  с дополнительными ограничениями. Вершина  $k$  ветвится, если оптимальное решение  $\mathbf{x}$  ЛП-релаксации имеет дробные компоненты. Выберем первую дробную компоненту  $x_i$ . В результате ветвления получим две новые вершины  $k+1$  и  $k+2$ , где  $k$  – количество вершин в дереве до ветвления.

Задача, соответствующая вершине  $k+1$ , получается добавлением ограничения (отсечения)  $x_i \leq [\mathbf{x}_i]$  к задаче вершины с номером  $t$ . Аналогично задача вершины  $k+2$  получается добавлением отсечения  $x_i \geq [\mathbf{x}_i]$  к задаче вершины с номером  $t$ .

В нулевой вершине решаем ЛП-релаксацию задачи  $\mathbf{RMP}_{0,0}$  вида

$$\begin{aligned} \max_{y, y_0} \{ (h, y) + y_0 \} \\ 0 \leq y \leq \bar{y}, y_0 \leq \bar{y}_0. \end{aligned}$$

Пусть  $LB$  – нижняя граница. Эта величина является оценкой снизу на оптимальное решение смешанно целочисленной задачи. Допустимое решение, на котором достигается это значение, обычно называют рекордом. В нулевой вершине положим  $LB = -\infty$ .

Шаг 1. Решить ЛП-релаксацию задачи  $\mathbf{RMP}_{Q,U}$  с отсечениями, которые соответствуют текущей вершине.

Если данная ЛП-релаксация неразрешима, то задача  $\mathbf{RMP}_{Q,U}$  с текущими дополнительными отсечениями также неразрешима и текущая вершина  $k$  проверена. Вычёркиваем её из дерева ветвлений. И переходим к проверке следующей вершины.

Если все вершины проверены, то процесс завершён и допустимое решение с наибольшим значением целевой функции, т.е. рекорд – оптимальное решение.

Если допустимых решений не было получено, то задача неразрешима. Если ЛП-релаксация соответствующая текущей вершине разрешима, то пусть  $(y^k, x^k)$  – её оптимальное решение и  $\hat{z}_{LP}$ , соответственно, оптимальное значение.

Если  $\hat{z}_{LP} < LB$ , то текущая вершина  $k$  проверена. Переходим к проверке следующей вершины.

Шаг 2. Решить подзадачу  $D(x^k)$ .

Шаг 3. (а). Задача  $D(x^k)$  разрешима и  $y^k = (b - Bx^k, u^k)$ . Тогда  $(y^k, x^k)$  – оптимальное решение ЛП-релаксации задачи  $MP$  с дополнительными ограничениями.

Случай 1. Найдётся номер  $i_k$  такой, что компонента вектора  $x^k$  с номером  $i_k$  является дробной. Тогда ветвим текущую вершину. Появятся вершины с номерами  $k+1$  и  $k+2$ . Переходим к просмотру новой вершины.

Случай 2.  $x^k$  – целочисленный вектор. Пересчитаем величину

$$LB = \max \{ LB, (h, x^k) + y^k \}.$$

Если нижняя граница увеличилась, то данное допустимое решение возьмём в качестве нового рекорда. Вершина с номером  $k$  проверена. Переходим к просмотру новой вершины.

Если в рассмотренных случаях не осталось не просмотренных вершин, то алгоритм завершает работу. Если не удалось найти ни одного допустимого решения, то смешанно целочисленная задача неразрешима.

(б). Задача  $D(x^k)$  разрешима и  $y^k > (b - Bx^k, u^k)$ .

В этом случае нарушенное ограничение

(отсечение оптимальности)  $y \leq (b - Bx^k, u^k)$  добавляется к координирующей задаче.

Перейти на шаг 1.

(в). Задача  $D(x^k)$  неразрешима и, следовательно, для направляющего вектора  $u^k$  некоторого бесконечного ребра имеем  $(b - Bx^k, u^k) < 0$ . Нарушенное ограничение  $(b - Bx^k, u^k) \geq 0$  (отсечение допустимости) добавить к координирующей задаче. Перейти на шаг 1.

Данный алгоритм относится к классу алгоритмов, которые известны под названием методы ветвей и отсечений.

#### 1.5.5. Вычислительный эксперимент

Из описания базового алгоритма видно, что если отбросить шаг 1, то получится классический алгоритм Бендерса [39]. Основной недостаток таких алгоритмов их медленная сходимость. Проведенные эксперименты для задачи ценообразования подтверждают эту ситуацию. Поэтому в работе значительное внимание уделялось поиску методов ускорения декомпозиционных алгоритмов. В настоящее время имеется большое количество исследований на эту тему, в которых разрабатываются быстрые модификации декомпозиционных алгоритмов [33-35]. В [33, 34] эта проблема рассматривалась с точки зрения применения метаэвристик.

Так как релаксированная координирующая задача, возникающая на шаге 2, является задачей смешанного программирования с булевыми переменными, то для ее решения на каждой итерации базового алгоритма требуются значительные вычислительные ресурсы. Поэтому основная доля исследований на эту тему посвящена или уменьшению числа решаемых на шаге 2 релаксированных координирующих задач, или различным процедурам упрощающих нахождение решения текущей релаксированной координирующей задачи. В [35] было впервые предложено порождать отсечения, используя решения линейной релаксации релаксированной координирующей задачи. Эта идея основана на том, что любая вершина (или любой крайний луч) задачи двойственной к подзадаче порождает отсечение

оптимальности (или допустимости) для релаксированной координирующей задачи. Таким образом, вместо сложной задачи на шаге 2 решается задача линейного программирования. Другой подход был предложен в [34]. Вместо того, чтобы искать оптимальное решение релаксированной координирующей задачи, авторы предложили остановить процесс решения на некотором допустимом решении, которое затем используется на шаге 3 для порождения отсечения оптимальности (или допустимости). Основным минус таких упрощений в том, что нельзя гарантировать сходимость процесса. И проще всего использовать такие идеи для генерации приближённых решений. Либо начиная с какого то момента, накопив достаточно большое множество отсечений с небольшими затратами вычислительных ресурсов, вернуть процесс к исходной схеме и таким образом гарантировав сходимость. Далее для задачи фабричного ценообразования предлагаются несколько подходов — двухфазный метод и его различные модификации.

В ходе вычислительного эксперимента рассматривались следующие алгоритмические схемы:

1. базовая схема (шаги 1-3) (General scheme);
2. двухфазная схема (2-round scheme);
3. двухфазная схема с приближенной версией алгоритма на 1-й фазе (2-round scheme with the approximate 1st round(App. 2-round));
4. двухфазная схема с контролируемым числом ограничений (Box);
5. упрощённая двухфазная схема (Simplified 2-round scheme).

Первые четыре схемы являются точными и позволяют найти оптимальное решение задачи (1.5.29)–(1.5.36) за конечное число итераций, а схема 5 дает неплохую верхнюю оценку. Схемы 2 — 4 позволяют уменьшить число итераций и время счета базовой схемы. Идея двухфазного метода (двухфазной схемы) заключается в следующем. Сначала решается линейная релаксация задачи (1.5.29)–(1.5.36) приведенным выше базовым алгоритмом (базовой схемой), у которого на шаге 2 решается релаксированная координирующая задача с непрерывными переменными  $x_{ij}$ . Затем при решении исходной задачи (1.5.29)–(1.5.36) к семейству отсечений шага 1 добавляется оптимальное семейство отсечений, полученное при решении линейной задачи. Идея схемы 3 заключается в том, чтобы ограничить время работы базового алгоритма решения задачи (1.5.29)–(1.5.36) на 1-ой фазе, когда решается задача с непрерывными переменными  $x_{ij}$ . Для этого выбирается  $0 < \varepsilon < 1$ , которое используется для ограничения времени выполнения 1-ой фазы. При выполнении неравенства  $\frac{(UB - LB)}{UB} \leq \varepsilon$  осуществляется переход ко 2-ой фазе. Идея схемы 4 — контролировать число отсечений. На каждой из фаз используется три списка. Два ограниченных, а третий произвольной длины.

Один из ограниченных списков предназначен для хранения отсечений оптимальности, а другой - для хранения отсечений допустимости. Когда добавляется новое отсечение оптимальности, то из соответствующего списка выбрасывается самое старое отсечение. Если верхняя граница, определяемая текущей релаксированной координирующей задачей, оказывается меньше предыдущей, то выброшенное ограничение возвращается. Оно переводится в неограниченный список. Аналогичным образом выполняются операции при работе с отсечениями допустимости. В упрощённой двухфазной схеме вычисления завершаются на шаге 2 на первой итерации второй фазы.

Все эти схемы тестировались на примерах небольших размерностей до 30 предприятий и 50 потребителей, в которых значения величин  $b_j$  и  $c_{ij}$  выбирались равновероятно из интервала [1, 99]. Тесты проводились на 20-ти примерах каждой размерности. Чтобы не ограничивать размерность решаемых задач, время работы схем 1 — 4 ограничивалось получасом (см. Таблицы 15 и 16), а упрощённой схемы — часом (см. Таблица 17). Так как время работы и точность (в том случае, когда время работы алгоритма ограничивалось) базовой схемы оказались на порядок хуже остальных, и зачастую этот метод даже не находил допустимое решение за ограниченное время, то результат тестирования первой схемы в ниже приведенных таблицах отсутствует. Стоит отметить, что время работы и точность схем 2 — 4, как показал эксперимент, в среднем отличаются друг от друга не более чем в 2-3 раза.

В Таблицах 15 и 16 представлены результаты экспериментов, которые проводились для сравнения трудоемкости точных схем. В Таблице 15 представлены относительная погрешность (величина  $(UB-LB)/UB$ ) и время работы схемы 2 и схем 3 при выборе  $\varepsilon = 0.02, 0.05, 0.1, 0.2$ . В Таблице 16 представлены относительная погрешность (величина  $(UB-LB)/UB$ ) и время работы схемы 4, при этом эксперимент проводился при суммарном количестве отсечений оптимальности и допустимости равном 20 (10+10), 30 (15+15) и 60 (30+30).

Эксперимент со схемами 2 и 3 (см. Таблица 15) показал, что на больших размерностях ( $5 \times 10-20$ ) для ускорения счета можно часть отсечений линейной задачи выбросить. Из Таблицы 15 видно, что схема 2 проигрывает по времени схеме 3 при выборе  $\varepsilon = 0.02, 0.05$ , когда число потребителей 10 и 20, и  $\varepsilon = 0.02$ , когда число потребителей 15. При переходе к большим размерностям с ростом числа итераций появляется необходимость переносить во вторую фазу все отсечения линейной задачи. Здесь существенной проблемой становится плохая сходимость декомпозиционных алгоритмов. В среднем, число отсечений, генерируемых для получения оптимального значения, практически не отличается для схем 2



и 3. Поэтому, убирая часть отсечений линейной задачи в схеме 3, приходится дополнять их гораздо более дорогостоящими отсечениями булевой задачи, что приводит к увеличению времени работы алгоритмов на основе данной схемы с ростом  $\varepsilon$ .

Схема 4 при сравнении со схемами 2 и 3 оказалась вполне конкурентоспособной. Из Таблицы 16 видно, что боксовая схема (Box) при выборе разного суммарного количества отсечений оптимальности и допустимости имеет практически одинаковые показатели времени счета и точности, которые не уступают показателям схемы 3 с  $\varepsilon = 0.2$  на размерностях  $5 \times 10$ -15, а на размерностях  $5 \times 20$ -25 с  $\varepsilon = 0.1, 0.2$ , и проигрывает только схеме 3 с  $\varepsilon = 0.02$  на размерности  $5 \times 30$ . Но стоит отметить, что на больших размерностях схема 4 уступает совсем немного схеме 2 (менее чем в 1.3 раза по точности).

Таблица 15 – Схемы 1 – 3.

dim.		2-round		App. 2-r.(0.02)		App. 2-r.(0.05)		App. 2-r.(0.1)		App. 2-r.(0.2)	
n	m	deviat.	time	deviat.	time	deviat.	time	deviat.	time	deviat.	time
5	10	0	8.8"	0	8.5"	0	8.4"	0	12.1"	0	17.7"
5	15	0	90"	0	69"	0	110"	0	133"	<0.001	315"
5	20	0.013	956"	0.009	776"	0.017	848"	0.033	1094"	0.057	1293"
5	25	0.076	1544"	0.104	1821"	0.135	1831"	0.183	1807"	0.224	1815"
5	30	0.166	1823"	0.179	1821"	0.207	1825"	0.244	1822"	0.327	1822"

Таблица 16 – Схема 4.

dim.		Box(10)		Box(15)		Box(30)	
n	m	deviat.	time	deviat.	time	deviat.	time
5	10	0	17.5"	0	21"	0	15.9"
5	15	0	192"	0	205"	0	232"
5	20	0.025	1251"	0.025	1343"	0.031	1348"
5	25	0.133	1748"	0.129	1724"	0.139	1785"
5	30	0.187	1705"	0.197	1709"	0.199	1712"

Эксперимент с двухфазной схемой показал также, что с ростом размерности задачи отсечения её линейной релаксации всё хуже и хуже аппроксимируют выпуклую оболочку допустимых решений, что выражалось в стремительном росте числа итераций второй фазы: 1 итерация в среднем для размерности  $5 \times 5$ , на порядок больше для размерности  $5 \times 10$  и на 2 порядка больше для размерности  $5 \times 15$  и т.д. Тем не менее, казалось бы, естественная попытка уменьшить количество отсечений генерируемых на первой фазе, нередко приводила

к росту числа итераций второй фазы и общего времени счета (схема 3). Таким образом, с точки зрения уменьшения общей трудоемкости вычислений, очень важно качество аппроксимации на первой фазе. Как показывает следующий эксперимент с приближенной схемой это позволяет гарантировать и хорошие верхние оценки.

В упрощенной двухфазной схеме вычисления завершаются на шаге 2 одной из первых итераций второй фазы, что позволяет получить достаточно неплохую верхнюю границу задачи фабричного ценообразования. Чтобы упростить анализ результатов в эксперименте вычисления завершались на шаге 2 первой итерации. Также ограничивалось время работы первой фазы одним часом. Для некоторых примеров размерностей  $20 \times 40$  и  $30 \times 30$  за отведенный час не удалось оптимально решить задачу, возникающую на первой фазе. При меньших размерностях такого не наблюдалось. В 3-й колонке Таблицы 17 записана величина  $(UB - LB) / UB$ , а в 4-й — время работы упрощенной двухфазной схемы. В последней колонке величина  $(LIN - OPT) / LIN$  где LIN оптимальное значение задачи (1.5.29)—(1.5.36) с непрерывными переменными  $x_{ij}$ , и время работы пакета CPLEX на этой задаче.

Таблица 17 – Схема 5.

Dimen.		Simplified 2-round		Linear	
n	m	deviat.	time	deviat.	time
5	10	0.0458	7.25"	0.125	<1"
5	15	0.0627	11.65"	0.142	<1"
5	30	0.136	199.5"	0.215	1.15"
5	50	0.192	1722.6"	0.273	4.75"
10	20	0.115	171.15"	0.179	1.65"
10	30	0.15	1032.45"	0.212	4.5"
20	20	0.111	1080.8"	0.165	5.8"
20	40	0.26	4025.6"	0.236	156.8"
30	30	0.204	3292.05"	0.201	202.1"

Из Таблицы 17 видно, что относительное уклонение верхней границы превысило относительного уклонения оптимального решения задачи (1.5.29)—(1.5.36) с непрерывными переменными  $x_{ij}$  только при размерностях  $20 \times 40$  и  $30 \times 30$ . И здесь можно улучшить результаты, если останавливаться не на первой итерации второй фазы, а просто ограничить время счета.

#### 1.5.6. Выводы

В работе рассмотрен частный случай задачи размещения и ценообразования - задача с фабричным ценообразованием. Ранее был установлен сложностной статус, связанных с ней задач распознавания и оценивания. Получена верхняя оценка на сложность построения приближённых решений задачи МР. Показано, что при условии  $P \neq NP$  для оптимизационной задачи не существует полиномиального приближенного алгоритма с абсолютной погрешностью, ограниченной константой.

В дальнейшем предполагается уточнить положение задачи в аппроксимационной иерархии задач из класса NPO, т.е. получить нижнюю оценку на сложность построения приближённых решений задачи.

Вычислительный эксперимент показал, что двухфазная схема, двухфазная схема с контролем ограничений и упрощённая двухфазная схема позволяют получить алгоритмы декомпозиционного типа более быстрые, чем базовый алгоритм и его приближённый вариант. Однако, этого недостаточно для получения быстрых точных и приближённых алгоритмов гибридного типа. Поэтому в дальнейшем необходимо продолжить разработку и исследование гибридных алгоритмов, сделав упор на:

- разработку способов формирования хорошего начального множества отсечений на шаге 1, которое способствовало бы ускорению сходимости алгоритма;
- сокращение количества решаемых релаксированных координирующих задач, рассмотрев альтернативные способы генерации отсечений;
- развитие методов ветвей и отсечений.

## 2 Показатели

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

2.2 Количество подготовленных и опубликованных статей:

Опубликовано 24 статьи, приняты в печать 4 статей (см. Приложение А).

2.3 Количество сделанных докладов:

Сделано 6 докладов на отечественных и 9 докладов на международных научных форумах (см. Приложение Б).

2.4. Представленные и защищенные диссертации.

Горбачева Наталья Викторовна «Финансовый механизм взаимодействия участников инновационных проектов». Диссертация на соискание учёной степени кандидата экономических наук. Специальность 08.00.10 – Финансы, денежное обращение и кредит. Диссертация защищена 16 марта 2012 года на заседании диссертационного совета Д 003.001.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук (ИЭОПП СО РАН).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения 4 этапа НИР проведены следующие работы.

1. Проведена оценка структуры и организации инновационных процессов в Новосибирском научном центре: проблемы и перспективы.
2. Сформирована и апробирована на условном малоразмерном примере методическая схема оценки эффективности крупных программ инновационного развития с помощью прикладных моделей многорегиональных систем.
3. Разработана методика комплексной оценки пространственных трансформаций экономики РФ.
4. Разработаны алгоритмы построения локально-оптимальных решений задач двухуровневого математического программирования, связанных с моделями конкурентной борьбы.
5. Разработан точный гибридный алгоритм на основе декомпозиции и генетического локального поиска в моделях ценообразования.

Намеченный в календарном плане фронт работ выполнен полностью. 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 4 этапа НИР напрашивается вывод о целесообразности продолжения работ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Williamson O. The Modern Corporation: Origins, Evolution, Attributes // Journal of Economic Literature. 1981. Vol.19. Nr.4. P.1538.
2. Шерешева М. Ю. Межорганизационные сети в системе форм функционирования современных отраслевых рынков - автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук Москва, 2006
3. Попова Ю.Ф. Сетевые отношения на промышленных рынках: результаты исследования российских компаний - Вестник СПбГУ. Сер. 8. 2010. Вып. 1 с. 139-165
4. Горлачева Е.Н. Роль межфирменного взаимодействия в формировании инновационных сетей
5. Кравченко Н.А., Кузнецова С.А., Юсупова А.Т. Развитие инновационного предпринимательства на уровне региона // Регион: экономика и социология. - 2011. - № 1. - С. 140-161.
6. Юсупова А.Т. Бизнес ассоциации на российских рынках: особенности развития, роль и значимость для компаний // Инновационная фирма: теория и практика развития : сб. науч. тр. / под ред. В.В. Титова, В.Д. Марковой ; ИЭОПП СО РАН. - Новосибирск, 2011. - С. 42-59.
7. Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А. Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2007.
8. Гранберг А.Г., Михеева Н.Н., Суслов В.И., Новикова Т.С., Ибрагимов Н.М. Результаты экспериментальных расчетов по оценке эффективности инвестиционных проектов с использованием межотраслевых межрегиональных моделей // Регион: экономика и социология. - 2010. - № 4. - С. 45-72.
9. Ибрагимов Н.М., Новикова Т.С. Оценка последствий реализации инновационных проектов на основе комплекса моделей межотраслевых и межрегиональных взаимодействий // Инновационное развитие Сибири: теория, методы, эксперименты / отв. ред. В.И. Суслов. - Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2011. - Гл. 6. - С. 81-106.
10. Михеева Н.Н., Новикова Т.С., Суслов В.И. Оценка инвестиционных проектов на основе комплекса межотраслевых межрегиональных моделей // Проблемы прогнозирования. - 2011. - № 4. - С. 78-90.
11. Суслов В.И., Новикова Т.С., Ибрагимов Н.М. Проектная экономика в условиях инновационного развития: концепция, модели, механизмы. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН 2009.

12. Деметьев В.Т., Шамардин Ю.В. Задача о выборе цен на продукцию при условии обязательного удовлетворения спроса. // Дискретный анализ и исследование операций. 2002. Серия 2. Том 9. №2. 31-40с.
13. Bouhtou M., Grigoriev A., Van Der Kraaij A.F., Van Hoesel S., Spieksma F., Uetz M. Pricing bridges to cross a river // Naval Research Logistics. 2007. V. 54, No. 4. P. 411-420
14. Dempe S. J. Foundations of bilevel programming. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2002
15. Hanjoul P., Hansen P., Peeters D. and Thisse J-F. Uncapacitated plant location under alternative spatial price policies // Market Sci. 1990, V. 36, p. 41-57.
16. Плясунов А. В., Панин А. А. Точные и приближённые алгоритмы для одной задачи фабричного ценообразования. // Дискретный анализ и исследование операций (в печати).
17. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. Москва: Мир. 1982.
18. Attallah M. Algorithms and theory of computation handbook. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
19. Ausiello G., Crescenzi P., Gambosi G., Kann V., Marchetti-Spaccamela A., Protasi M. Complexity and approximation: combinatorial optimization problems and their approximation properties. Berlin: Springer-Verlag, 1999.
20. Leggette E.W., Jr., Moore D.J. Optimization problems and the polynomial hierarchy // Theoretical Computer Science. 1981. Vol. 15. № 3. P. 279-289.
21. Панин А.А. Генетический алгоритм для одной задачи ценообразования // Труды ИВМиМГ СО РАН серия Информатика. 2009. Вып. 9. С. 190-196
22. Плясунов А.В. О вычислительных возможностях метаэвристик // Материалы Российской конференции "Дискретная оптимизация и исследование операций", Владивосток, 7-14 сентября 2007. Новосибирск: Издательство Института математики, 2007. С. 284-285.
23. Alekseeva E.V., Kochetova N.A., Kochetov Yu.A., Plyasunov A.V. Hybrid Memetic Algorithm for the Competitive p-Median Problem // Preprints of the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Moscow, Russia, June 3-5, -5 P. 2009.
24. Alekseeva E.V., Kochetova N.A., Kochetov Yu.A., Plyasunov A.V. A heuristic and exact methods for the discrete (r|p)-centroid problem // LNCS, Berlin: Springer, 2010.- V.6022, -P. 11-22.
25. Rebeiro C.C., Hansen P. Essays and surveys in metaheuristics. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. 651 p.

26. Chandru V., Hooker J.N. Optimization Methods for Logical Inference // Wiley-Interscience, 1999.
27. Dechter R. Constraint Processing // Morgan Kaufmann, 2003.
28. van Hentenryck P., Milano M. Hybrid Optimization // Springer Optimization and Its Applications. 2011. Vol. 45. P. 570.
29. Hooker J.N. Integrated Methods for Optimization // Springer, 2007.
30. Hooker J.N. Logic-Based Methods for Optimization: Combining Optimization and Constraint Satisfaction // Wiley-Interscience, 2000.
31. Lodi A., Milano M., Toth P. Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems // LNCS. 2010. Vol. 6140. P. 369.
32. Marriott K., Stuckey P. Programming with Constraints: An Introduction // The MIT Press, 1998.
33. Magnanti T.L., Wong R.D. Decomposition methods for facility location problems // Mirchandani P.D., Francis R.L. (Eds). Discrete Location Theory. - Wiley and Sons, 1990. - P. 439-478.
34. Gote G., Laughton M.A. Large scale mixed integer programming: Benders-type heuristics // European Journal of Operational Research. 1984. Vol. 16. P. 327-333.
35. McDaniel D., Devine M. A modified Benders partitioning algorithm for mixed integer programming // Management Science. 1977. Vol. 24. P. 312-319.
36. Vanderbeck F., Wolsey L.A. Reformulation and decomposition of integer programs // CORE DP - 2009. - Vol. 16. - 49 P.
37. Плясунов А. Гибридные методы решения сложных комбинаторных задач, использующие декомпозицию // Сборник докладов 8-й международной конференции "Интеллектуальная обработка информации", Республика Кипр, г. Пафос, 17-24 октября, 2010.- С. 286-289.
38. Схрейвер А. Теория линейного и целочисленного программирования. Москва: Мир. 1991.
39. Geoffrion A.V. Generalized Benders decomposition // Journal of optimization theory and application. - 1972. - Vol. 10, No.4. - P. 237-260.
40. Osman I.H., Laporte G. Metaheuristics: a bibliography // Ann. Oper. Res. 1996. V. 63. P. 513-628.
41. Dreio J., Petrowski A., Siarry P., Taillard E., Metaheuristics for Hard Optimization, Springer, 2006.
42. Mladenović N., Hansen P. Variable neighborhood search // Comput. Oper. Res. 1997. V.24. P. 1097-1100



43. Hansen P., Mladenović N. Variable neighborhood search: principles and applications (invited review) // European J. Oper. Res. 2001. V. 130, N 3. P. 449-467.
44. Hansen P., Mladenović N. Development of variable neighborhood search // Essays and surveys in metaheuristics. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2002. P. 415-440.
45. Кельманов А.В. NP-полнота некоторых задач поиска подмножеств векторов // Тр. Ин-та математики и механики УрО РАН. - 2010. - Т. 16, №3.
46. Plastino A., Fonseca E.R., Fuchshuber R., Martins S.L., Freitas A.A., Luis M., Salhi S. A hybrid data mining metaheuristic for the p-median problem // Proc. of the Ninth SIAM International Conference on Data Mining (SDM-2009), Sparks, Nevada, USA, April 30 -May 2, 2009. - P. 305-316.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А. Список публикаций исполнителей

#### Опубликованные статьи:

1. Береснев В.Л. Алгоритмы локального поиска для задачи конкурентного размещения предприятий // Автоматика и телемеханика. 2012 № 3 С. 12–27.
2. Кузнецова С.А. Стратегия технологических и продуктовых инноваций: факторы и инструменты формирования // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. - 2012. - Т. 12, вып. 1. - С. 55-68.
3. Юсупова А.Т. Cooperation between companies: types, forms and links with innovative behavior // Book of abstracts 1st International scientific conf. Frankfurt am Main, 12-13 April, 2012. P. 127-131.
4. Кочетов Ю.А., Плясунов А.В. Генетический локальный поиск для задачи разбиении графа на доли ограниченной мощности // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2012. Т. 52. № 1. С. 164–176.
5. Бобылев Г.В., Кравченко Н.А. Опыт разработки стратегических направлений инновационной политики Красноярского края // Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы 13-го всерос. симпозиума. Москва, 10-11 апр. 2012 г. Секция 4: Стратегическое планирование на мезоэкономическом (региональном и отраслевом) уровне / [под ред. Г.Б. Клейнера] ; Центральный экон.-матем. инт- РАН. - М., 2012. - С. 23-25.
6. Баранов А.О., Музыка Е.И. Оценка эффективности инновационного проекта с венчурным финансированием с использованием метода реальных опционов // Вестник НГУЭУ. - 2012. - № 1. - С. 174-180.
7. Баранов А.О., Неустроев Д.О. Взаимоувязка макромоделей и точечных динамических межотраслевых моделей с позиции отображения влияния инновационных процессов на развитие экономической системы // Инновационное развитие Сибири: теория, методы, эксперименты / отв. ред. В.И. Суслов. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2011. - Гл. 4. - С. 53-64.
8. Доможиров Д.А., Гамидов Т.Г., Ибрагимов Н.М. Вычислительные алгоритмы равновесного и коалиционного анализа оптимизационной межрегиональной межотраслевой модели // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. - 2011. - Т. 11, вып. 2. - С. 21-38.
9. Ибрагимов Н.М., Новикова Т.С. Оценка последствий реализации инновационных проектов на основе комплекса моделей межотраслевых и межрегиональных

взаимодействий // Инновационное развитие Сибири: теория, методы, эксперименты / отв. ред. В.И. Суслов. - Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2011. - Гл. 6. - С. 81-106.

10. Гамидов Т.Г., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М. Равновесие Вальраса в модели взаимодействия регионов с условными центрами. Эквивалентность теоретического подхода и прикладного метода // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. - 2011. - Т. 11, вып. 3. - С. 12-26.

11. Суслов В.И. Модели стратегического планирования развития многорегиональных систем // Управление развитием крупномасштабных систем / под ред. А.Д. Цвиркуна. - М. : Физматлит, 2012. - Разд. 2. - С. 33-47.

12. Суслов В.И. Моделирование и анализ социально-экономического развития пространственных (многорегиональных) систем // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем". 9-10 квітня 2012 р. м. Харків, Україна / Харківський нац. екон. ун-т МОН України [и др.]. - Харків : ФОП Александрова К.М., ВД "ИНЖЕК", 2012. - С. 52-58.

13. Суслов В.И. Нужно развивать рыночные институты // Эксперт-Сибирь. - 2012. - № 6. - С. 14.

14. Суслов В.И. Синергия региональных инновационных систем // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012: VIII Междунар. науч. конгресс и выставка [10-20 апреля 2012 г., Новосибирск]: Междунар. науч. конф. "Экономическое развитие Сибири и Дальнего востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью": сб. материалов в 4 т. Т. 1 / Сиб. гос. геодезич. акад. - Новосибирск : СГГА, 2012. - С. 7-14.

15. Суслов В.И. Синергия региональных инновационных систем // Инновации. - 2012. - № 1. - С. 11-14.

16. Васильев С.Н., Гончаренко С.С., Суслов В.И., Есикова Т.Н., Малов В.Ю. Стратегические задачи управления развитием транспортно-промышленного комплекса Сибири и Дальнего Востока // Управление развитием крупномасштабных систем / под ред. А.Д. Цвиркуна. - М. : Физматлит, 2012. - Разд. 3. - С. 48-68.

17. Суслов В.И., Романова О.А., Гребенкин А.В., Акбердина В.В. Сценарии долгосрочного развития старопромышленного региона // ЭКО. - 2012. - № 3. - С. 158-177.

18. Семькина И. Их слишком мало: [Иностранные инвестиции особой погоды в Сибири пока не делают. Новосибирск это тот резерв, который обязательно надо использовать] // Эксперт-Сибирь. - 2012. - № 1, 26 декабря 2011 - 29 января 2012. - С. 18-23.

19. Семькина И.О., Коледа А.В. Влияние гипертрофированного роста сферы услуг на развитие производственного потенциала города // Моделирование в задачах городской и

региональной экономики: материалы Всерос. конф., посвящ. 75-летию со дня рождения первого директора СПб ЭМИ РАН, зам. пред. Президиума СПб НЦ РАН, проф. Б.Л. Овсиевича (1936-1997). 24-25 окт. 2011 г. - СПб.: Санкт-Петерб. экон.-матем. ин-т РАН, 2011. - С. 183-186.

20. Самсонов Н., Семькина И. Наступление и отступление: [Более 67% формируемой выручки крупного бизнеса Сибири приходится на предприятия, принадлежащие федеральным холдингам] // Эксперт-Сибирь. - 2011. - № 45. - С. 22, 44-48.

21. Семькина И.О., Коледа А.В. Оценка эффекта влияния роста сферы услуг на производственный потенциал города // Социально-экономическая модернизация России и стран СНГ: 20 лет на постсоветском пространстве : сб. тез. док. Науч.-практ. конф. молодых ученых, 14-16 ноября 2011 г. / отв. ред. А.А. Горюшкин ; ИЭОПП СО РАН. - Новосибирск: Прайс-Курьер, 2011. - С. 149-150.

22. Семькина И.О. Чем опасен монополизм? // Идеи и идеалы. - 2012. - №1(11), т.1. - С. 108-110.

23. Суспицын С.А. Анализ динамики пространственной структуры экономики России на основе генетического подхода. Регион: экономика и социология. 2011, вып.4. с.80-99

24. Суспицын С.А. Региональные удорожания: методика и эмпирические оценки. Регион: экономика и социология. 2012, вып.1. с.289-298

#### Приняты к печати:

1. Халимова С.Р. Роль руководителя компании в успехе малого инновационного бизнеса // Исследования молодых ученых: отраслевая и региональная экономика, инновации, финансы и социология / Под ред. В.Е. Селиверстова и др. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2012.

2. Панин А.А., Плясунов А.В. Точные и приближённые алгоритмы для одной задачи фабричного ценообразования // Дискретный анализ и исследование операций. 2012.

3. Баранов А.О., Музыко Е.И. "Применение метода реальных опционов при венчурном финансировании инновационных проектов". Вестник финансового университета. № 3 , 2012.

4. Баранов А.О. Макроэкономический анализ основных итогов экономического развития России в постсоветский период. ЭКО № 6, 2012.

## Приложение Б. Список сделанных исполнителями докладов

На всероссийских конференциях и семинарах:

1. Кузнецова С.А. Стратегические приоритеты компаний и масштаб бизнеса. Секционный доклад на 13-м всероссийском симпозиуме «Стратегическое планирование и развитие предприятий», Москва, 10-11 апр. 2012 г.
2. Бобылев Г.В. Кравченко Н.А. «Опыт разработки стратегических направлений инновационной политики Красноярского края». Секционный доклад. Тринадцатый всероссийский симпозиум «Стратегическое планирование и развитие предприятий». Москва, ЦЭМИ РАН, 10-11 апреля 2012 года.
3. Доможиров Д.А., Гамидов Т.Г. «Равновесие Вальраса в модели взаимодействия регионов с условными центрами. Эквивалентность теоретического и прикладного подходов. Секционный доклад». Науч.-практ. конф. молодых ученых «Социально-экономическая модернизация России и стран СНГ: 20 лет на постсоветском пространстве». 14-16 ноября 2011 г. ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск.
4. Суслов В.И. «Сибирь: Российская колония, Великий торговый путь». Доклад на методологическом семинаре «Орловские чтения», посвященном 90- летию со дня рождения д.э.н Орлова Б.П., профессора Новосибирского государственного университета. Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 23 марта 2012 года.
5. Семькина И.О. Освоение ресурсов углеводородного сырья: социально-экономические эффекты для региона. VIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского «Молодёжь и наука», 19–27 апреля 2012 года, Красноярск. Секционный доклад.
6. Суспицын С.А. Моделирование и анализ трансформации экономического пространства в сценариях модернизации экономики России. Семинар «Роль пространства в модернизации России: природный и социально-экономический потенциал». Москва 23-24 мая 2012г. Секционный доклад.

На международных конференциях и семинарах:

1. Кравченко Н.А., Анохин Р.Н. Барьеры для малого инновационного бизнеса: сравнительное исследование. 1st International scientific conf. Frankfurt am Main, 12-13 April, 2012. Пленарный доклад.

2. Юсупова А.Т. Влияние ассоциаций бизнеса на поведение инновационных компаний. Секционный доклад на 13 международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, Москва, НИУ ВШЭ, 3-5 апреля 2012 г.
3. Кравченко Н.А., Анохин Р.Н. Взаимодействие государственных и частных институтов в сфере коммерциализации нанотехнологий. Секционный доклад на 13 международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, Москва, НИУ ВШЭ, 3-5 апреля 2012 г.
4. Yu. Kochetov. The VNS metaheuristic for the buffer-constrained two-machine flowshop problem. 25th Conference of European Chapter on Combinatorial Optimization. Турция, Анталия, 26–28 апреля 2012. Секционный доклад:
5. А.О. Баранов, В.Н. Павлов "Перспективы развития экономики России в 2012 – 2014 гг. " (на секции). 29-30 марта 2012 года, г. Тюмень. Доклад на Международной научно-практической конференции «Модернизация экономики, права и управления в современной России: проблемы теории и практики», Конференция организована Тюменским Гос. университетом.
6. Суслов В.И. «Линейно-программные модели в анализе равновесий пространственной экономики». Пленарный доклад. Международная научная конференция «Математика, экономика, менеджмент: 100 лет со дня рождения Л.В. Канторовича». Санкт-Петербургский государственный университет при поддержке Ассоциации ведущих университетов и при участии Российской Академии наук 7-9 февраля 2012 года.
7. Суслов В.И. «Синергия региональных инновационных систем». Пленарный доклад. Международная конференция «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». СГГА, 17-19 апреля 2012 года.
8. Суслов В.И. «Моделирование и анализ социально-экономического развития пространственных (многорегиональных) систем». Пленарный доклад. IV Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы моделирования социально-экономических систем» 9-10 апреля 2012 года, Харьковский национальный экономический университет, Украина.
9. Коледа А.В. Polycentric Urban Structure: Fujita-Ogawa Model. Российская экономическая школа, Москва. Зимняя школа-семинар в рамках HESP ReSET Project «Spatial Economics: How Geography Matters for Economics» 16.01-22.01.2012. Секционный доклад.

## Приложение В

Таблица 1 – Основные показатели прогноза развития экономики России в сбалансированном сценарии без учета проекта.

		В целом по России	Запад	Центр	Восток
Валовой выпуск	0 год (млн.руб)	52 797	22 281	18 772	11 744
	5 год (млн.руб)	75 806	32 453	26 989	16 365
	15 год (млн.руб)	128 637	56 621	45 065	26 951
	Среднегод.темп роста 5/0 год	107,50	107,81	107,53	106,86
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,43	105,72	105,26	105,12
	Среднегод.темп роста 15/0 год	106,12	106,42	106,01	105,69
Валовой внутренний продукт	0 год (млн.руб)	33 914	13 036	11 246	6 884
	5 год (млн.руб)	42 644	18 159	14 960	8 570
	15 год (млн.руб)	73 026	33 796	25 220	14 652
	Среднегод.темп роста 5/0 год	104,69	106,85	105,87	104,48
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,53	106,41	105,36	105,51
	Среднегод.темп роста 15/0 год	105,25	106,56	105,53	105,16
Максимизируемая часть конечного потребления	0 год (млн.руб)	28 175	12 397	10 988	4 790
	5 год (млн.руб)	34 441	15 223	13 260	5 958
	15 год (млн.руб)	58 940	25 934	22 574	10 432
	Среднегод.темп роста 5/0 год	104,10	104,19	103,83	104,46
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,52	105,47	105,46	105,76
	Среднегод.темп роста 15/0 год	105,04	105,04	104,92	105,33
Инвестиции в основной капитал	0 год (млн.руб)	5 739	2 263	2 023	1 453
	5 год (млн.руб)	8 203	3 153	2 927	2 123
	15 год (млн.руб)	14 085	5 798	4 637	3 650
	Среднегод.темп роста 5/0 год	107,41	106,86	107,67	107,88
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,55	106,28	104,71	105,57
	Среднегод.темп роста 15/0 год	106,17	106,47	105,69	106,33

Таблица 2 – Основные показатели прогноза развития экономики России в сценарии дефицита транспорта без учета проекта.

		В целом по России	Запад	Центр	Восток
Валовой выпуск	0 год (млн.руб)	52 797	22 281	18 772	11 744
	5 год (млн.руб)	70 633	31 849	23 186	15 903
	15 год (млн.руб)	120 371	53 487	42 118	24 767
	Среднегод.темп роста 5/0 год	105,99	107,20	104,31	106,25
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,48	105,42	106,15	104,53
	Среднегод.темп роста 15/0 год	105,65	106,01	105,54	105,10
Валовой внутренний продукт	0 год (млн.руб)	33 914	13 036	11 246	6 884
	5 год (млн.руб)	39 780	17 478	13 029	8 249
	15 год (млн.руб)	67 411	31 797	23 613	12 857
	Среднегод.темп роста 5/0 год	103,24	106,04	102,99	103,68
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,42	106,17	106,13	104,54
	Среднегод.темп роста 15/0 год	104,69	106,12	105,07	104,25
Максимизируемая часть конечного потребления	0 год (млн.руб)	28 175	12 397	10 988	4 790
	5 год (млн.руб)	32 755	14 478	12 611	5 667
	15 год (млн.руб)	53 359	23 478	20 437	9 445
	Среднегод.темп роста 5/0 год	103,06	103,15	102,79	103,42
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,00	104,95	104,95	105,24
	Среднегод.темп роста 15/0 год	104,35	104,35	104,22	104,63
Инвестиции в основной капитал	0 год (млн.руб)	5 739	2 263	2 023	1 453
	5 год (млн.руб)	7 025	3 001	2 023	2 001
	15 год (млн.руб)	14 051	5 325	5 480	3 247
	Среднегод.темп роста 5/0 год	104,13	105,81	100,00	106,61
	Среднегод.темп роста 5/15 год	107,18	105,90	110,48	104,96
	Среднегод.темп роста 15/0 год	106,15	105,87	106,87	105,51



Таблица 3 – Макроэкономические показатели прогноза развития экономики России в основных вариантах сбалансированного сценария ОМММ с учетом отраслевого и комплексного проектов.

		Отраслевой проект (вариант 4)		Комплексный проект (вариант 11)	
		В целом по России	В т.ч. Центр	В целом по России	В т.ч. Центр
Валовой выпуск	0 год (млн.руб)	52 797	18 772	52 797	22 281
	5 год (млн.руб)	77 312	28 208	77 554	32 864
	15 год (млн.руб)	127 175	45 125	130 945	56 202
	Среднегод.темп роста 5/0 год	106,78	105,68	106,85	107,86
	Среднегод.темп роста 5/15 год	104,63	103,42	104,93	105,45
	Среднегод.темп роста 15/0 год	105,34	106,27	105,56	106,25
Валовой внутренний продукт	0 год (млн.руб)	33 914	13 036	33 914	11 246
	5 год (млн.руб)	44 714	18 199	44 208	15 984
	15 год (млн.руб)	73 795	33 814	76 558	28 913
	Среднегод.темп роста 5/0 год	105,69	106,90	105,44	107,29
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,14	106,39	105,65	106,11
	Среднегод.темп роста 15/0 год	105,32	106,56	105,58	106,50
Максимизи- руемая часть конечного потребления	0 год (млн.руб)	28 175	12 397	28 175	10 988
	5 год (млн.руб)	35 504	15 693	34 906	13 439
	15 год (млн.руб)	62 659	27 570	65 689	25 159
	Среднегод.темп роста 5/0 год	104,73	104,83	104,38	104,11
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,85	105,80	106,53	106,47
	Среднегод.темп роста 15/0 год	105,47	105,47	105,81	105,68
Инвестиции в основной капитал	0 год (млн.руб)	5 739	2 263	5 739	2 023
	5 год (млн.руб)	9 211	3 402	9 302	3 715
	15 год (млн.руб)	11 135	5 064	10 869	3 259
	Среднегод.темп роста 5/0 год	109,92	108,49	110,14	112,92
	Среднегод.темп роста 5/15 год	101,92	104,06	101,57	98,70
	Среднегод.темп роста 15/0 год	104,52	105,52	104,35	103,23

Таблица 4 – Объемы и структура производства 15-го года в основных вариантах сбалансированного сценария расчетов по ОМММ с учетом двух инфраструктурных проектов.

	<i>Отраслевой проект (вариант 4)</i>				<i>Комплексный проект (вариант 11)</i>			
	В целом по России	Запад	Центр	Восток	В целом по России	Запад	Центр	Восток
<i>Объемы производства (в млн.руб)</i>	127 175	56 350	45 125	25 701	130 945	56 102	49 357	25 486
Добыча топливных ископаемых	11 467	237	7 278	3 953	8 899	241	4 201	4 458
Добыча нетопливных ископаемых	2 438	238	1 878	322	1 438	238	878	322
Металлургия и машино-строение	31 074	16 777	9 097	5 200	33 285	15 354	12 731	5 200
Прочая обрабатывающая промышленность	21 503	13 163	4 152	4 188	25 077	13 615	7 868	3 594
Сельское хозяйство	2 144	1 325	635	183	2 677	1 325	1 135	216
Транспорт	11 090	3 477	4 371	3 242	10 049	3 446	3 755	2 847
Услуги	47 460	21 134	17 714	8 612	49 520	21 883	18 788	8 849
<i>Отраслевая структура производства (в %)</i>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Добыча топливных ископаемых	9,02	0,42	16,13	15,38	6,80	0,43	8,51	17,49
Добыча нетопливных ископаемых	1,92	0,42	4,16	1,25	1,10	0,42	1,78	1,26
Металлургия и машино-строение	24,43	29,77	20,16	20,23	25,42	27,37	25,79	20,40
Прочая обрабатывающая промышленность	16,91	23,36	9,20	16,30	19,15	24,27	15,94	14,10
Сельское хозяйство	1,69	2,35	1,41	0,71	2,04	2,36	2,30	0,85
Транспорт	8,72	6,17	9,69	12,62	7,67	6,14	7,61	11,17
Услуги	37,32	37,50	39,25	33,51	37,82	39,01	38,07	34,72

Таблица 5 – Макроэкономические показатели прогноза развития экономики России в основных вариантах сценария дефицита транспорта с учетом отраслевого и комплексного проектов.

		Отраслевой проект (вариант 7)		Комплексный проект (вариант 14)	
		В целом по России	В т.ч. Центр	В целом по России	В т.ч. Центр
Валовой выпуск	0 год (млн.руб)	52 797	22 281	52 797	22 281
	5 год (млн.руб)	71 752	31 311	72 004	31 457
	15 год (млн.руб)	118 315	52 565	122 557	52 444
	Среднегод.темп роста 5/0 год	105,10	106,81	105,18	106,91
	Среднегод.темп роста 5/15 год	104,61	105,25	104,99	105,18
	Среднегод.темп роста 15/0 год	104,78	105,77	105,05	105,75
Валовой внутренний продукт	0 год (млн.руб)	33 914	13 036	33 914	13 036
	5 год (млн.руб)	41 116	17 239	40 846	17 388
	15 год (млн.руб)	68 051	31 387	70 952	31 326
	Среднегод.темп роста 5/0 год	103,93	105,75	103,79	105,93
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,17	106,18	105,68	106,06
	Среднегод.темп роста 15/0 год	104,75	106,03	105,04	106,02
Максимизи- руемая часть конечного потребления	0 год (млн.руб)	28 175	12 397	28 175	12 397
	5 год (млн.руб)	33 370	14 750	33 145	14 650
	15 год (млн.руб)	57 631	25 358	59 968	26 386
	Среднегод.темп роста 5/0 год	103,44	103,54	103,30	103,40
	Среднегод.темп роста 5/15 год	105,62	105,57	106,11	106,06
	Среднегод.темп роста 15/0 год	104,89	104,89	105,16	105,16
Инвестиции в основной капитал	0 год (млн.руб)	5 739	2 263	5 739	2 263
	5 год (млн.руб)	7 746	3 156	7 701	3 189
	15 год (млн.руб)	10 420	4 618	10 985	4 437
	Среднегод.темп роста 5/0 год	106,18	106,88	106,06	107,10
	Среднегод.темп роста 5/15 год	103,01	103,88	103,62	103,36
	Среднегод.темп роста 15/0 год	104,06	104,87	104,42	104,59

Таблица 6 – Объемы и структура производства 15-го года в основных вариантах сценария дефицита транспорта расчетов по ОМММ с учетом двух инфраструктурных проектов.

	<i>Отраслевой проект (вариант 7)</i>				<i>Комплексный проект (вариант 14)</i>			
	В целом по России	Запад	Центр	Восток	В целом по России	Запад	Центр	Восток
<i>Объемы производства (в млн.руб)</i>	118 315	52 565	42 332	23 417	122 557	52 444	47 222	22 891
Добыча топливных ископаемых	11 025	241	7 087	3 698	11 063	241	7 124	3 698
Добыча нетопливных ископаемых	2 432	232	1 878	322	2 432	232	1 878	322
Металлургия и машино-строение	29 063	15 814	8 049	5 200	30 867	14 695	10 972	5 200
Прочая обрабатывающая промышленность	18 689	12 154	3 852	2 683	22 745	12 501	7 100	3 145
Сельское хозяйство	2 036	1 222	635	178	2 036	1 222	635	178
Транспорт	11 318	3 393	4 465	3 460	9 393	3 467	3 688	2 238
Услуги	43 752	19 510	16 365	7 877	44 022	20 085	15 824	8 112
<i>Отраслевая структура производства (в %)</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>
Добыча топливных ископаемых	9,32	0,46	16,74	15,79	9,03	0,46	15,09	16,15
Добыча нетопливных ископаемых	2,06	0,44	4,44	1,37	1,98	0,44	3,98	1,40
Металлургия и машино-строение	24,56	30,08	19,01	22,21	25,19	28,02	23,23	22,72
Прочая обрабатывающая промышленность	15,80	23,12	9,10	11,46	18,56	23,84	15,04	13,74
Сельское хозяйство	1,72	2,33	1,50	0,76	1,66	2,33	1,35	0,78
Транспорт	9,57	6,45	10,55	14,78	7,66	6,61	7,81	9,78
Услуги	36,98	37,12	38,66	33,64	35,92	38,30	33,51	35,44

Таблица 7 – Показатели прямого и косвенного эффекта в различных вариантах экспериментальных расчетов (млн. руб.).

Варианты	Прямой эффект				Полный эффект			
	В целом по России	Запад	Центр	Восток	В целом по России	Запад	Центр	Восток
<i>Варианты сбалансированного развития</i>								
<i>Отраслевой проект</i>								
Вариант 3	561,8	-51,8	585,9	27,8	2490,2	-40,6	2477,2	53,6
Вариант 4	925,3	-36,0	923,7	37,6	2641,4	-24,9	2610,2	56,2
Вариант 5	1391,4	-31,4	1384,2	38,7	2641,4	-24,9	2610,2	56,2
<i>Комплексный проект</i>								
Вариант 9	1335,7	79,2	1486,7	-230,2	1545,4	-49,9	1315,6	279,8
Вариант 11	81,8	-65,1	-32,4	179,3	1713,9	-56,6	1489,6	280,8
<i>Варианты дефицита транспорта</i>								
<i>Отраслевой проект</i>								
Вариант 6	577,8	-7,4	545,0	40,2	2188,2	3,3	2132,7	52,1
Вариант 7	919,0	5,6	862,1	51,3	2320,8	19,3	2241,0	60,5
<i>Комплексный проект</i>								
Вариант 14	81,2	-27,8	-116,7	225,7	2982,4	-1,7	2750,2	233,8