# ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

# МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ: АЗИАТСКАЯ РОССИЯ В ЭКОНОМИКЕ СТРАНЫ

Под редакцией А.О. Баранова и В.И. Суслова УДК 338.984.2 ББК 65.9(2Р)30-2 М 744

DOI 10.36264/978-5-89665-376-9-2023-012-436

#### Реиензенты:

чл.-корр. РАН А.А. Широв, д.э.н. Г.П. Литвинцева, д.э.н. А.В. Алексеев

М 744 Модели и методы прогнозирования: Азиатская Россия в экономике страны / под ред. А.О. Баранова и В.И. Суслова. — Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2023. — 436 с.

ISBN 978-5-89665-376-9

В монографии представлено описание комплекса моделей КОМПАС-ДАР, разработанного в ИЭОПП СО РАН в последние годы. В него включены новые модельные конструкции и модифицированные модели, разработанные в предшествующие периоды. КОМПАС-ДАР позволяет выполнять аналитические и прогнозные расчеты по экономике России и ее регионам, а также отдельным отраслям. Система КОМПАС-ДАР имеет ряд существенных отличий от разработанных ранее моделей: модели макроуровня включают эконометрические конструкции для краткосрочного прогнозирования (DSGE модели, общеравновесную межотраслевую модель), в межрегиональных моделях учитывается поведение экономических агентов, в ДММ-КАМИН включен блок воспроизводства человеческого капитала, в моделях макро- и регионального уровня отображены процессы влияния экономической деятельности на окружающую среду, в финансовых моделях инвестиционных проектов используется техника реальных опционов и нечетко-множественный анализ. В монографии отражены результаты работы по гранту на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2020-804 (№ 13.1902.21.0016), а также результаты работы по проектам плана НИР ИЭОПП СО РАН: № 121040100262-7 и № 121040100281-8.

> УДК 338.984.2 ББК 65.9(2Р)30-2

# INSTITUTE OF ECONOMICS AND INDUSTRIAL ENGINEERING SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

# FORECASTING MODELS AND METHODS: ASIAN RUSSIA IN THE COUNTRY'S ECONOMY

Edited by Alexander Baranov, Victor Suslov

Forecasting Models and Methods: Asian Russia in the Country's Economy / edited by A.O. Baranov, V.I. Suslov. – Novosibirsk: SB RAS: IEIE SB RAS, 2023. – 436 p.

The monograph presents a description of the COMPASS-DAR model complex developed at the IEIE of the SB RAS during recent years. It includes both new models and modified models developed in previous periods. COMPASS-DAR allows you to perform analytical and forecast calculations on the economy of Russia and its regions, as well as individual industries. The COMPASS-DAR system has a number of significant differences from the models developed earlier in the IEIE of the SB RAS: macro-level models include econometric constructions designed for short-term forecasting (DSGE models, a general equilibrium intersectoral model), the interregional models take into account the behavior of economic agents, the DIOM-KAMIN includes a block of reproduction of human capital, the macro and regional level models reflect the processes of the impact of economic activity on the environment. the simulation financial models of investment projects use the technique of real options and a fuzzy sets approach. The monograph includes the results of the work on the grant for major scientific projects in priority areas of scientific and technical development of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 075-15-2020-804 (No. 13.1902.21.0016), as well as the results of the work on the project of research plan of the IEIE SB RAS: № 121040100262-7 and № 121040100281-8.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	9
Глава 1. Архитектура системы КОМПАС-ДАР	
Литература к главе 1	15
Глава 2. Модели макроуровня	16
2.1. DSGE-модели для краткосрочного прогнозирования экономики России	16
ры его применения	16
2.1.2. Домашние хозяйства и их предпочтения	18
2.1.3. Производственный сектор и технологии	27
2.1.4. Монетарная и фискальная политика	51
2.1.5. Условия равновесия на рынках и платежный баланс	52
2.1.6. Уравнения модели в лог-линеаризованной фор-	
ме	54
2.1.7. Формирование ожиданий в модели	
2.1.8. Пример DSGE-модели экономики России с ма-	
лым числом уравнений	65
2.1.9. Домашние хозяйства и их предпочтения в моде- ли с малым числом уравнений	60
ли с малым числом уравнении 2.1.10. Производственный сектор и технологии в мо-	08
дели с малым числом уравнений	71
2.1.11. Монетарная и фискальная политика в модели	
с малым числом уравнений	76
2.1.12. Лог-линеаризованные уравнения модели с ма-	
лым числом уравнений	78
2.1.13. Неоднородное адаптивное обучение агентов	
в модели с малым числом уравнений	
Литература к разделу 2.1	84
2.2. Общеравновесная межотраслевая модель для кратко-	
срочного прогнозирования макро- и отраслевой ди-	
намики	88
2.2.1. Общая концепция общеравновесной межотрас-	
левой модели	88
2.2.2. Прикладная версия общеравновесной межот-	
раслевой модели для экономики России	91

	<b>Лежотраслевые динамические модели</b>	
5.1. 10	чечная динамическая межотраслевая модель систе-	
	ы КОМПАС-ДАР	
	пература к разделу 3.1	
	инамическая межотраслевая модель с блоком охраны	
	кружающей среды	
	ратура к разделу 3.2	
	остроение блока человеческого капитала в динамиче-	
	кой межотраслевой модели	
	инамические мультипликативные эффекты инвести-	
	ий в межотраслевой модели	
	4.1. Математическое описание действия динамиче-	
	ского мультипликатора инвестиционных расхо-	
	дов в ДММ-КАМИН	
3.	4.2. Схема распределения во времени инвестиций	
	и формирования вводов в действие основных	
	фондов	
3.	4.3. Схематическое описание формирования муль-	
	типликативных эффектов от инвестиций в ос-	
	новной капитал в экономике в рамках динамиче-	
	ской межотраслевой модели	
Литер	ратура к разделу 3.4	
~	Оптимизационные модели взаимодействия Европе	
	й и Азиатской частей России	
<b>ско</b> і 4.1. Фо	ормальная постановка статической межотраслевой	
<b>ско</b> і 4.1. Фо	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового года	
<b>ско</b> і 4.1. Фо мо 4.2. Фо	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового годаормальная постановка полудинамической межотрасле-	
4.1. Фо мо 4.2. Фо во	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового годаормальная постановка полудинамической межотраслей модели	
4.1. Фо мо 4.2. Фо во 4.3. Фо	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового годаормальная постановка полудинамической межотраслей моделиормальная постановка статической межрегиональной	
4.1. Фо мо 4.2. Фо во 4.3. Фо мо	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового года	
4.1. Фо мо 4.2. Фо 80 4.3. Фо 4.4. Фо	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового года	
4.1. Фо 4.2. Фо 80 4.3. Фо 4.4. Фо 80	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового года	
4.1. Фо 4.2. Фо 80 4.3. Фо 4.4. Фо 80 4.5. Оп	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового года	
4.1. Фо мо 4.2. Фо во 4.3. Фо 4.4. Фо во 4.5. Оп	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового года	
4.1. ФС 4.2. ФС 80 4.3. ФС 4.4. ФС 80 4.5. ОП 60 4.6. МС	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового года	
4.1. Фо 4.2. Фо 80 4.3. Фо 4.4. Фо 80 4.5. Ог ко 4.6. Мо	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового года	
4.1. Фо 4.2. Фо 4.3. Фо 4.4. Фо 4.5. Оп ко 4.6. Мо 6а 4.7. Мо	ормальная постановка статической межотраслевой одели базового года	

4.7.1. Взаимосвязь OMMM и AOMMM	232
4.7.2. Моделирование капитала, труда и финансовых ре-	
сурсов в пространственной агент-ориентированной	
модели	236
Литература к главе 4	
Глава 5. Специализированные межрегиональные межотрас-	
левые модели	248
5.1. ОМВЕАР-Энергетический Сектор – методические,	
информационные и прогнозные аспекты	248
5.1.1 OMBEAP-ЭС - модель направленной детализа-	
ции. Постановка задачи.	248
5.1.2 Особенности построения ОМВЕАР-ЭС. Сравни-	
тельные характеристики	249
5.1.3 Представление точки отсчета, ретроспективных	
и прогнозных ориентиров в ОМВЕАР-ЭС в кон-	
тексте общих решений модели ОМВЕАР. Ин-	
формационные и методические аспекты	268
Литература к разделу 5.1	<i>2</i> 93
5.2. Детализация транспортной отрасли в межрайонной	
межотраслевой модели: взаимосвязь ОМММ-О	
и ОМММ-транспорт	
Литература к разделу 5.2	318
Глава 6. Региональные модели	319
6.1. Межотраслевая модель экономики Республики Саха	
(Якутии)	319
Литература к разделу 6.1	
6.2. Модель региональной системы обращения с ТКО и ре-	
зультаты расчетов для Новосибирской области	341
Литература к разделу 6.2	
Глава 7. Оценка мультипликативных эффектов инвестиционных проектов с использованием когнитивного модели-	
рования	359
7.1. Синергия инвестиционных проектов	
7.1. Синергия инвестиционных проектов	339
строение когнитивной схемы	362
7.3. Проведение и получение результатов динамического	502
анализа	366

7.4. Развитие промышленных кластеров как предпосылка	
экономической мультипликации. Комплексный инве-	
стиционный проект «Енисейская Сибирь»	369
7.5. Оценка влияния инвестиционного импульса	
в Азиатской России на экономический рост в стране	374
Литературы к главе 7	
• ••	317
Глава 8. Апробация методики реальных опционов для оцен-	
ки эффективности венчурного финансирования в про-	
мышленности	380
8.1. Постановка задачи и введение в проблему исследова-	
ния	380
8.2. Методология исследования	
8.3. Результаты оценки коммерческой эффективности ин-	
новационного проекта импортозамещения в сфере	
парфюмерно-косметической промышленности мето-	
дом реальных опционов	303
дом реальных опционов	
литеритура к главе в	
Глава 9. Энергетические модели мезоуровня	410
9.1. Развитие и трансформация моделирования отраслевых	
подсистем ТЭК комплекса: эволюция, иерархия, тен-	
денции,	410
9.2. Энергетическая модель России	
9.3. Модель перспективного развития ТЭК региона	
(РТЭК)	417
9.3.1 Особенности построения ОМВЕАР-ЭС. Сравни-	
тельные характеристики	417
9.3.2 Особенности построения ОМВЕАР-ЭС. Сравни-	11 /
тельные характеристики	421
9.4. Модели регионального топливно-энергетического	721
баланса	128
Литература к главе 9	
JIMINGDAINVING & GILUBE 7	TJJ

### Предисловие

В ИЭОПП СО РАН с 60-х годов XX века проводились исследования по построению экономико-математических моделей различного уровня: от моделей отдельных предприятий до конструкций, позволяющих моделировать развитие национальной экономики, отдельных регионов, межрегиональные и межотраслевые связи. Эти работы выполнялись с участием и под руководством таких известных экономистов, как А.Г. Аганбегян, А.Г. Гранберг, А.М. Алексеев, М.К. Бандман, С.М. Меньшиков, В.К. Озеров, Ю.А. Чижов, Н.Ф. Шатилов и других исследователей. Описание созданных в советские годы и в первые два десятилетия постсоветского периода систем моделей было дано в ряде монографий: Оптимизация территориальных систем (под ред. Суспицына С.А., Новосибирск, ИЭОПП СО РАН, 2010 г.); Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов (отв. ред. В.В. Кулешов, Н.И. Суслов; РАН, Сиб. отд-ние, ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2014); Исследование экономики России с использованием моделей с нечеткими параметрами (отв. ред. А.О. Баранов, В.Н. Павлов; Новосиб. гос. ун-т, ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2009) и других публикациях.

В монографии дано описание комплекса моделей КОМПАС-ДАР (Комплекс Прогнозно-Аналитических Средств Для Азиатской России), разработанного в ИЭОПП СО РАН в последние годы. В него включены как новые модельные конструкции, так и модифицированные модели, разработанные в предшествующие периоды. КОМПАС-ДАР позволяет выполнять аналитические и прогнозные расчеты по экономике России, ее федеральным округам и отдельным регионам, а также отдельным отраслям.

Система КОМПАС-ДАР имеет ряд существенных отличий от комплексов моделей, разработанных ранее в ИЭОПП СО РАН:

- модели макроуровня включают эконометрические конструкции, предназначенные для краткосрочного прогнозирования (DSGE модели различных модификаций, общеравновесную межотраслевую модель),
- в межрегиональных моделях учитывается поведение экономических агентов,

- в точечную ДММ-КАМИН (Динамическая Межотраслевая Модель, включенная в Комплекс Анализа Межотраслевой Информации, являющийся элементом КОМПАС-ДАР) включен блок воспроизводства человеческого капитала,
- в моделях макро- и регионального уровня отображены процессы влияния экономической деятельности на окружающую среду и услуги по ее охране,
- в имитационных финансовых моделях инвестиционных проектов используется техника реальных опционов и нечеткомножественный подход. Применение аппарата нечетких множеств при моделировании экономических процессов на макрои микроуровнях открывает возможности оценить устойчивость эндогенных переменных по отношению к вариации экзогенных параметров и определить надежность полученных прогнозных оценок.

В целом представленная в монографии система моделей позволяет выполнять комплекс согласованных аналитических и прогнозных расчетов, характеризующих экономическую динамику на макро-, отраслевом и межотраслевом, региональном и межрегиональном уровнях, а также проводить углубленный анализ эффективности инвестиционных проектов.

Текст монографии подготовлен авторским коллективом в следующем составе: д.э.н. Баранов А.О. (предисловие, глава 1, разделы 3.1, 3.2, 3.4, глава 8); Бузулуцков В.Ф. (раздел 5.1.); д.э.н. Гильмундинов В.М. (раздел 2.2); Гореев А.В. (раздел 3.4); Ершов Ю.С. (разделы 4.1-4.6); д.э.н. Ибрагимов Н.М. (разделы 4.1-4.6); Ph.D. (Economics) Колюжнов Д.В. (раздел 2.1); к.э.н. Костин А.В. (глава 7); Костин В.С. (раздел 4.5); Ляхнова М.В. (подразделы 2.1.8-2.1.13); д.э.н. Малов В.Ю. (раздел 5.2); к.э.н. Маркова В.М. (глава 9); д.э.н. Мелентьев Б.В. (раздел 5.2); д.э.н. Музыко Е.И. (глава 8); д.э.н. Новикова Т.С. (раздел 4.7); д.т.н. Павлов В.Н. (раздел 3.1); Панкова Ю.В. (раздел 6.1); Рогачев Н.С. (раздел 6.2); к.э.н. Слепенкова Ю.М. (раздел 3.3); чл.-корр. РАН Суслов В.И. (глава 1, глава 4); д.э.н. Суслов Н.И. (глава 1, раздел 5.1); д.э.н. Тагаева Т.О. (раздел 3.2); к.э.н. Тарасова О.В. (раздел 5.2); к.э.н. Чурашев В.Н. (глава 9); к.э.н. Цыплаков А.А. (раздел 4.7); к.э.н. Ягольницер М.А. (глава 7).

### Глава 1

# АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ КОМПАС-ДАР

КОМПАС-ДАР (КОМплекс Система Прогнозно-Аналитических Средств Для Азиатской России) разработана в ИЭОПП СО РАН и представляет собой комплекс взаимосвязанных моделей, позволяющих прогнозировать развитие экономики России на макро-, мезо-, региональном и отраслевом уровнях. Входящие в систему макро- и многоотраслевые динамические модели основаны на единой информационной базе. При этом каждая модель характеризуется специфическими особенностями методов построения исходной информационной базы, обусловленными целями, для которых создается каждый входящий в систему прогнозно-аналитический инструмент. Результаты расчетов по каждой модели, входящей в комплекс КОМПАС-ДАР могут быть использованы в других моделях. Это позволяет получать прогнозы, согласованные по основным предсказываемым параметрам.

В комплексе КОМПАС-ДАР выделяется двухуровневая система точечных моделей экономики. В состав этой двухуровневой системы входят DSGE модель (динамическая стохастическая модель общего равновесия), ДММ-КАМИН (динамическая межотраслевая модель, входящая в систему Комплексного Анализ Межотраслевой ИНформации) и ОМДМ (общеравновесная многоотраслевая динамическая модель – рис. 1.1).

DSGE и ОМДМ представляют собой эконометрические модели, предназначенные для краткосрочного прогнозирования развития экономики России с поквартальным шагом.

ДММ-КАМИН является инструментом среднесрочного и долгосрочного прогнозирования национальной экономики с го-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Система КАМИН разработана в ИЭОПП СО РАН в различных модификациях (см., например, [1]). В данном проекте она включается в систему КОМПАС-ДАР как составной ее элемент.

довым шагом. Особенность данной модели состоит в том, что воспроизводство основного капитала моделируется в ней с учетом распределенных во времени инвестиционных лагов. Она может быть использована в прогнозных расчетах как в детерминистской версии, так и с применением аппарата нечетких множеств [1]. В последнем случае могут быть оценены надежность прогноза и устойчивость прогнозных показателей по отношению к вариации экзогенных переменных.

DSGE модель позволяет выполнить достаточно достоверный прогноз основных макроэкономических показателей: ВВП, инвестиций в основной капитал, конечного потребления домашних хозяйств на период до 8 кварталов. Помимо этого, эта модель позволяет оценить влияние инструментов экономической политики на развитие национальной экономики в краткосрочном аспекте с учетом воздействия изменений в экономической политике на поведение экономических агентов.

Информация о темпах роста макроэкономических показателей, полученная по результатам прогнозных расчетов по DSGE модели, передается в ОМДМ. Результаты прогнозирования макропоказателей по DSGE модели учитываются при построении краткосрочных отраслевых прогнозов с использованием ОМДМ (рис. 1.2).

Агрегированные в годовую информацию результаты расчетов по DSGE-модели и ОМДМ передаются как входные параметры для расчетов по ДММ-КАМИН (горизонтальные и межуровневые связи). Это прогнозные значения темпов роста ВВП, валового выпуска национальной экономики, инвестиций в основной капитал, валовых выпусков по видам экономической деятельности, выделенных в общеравновесной многоотраслевой модели. Прогноз с использованием ДММ-КАМИН с годовым шагом выполняется на период до 5–20 и более лет с учетом результатов расчетов по DSGE модели и ОМДМ для первых лет прогнозного периода (см. рис. 1.2).

ДММ-КАМИН является полностью динамической межотраслевой моделью. Это означает, что расчет всей совокупности макро- и отраслевых показателей осуществляется для каждого года прогнозного периода. Разработанные в ИЭОПП СО РАН в рамках данного проекта различные модификации ОМВЕАР (Оптимиза-

ционной Модели Взаимодействия Европейской и Азиатской России — см. [3]) являются полудинамическими. Для моделей этого класса формируется информационная база года, являющегося отправным при проведении прогнозных расчетов. Далее задаются параметры роста инвестиций в основной капитал для всего прогнозного периода и, с учетом этих параметров, рассчитываются все макро- и отраслевые показатели последнего года прогнозного периода. С использованием показателей последнего и базового года прогнозного периода определяются среднегодовые темпы роста всей совокупности макро-, региональных и отраслевых показателей.

В связи с отличиями в расчете динамики макро- и отраслевых показателей по ДММ-КАМИН и ОМВЕАР для согласования прогнозных показателей, полученных по результатам расчетов по ДММ-КАМИН, с прогнозными показателями, полученными по ОМВЕАР, в последнюю передаются только среднегодовые темпы роста макроэкономических (ВВП, валовой выпуск, инвестиции в основной капитал, конечное потребление домашних хозяйств) и отраслевых показателей (темп роста валовых выпусков, инвестиций в основной капитал и т.д. – см. рис. 1.2).

После проведения прогнозных расчетов с использованием ОМВЕАР могут быть уточнены темпы роста макропоказателей (ВВП, валового выпуска, инвестиций в ОК и т.д.) и отраслевых индикаторов (валовых выпусков и отраслевых инвестиций в ОК) с учетом специфики динамики этих экономических переменных на региональном уровне.

В ОМВЕАР для согласования прогнозных показателей передаются также результаты прогнозирования развития регионов — темпы роста валового выпуска, ВРП, инвестиций в основной капитал, валовых выпусков отраслей и др. (см. рис. 1.2). При этом прогнозные показатели развития регионов передаются не только в базовую ОМВЕАР, но могут быть переданы также для согласования результатов прогнозных расчетов в специализированные модели (ОМВЕАР-ЭС (Энергетический сектор), ОМВЕАР-транспорт).

 $<sup>^{1}</sup>$  Более подробно описание отличий ДММ-КАМИН и ОМВЕАР-ОМММ см. в [2].

Результаты прогнозных расчетов по моделям отраслевых комплексов передаются как в ОМВЕАР, так и в ДММ-КАМИН для уточнения прогнозов темпов роста соответствующих отраслей национальной экономики и регионов (рис. 1.2).

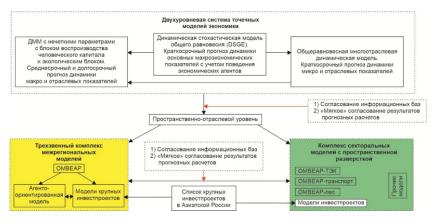


Рис. 1.1. Укрупненная схема системы КОМПАС-ДАР

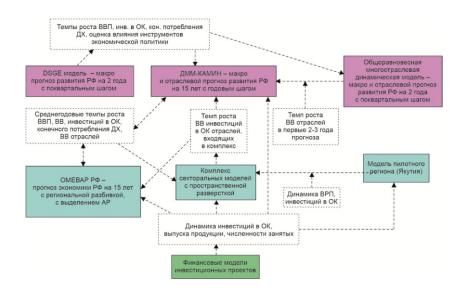


Рис. 1.2. Схема взаимодействия моделей системы КОМПАС-ДАР

Для оценки воздействия крупных инвестиционных проектов, реализуемых на территории Азиатской России (АзР), на развитие этого региона и страны в целом результаты прогнозных расчетов по имитационным финансовым моделям этих проектов передаются в различные варианты ОМВЕАР (в зависимости от специфики проекта) и в ДММ-КАМИН. Это такие показатели, как динамика прироста валового выпуска, полученного в результате реализации проекта, инвестиций в основной капитал, численности занятых; величина дополнительных поступлений в консолидированный бюджет РФ (рис. 1.2).

Информационные базы всех моделей, включенных в систему КОМПАС-ДАР, а также файлы с результатами выполненных по ним прогнозных расчетов передаются для включения в базу данных, формируемую в ИЭОПП СО РАН [3] в части блока информационного обеспечения аналитических и прогнозных расчетов по экономике России, Азиатской России, отдельных регионов и видов экономической деятельности.

## Литература к главе 1

- 1. Баранов А.О., Павлов В.Н., Слепенкова Ю.М. Разработка динамической межотраслевой модели с блоком человеческого капитала // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 1. С. 14–25.
- 2. Баранов А.О., Ершов Ю.С., Павлов В.Н. Гармонизация расчетов по точечной динамической межотраслевой модели и модельно-программному комплексу с пространственными моделями экономики // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 2. С. 5–14.
- 3. Новый импульс Азиатской России / Под ред. В.А. Крюкова, Н.И. Суслова; Сибирское отделение Российской академии наук, Институт экономики и организации промышленного производства. Новосибирск: Изд-во СО РАН: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2022, главы 12, 13.

### Глава 2

## МОДЕЛИ МАКРОУРОВНЯ

# 2.1. DSGE-модели для краткосрочного прогнозирования экономики России

# 2.1.1. Общая характеристика DSGE-подхода и примеры его применения

Рассматриваемый нами DSGE-подход в настоящее время широко распространен не только в академической среде, но и среди крупнейших центральных банков, а также среди международных финансовых организаций. Собственные DSGE-модели применяют Банк Швеции [1], ЕЦБ (модель NAWM) [2, 3], ФРС США (модель EDO) [4, 5], Банк Канады (модели ТоТЕМ и ТоТЕМ II) [6, 7], Банк Англии (модели BEQM и COMPASS) [8, 9], Норвежский Банк (модель NEMO) [10], МВФ (модели GEM и GIMF) [11], и множество центральных банков по всему миру.

Среди отечественных исследователей, применяющих DSGEподход для моделирования российской экономики, можно выделить А.В. Полбина и С.М. Дробышевского [12, 13], О.А. Малаховскую и А.Р. Минабутдинова [14], С.М. Иващенко [15, 16], а также Д.А. Крепцева и С.М. Селезнева [17, 18].

При моделировании российской экономики важную роль играет включение в модель топливно-энергетического и нефтегазового комплекса. Проблемами включения в DSGE-модель фирм нефтегазового сектора и добавления нефти в качестве отдельного вида товара, экспортируемого и используемого в качестве одного из факторов производства, занимались А. Ферреро, М. Сенека [19], А.В. Полбин и С.М. Дробышевский, [12, 13] В. Акурио-Васконес [20] и др.

Для адекватного описания поведения разных групп агентов российской экономики в ответ на различные шоки необходимо учитывать структурную неоднородность домашних хозяйств. Вопрос дифференциации домашних хозяйств по видам и классам рассматривался, например, в работах у Н. Мэнкью [21], Дж. Гали и др. [22, 23], Р. Марто [24], А. Алгожиной [25].

Отдельные элементы конструкции нашей модели основаны на построениях известной DSGE-модели Ф. Сметса и Р. Ваутерса [26]; модели А. Алгожиной [25]; а также моделей из работ в рамках серии докладов об экономических исследованиях Банка России за авторством Д.А. Крепцева и С.М. Селезнева [17, 18].

Как и большинство авторов DSGE-моделей, мы рассматриваем малую открытую экономику со структурной неоднородностью агентов, представленной тремя типами домашних хозяйств, семью видами фирм. Также отдельным агентом экономики рассматривается Центральный банк. В модели происходит распределение таких факторов производства, как труд, капитал (домашних хозяйств и государства) и энергия, формируемая в виде потребляемой внутри страны нефтегазовой продукции, а также непосредственно сама нефтегазовая продукция. Общая схема для моделируемой экономики представлена на рис. 2.1.1.

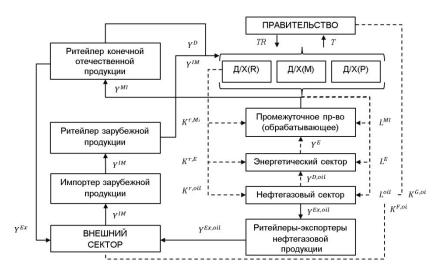


Рис. 2.1.1. Структура модельной экономики

Представленная схема в большей мере отражает перераспределение основных факторов производства и потоки товаров в модельной экономике. Помимо этого, в моделируемой нами системе предполагается наличие центрального банка, а также внутренних (домохозяйства покупают государственные облигации) и внешних займов (домохозяйства вкладываются в зарубежные ценные бумаги, а также правительство занимает средства за рубежом через государственные облигации).

# 2.1.2. Домашние хозяйства и их предпочтения

В моделируемой экономике население состоит из континуума бесконечно живущих домашних хозяйств на интервале  $j \in [0; 1]$ , максимизирующих свою ожидаемую дисконтированную полезность за всю жизнь при заданном бюджетном ограничении. Множество домохозяйств разделено на три основных подмножества, которые, в свою очередь, описывают различные поведенческие характеристики потребителей в зависимости от способов формирования сбережений, доступа к финансовым рынкам и источников нетрудового дохода. Так, в предложенной системе существует два вида рикардианских домашних хозяйств, отражающих поведение «среднего класса» и «богатых», а также один вид нерикардианских домохозяйств, задающих поведенческую модель для «бедных».

Доля «богатых» домохозяйств, получающих дивиденды от фирм различных секторов и обладающих доступом к финансовым, капитальным рынкам, обозначаемых множеством R, равна  $\alpha_r$ , а доля домохозяйств «среднего класса», обозначаемых множеством M, получающих трудовой доход и имеющих доступ лишь к отечественному финансовому рынку, в свою очередь, равна  $\alpha_m$ . В то же время существует доля  $1-\alpha_r-\alpha_m$  «бедных» домохозяйств, обозначаемых множеством P, совокупный доход которых представлен в виде государственных аккордных трансфертов и заработной платы, получаемой от труда, предложенного на соответствующем рынке. Индексы r,m и p далее обозначает принадлежность как экзогенных, так и эндогенных поведенческих параметров модели к определенному типу рассматриваемых домашних хозяйств — к «богатым», «среднему классу» и к «бедным» соответственно.

Каждое домохозяйство независимо от типа определяет оптимальное количество потребления конечных товаров и услуг, сбережений, а также количество рабочих часов. Периодная функция полезности индивидов в модели задается нами (как и в большинстве исследований, использующих DSGE-моделирование) в виде

аддитивно-сепарабельной CRRA функции, положительно зависящей от отклонения реального потребления  $C_t$  от привычек  $h_c C_{t-1}$ , и отрицательно – от количества трудовых часов  $L_t$ :

$$U(C_t(j), L_t(j)) = Z_t^c \frac{\left(C_t(j) - h_c^i C_{t-1}^i\right)^{1-\sigma_c}}{1 - \sigma_c} - Z_t^l \frac{L_t(j)^{1+\sigma_L}}{1 + \sigma_L},$$
(2.1.1)

где  $Z_t^c$  — экзогенный шок, отвечающий за изменение предпочтений домохозяйств относительно потребления;  $Z_t^l$  — экзогенный шок, отвечающий за предпочтения домохозяйств относительно количества отработанных часов;  $h_c$  — коэффициент, отвечающий за формирование привычек в потреблении,  $h_c \in (0; 1)$ ;  $\sigma_c > 0$ — коэффициент, отвечающий за кривизну положительной полезности потребления;  $\sigma_L > 0$ — коэффициент, отвечающий за кривизну отрицательной полезности труда. Данный вид функции полезности подразумевает, что индивид теряет полезность не только от самого факта снижения уровня потребления  $C_t$ , но и от вынужденного отказа от привычного объема  $h_c^i C_{t-1}^i$ .

Далее, в модели предполагается, что  $C_t(j)$  представляет собой потребление корзины отечественных D и импортных IM благ, представленного в виде следующего CES-агрегатора:

$$C_{t}(j) = \left[ \left( \gamma_{c} \right)^{\frac{1}{\nu_{c}}} \left( C_{D,t}(j) \right)^{\frac{\nu_{c}-1}{\nu_{c}}} + \left( 1 - \gamma_{c} \right)^{\frac{1}{\nu_{c}}} \left( C_{IM,t}(j) \right)^{\frac{\nu_{c}-1}{\nu_{c}}} \right]^{\frac{\nu_{c}}{\nu_{c}-1}}, \forall j \quad (2.1.2)$$

где $C_{D,t}(j)$  — потребление товаров отечественного производства;  $C_{IM,t}(j)$  — потребление импортных товаров;  $\gamma_c$  — доля домашних товаров, потребляемых домохозяйством;  $\upsilon_c$  — эластичность замещения между отечественными и импортными товарами.

Теперь перейдем к непосредственной постановке оптимизационных задач каждым типом домохозяйств  $(r, m \ u \ p)$ , отличающихся друг от друга статистически оцененными экзогенными параметрами и бюджетными ограничениями. Каждое домохозяйство решает соответствующую своему типу оптимизационную задачу межвременного выбора, заключающуюся в максимизации ожидаемой приведенной по субъективному коэффициенту дисконтирования полезности  $\beta$  за счет поиска оптимальных значений потребления корзины отечественных и импортных благ  $\mathcal{C}_t(j)$ , трудовых часов  $L_t(j)$  и о пересмотре заработной платы.

«Богатое» домохозяйство r максимизирует свою полезность (2.1.3) по потреблению, капиталу, займам и отработанным часам с учетом бюджетного ограничения (2.1.5), задающего связь доходов, расходов и заимствований, в котором учитывается, что «богатые» агенты, помимо прочего, принимают решение об использовании капитала в номинальном выражении  $K_t^n(j)$ , а также о покупке государственных облигаций  $B_t^H(j)$  на отечественном рынке и покупке ценных бумаг  $B_t^W(j)$  — на зарубежном:

$$E_{0} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^{t} \left( Z_{t}^{c} \frac{(C_{t}(j) - h_{c}^{r} C_{t-1}^{r})^{1-\sigma_{c}}}{1 - \sigma_{c}} - Z_{t}^{l} \frac{L_{t}(j)^{1+\sigma_{L}}}{1 + \sigma_{L}} \right) \rightarrow \max_{\{C_{t}(j), L_{t}(j)\}_{t=0}^{\infty}, (2.1.3)}$$

$$j \in R, R = [0; \alpha_{r}), 0 < \alpha_{r} < 1,$$

$$C_{t}(j) = \left[ \left( \gamma_{c} \right)^{\frac{1}{\nu_{c}}} \left( C_{D,t}(j) \right)^{\frac{\nu_{c}-1}{\nu_{c}}} + \left( 1 - \gamma_{c} \right)^{\frac{1}{\nu_{c}}} \left( C_{IM,t}(j) \right)^{\frac{\nu_{c}-1}{\nu_{c}}} \right]^{\frac{\nu_{c}}{\nu_{c}-1}}, \ \forall j \in \mathbb{R}$$
 (2.1.4)

$$\begin{split} P_{t}^{D}C_{D,t}(j) + P_{t}^{IM}C_{IM,t}(j) + B_{t+1}^{H}(j) + S_{t}B_{t+1}^{W}(j) + K_{t+1}(j) + \\ + T_{t}(j) &= W_{t}(j)L_{t}(j) + (1 + R_{t-1}^{H})B_{t}^{H}(j) + S_{t}(1 + R_{t-1}^{W})B_{t}^{W}(j) + \\ + (1 + R_{t-1}^{K})K_{t}^{n}(j) + D_{t}(j) + TR_{t}(j), \\ j &\in R, \ \forall \ t \end{split} \tag{2.1.5}$$

$$\begin{split} L_{t}(j) &= L_{t}^{MI}(j) + L_{t}^{E}(j) + L_{t}^{oil}(j) \\ C_{D,t}(j), C_{IM,t}(j) &\geq 0, \\ L_{t}^{MI}(j), L_{t}^{E}(j)_{t}, L_{t}^{oil}(j) &\geq 0, \\ K_{t+1}^{n}(j) &\geq 0, \\ j &\in R, \ \forall \ t \end{split} \tag{2.1.6}$$

где  $C_{D,t}(j)$  — потребление товаров отечественного производства;  $C_{IM,t}(j)$  — потребление импортных товаров;  $P_t^D$  — индекс потребительских цен внутри страны;  $P_t^{IM}$  — индекс импортных цен;  $R_t^H$  — отечественная номинальная процентная ставка;  $R_t^W$  — зарубежная номинальная процентная ставка;  $R_t^K$  — процентные номинальные выплаты по капиталу;  $S_t$  — спот-курс национальной валюты (руб./долл. США);  $W_t(j)$ — ставка номинальной заработной

платы в экономике для агента типа  $j \in R$ ;  $B_t^H(j)$  — государственные облигации в отечественной валюте;  $B_t^W(j)$  — чистые активы в иностранной валюте;  $K_t^n(j)$  — капитал «богатых» домохозяйств в номинальном выражении, инвестируемый в производственные отрасли экономики;  $T_t(j)$  — аккордные налоговые выплаты;  $D_t(j)$  — выплаты дивидендов;  $TR_t(j)$  — аккордные трансферты, выплачиваемые домохозяйствам правительством.

Также для задачи домашних хозяйств задаются начальные данные по номинальному капиталу и чистым номинальным активам в иностранной и отечественной валюте: т.е.  $B_0^H(j), B_0^W(j), K_0^n(j)$  даны в нулевом периоде. Чтобы обеспечить существование внутреннего решения, задаются стандартным образом условия ограничения на займы внутри страны и за рубежом (NPG, условие, запрещающее использование игр Понци):

$$\lim_{k \to \infty} E_t \frac{B_{t+k+1}^H(j)}{\prod_{i=1}^k (1 + R_{t+i}^H)} \ge 0 \tag{2.1.7}$$

$$\lim_{k \to \infty} E_t \frac{B_{t+k+1}^W(j)}{\prod_{i=1}^k \left( \left( 1 + R_{t+i}^W \right) \frac{S_{t+i+1}}{S_{t+i}} \right)} \ge 0$$
(2.1.8)

Также домохозяйства учитывают и спрос на труд, который вытекает из предположений о монополистической конкуренции на рынке труда. Это является еще одной частью ограничений приведенной выше задачи домашнего хозяйства. Домашние хозяйства устанавливают заработную плату таким образом, чтобы максимизировать свою целевую функцию с учетом межвременного бюджетного ограничения и спроса на рабочую силу со стороны различных секторов экономики (здесь и далее индексы MI, E, Oil демонстрируют принадлежность к промежуточному, энергетическому и нефтегазовому сектору соответственно), который берется из задач производственного сектора:

$$L_t^F(j) = \left[ \left( \frac{W_t(j)}{W_t} \right) \right]^{-\varepsilon_W} L_t^F, F \in \{MI, E, oil\}, j \in R$$
 (2.1.9)

где  $\varepsilon_W$  — это эластичность предложения труда по зарплате, а совокупный спрос на рабочую силу  $L_t^F$  и совокупная номиналь-

ная заработная плата  $W_t$ определяются из задач производителей следующими функциями типа Диксита-Стиглица:

$$L_t^F = \left[ \int_0^1 L_t^F(j)^{\frac{\varepsilon_w - 1}{\varepsilon_w}} dj \right]^{\frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_w - 1}}, F \in \{MI, E, oil\}$$
 (2.1.10)

$$W_{t} = \left[ \int_{0}^{1} W_{t}(j)^{1-\varepsilon_{w}} dj \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_{w}}}$$
 (2.1.11)

Решение данной задачи оптимизации домашнего хозяйства можно стандартно разбить на два этапа.

Для нахождение индекса потребительских цен  $P_t$ , а также спроса на отечественные  $C_{D,t}(j)$  и импортные  $C_{IM,t}(j)$  товары при представленной спецификации предпочтений, решается задача первого этапа оптимизации, основная суть которой сводится к минимизации расходов на корзину товаров при заданном значении уровня потребления  $C_t(j)$ :

$$P_{t}^{D}C_{D,t}(j) + P_{t}^{IM}C_{IM,t}(j) \to \min_{C_{D,t}(j),C_{IM,t}(j)} \left[ \left( \gamma_{c} \right)^{\frac{1}{\nu_{c}}} \left( C_{D,t}(j) \right)^{\frac{\nu_{c}-1}{\nu_{c}}} + \left( 1 - \gamma_{c} \right)^{\frac{1}{\nu_{c}}} \left( C_{IM,t}(j) \right)^{\frac{\nu_{c}-1}{\nu_{c}}} \right]^{\frac{\nu_{c}}{\nu_{c}-1}} \ge C_{t}(j)$$
(2.1.12)

Используя условия первого порядка для этой задачи, находим функции спроса на различные виды товаров для каждого типа домохозяйств  $j \in R$  и индекс потребительских цен  $P_t$ , представляющий собой комбинацию индексов цен на отечественные и импортные товары:

$$C_{D,t}(j) = \gamma_c \left(\frac{P_t}{P_t^D}\right)^{\nu_c} C_t(j), \forall j \in R$$
(2.1.13)

$$C_{IM,t}(j) = \left(1 - \gamma_c\right) \left(\frac{P_t}{P_t^{IM}}\right)^{\nu_c} C_t(j), \forall j \in R$$
(2.1.14)

$$P_{t} = \left[ \gamma_{c} P_{t}^{D^{1-\nu_{c}}} + (1 - \gamma_{c}) P_{t}^{IM^{1-\nu_{c}}} \right]^{\frac{1}{1-\nu_{c}}}$$
 (2.1.15)

На втором этапе решения оптимизационной задачи репрезентативного «богатого» домашнего хозяйства, получаем условия

первого порядка, которые представляют собой уравнения Эйлера, где  $\Pi_t = \frac{P_{t+1} - P_t}{P_t}$  (2.1.16, 2.1.17), условие отсутствия процентного арбитража по вложениям в отечественные активы (2.1.19), условие непокрытого процентного паритета (2.1.18) и функцию предложения труда «богатых» домашних хозяйств (2.1.20):

$$\frac{1}{1+R_t^H} = \beta E_t \left( \frac{(C_{t+1}(j) - h_c^r C_t^r)^{-\sigma_c}}{(C_t(j) - h_c^r C_{t-1}^r)^{-\sigma_c}} \frac{1}{(1+\Pi_{t+1})} \frac{Z_{t+1}^c}{Z_t^c} \right)$$
(2.1.16)

$$\frac{1}{1+R_t^W} = \beta E_t \left( \frac{(C_{t+1}(j) - h_c^r C_t^r)^{-\sigma_c}}{(C_t(j) - h_c^r C_{t-1}^r)^{-\sigma_c}} \frac{1}{(1+\Pi_{t+1})} \frac{Z_{t+1}^c}{Z_t^c} \frac{S_{t+1}}{S_t} \right)$$
(2.1.17)

 $(1 + R_t^{H})$ 

$$= (1 + R_t^W) \left( \frac{E_t \left( \frac{(C_{t+1}(j) - h_c^r C_t^r)^{-\sigma_c}}{(C_t(j) - h_c^r C_{t-1}^r)^{-\sigma_c}} \frac{1}{(1 + \Pi_{t+1})} \frac{Z_{t+1}^c S_{t+1}}{Z_t^c} \frac{S_{t+1}}{S_t} \right)}{E_t \left( \frac{(C_{t+1}(j) - h_c^r C_{t-1}^r)^{-\sigma_c}}{(C_t(j) - h_c^r C_{t-1}^r)^{-\sigma_c}} \frac{1}{(1 + \Pi_{t+1})} \frac{Z_{t+1}^c}{Z_t^c} \right)} \right)$$
(2.1.18)

$$R_t^H = R_t^K (2.1.19)$$

$$\varepsilon_{w} Z_{t}^{l} \frac{(L_{t}(j))^{\sigma_{L}}}{W_{t}(j)} P_{t} + (1 - \varepsilon_{w}) Z_{t}^{c} (C_{t}(j) - h_{c}^{r} C_{t-1}^{r})^{-\sigma_{c}} = 0, \forall j \in \mathbb{R} \quad (2.1.20)$$

Отметим, что функция предложения труда «богатых» домашних хозяйств на различных моделируемых рынках (2.1.20) будет иметь одинаковый вид для всех типов агентов, однако будет отличаться поведенческим коэффициентом  $h_c$  и уровнем агрегированного потребления прошлого периода  $C_{t-1}$ . Заработная плата не различается в зависимости от отрасли, так как в рамках модельной экономики труд является однородным.

Оптимизационная задача домохозяйств из среднего класса похожа на задачу «богатого» домохозяйства, но с некоторыми отличиями в бюджетном ограничении и в функции полезности. Вопервых, в рамках задачи его предпочтения формируются иным способом, а коэффициенты привычек  $h_c^m$  отличны от значений «богатых». Во-вторых, мы предполагаем, что средний класс не делает капитальные вложения в фирмы производственного сектора, следовательно, он не получат дивиденды. Этот класс также хранит сбережения в государственных облигациях. Таким образом, оптимизационная задача домохозяйства, относящегося к среднему классу, может быть представлена следующим образом:

$$E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left( Z_t^c \frac{(C_t(j) - h_c^m C_{t-1}^m)^{1-\sigma_c}}{1 - \sigma_c} - Z_t^l \frac{L_t(j)^{1+\sigma_L}}{1 + \sigma_L} \right) \rightarrow \max_{\{C_t(j), L_t(j)\}_{t=0}^{\infty}}, \quad (2.1.21)$$

 $j \in M, M = [\alpha_r; \alpha_r + \alpha_m), 0 < \alpha_m < 1,$ 

$$\begin{split} C_t(j) &= \left[ \left( \gamma_c \right)^{\frac{1}{\nu_c}} \left( C_{D,t}(j) \right)^{\frac{\nu_c - 1}{\nu_c}} \right. \\ &+ \left. \left( 1 - \gamma_c \right)^{\frac{1}{\nu_c}} \left( C_{IM,t}(j) \right)^{\frac{\nu_c - 1}{\nu_c}} \right]^{\frac{\nu_c}{\nu_c - 1}}, \ \forall j \in M \end{split} \tag{2.1.22}$$

$$P_{t}^{D}C_{D,t}(j) + P_{t}^{IM}C_{IM,t}(j) + B_{t+1}^{H}(j) + T_{t}(j) =$$

$$= W_{t}(j)L_{t}(j) + (1 + R_{t-1}^{H})B_{t}^{H}(j) + TR_{t}(j),$$

$$j \in M, \forall t$$

$$(2.1.23)$$

$$C_{D,t}(j)$$
,  $C_{IM,t}(j) \geq 0$ ,

$$L_{t}(j) = L_{t}^{MI}(j) + L_{t}^{E}(j) + L_{t}^{oil}(j),$$

$$L_{t}^{MI}(j), L_{t}^{E}(j), L_{t}^{oil}(j) \ge 0,$$
(2.1.24)

 $j \in M, \forall t$ 

$$\lim_{k \to \infty} E_t \frac{B_{t+k+1}^H(j)}{\prod_{i=1}^k (1 + R_{t+i}^H)} \ge 0 \tag{2.1.25}$$

Также для задачи домашних хозяйств задаются начальные данные по чистым номинальным активам в отечественной валюте: т.е.  $B_0^H(j)$  даны в нулевом периоде.

Домохозяйства тут также учитывают спрос на труд, который вытекает из предположений о монополистической конкуренции на рынке труда (2.1.26).  $L_t^F$  задано таким же образом, как и в (2.1.10), а  $W_t$  – как в (2.1.11).

$$L_t^F(j) = \left[ \left( \frac{W_t(j)}{W_t} \right) \right]^{-\varepsilon_W} L_t^F, F \in \{MI, E, Oil\}, j \in M$$
 (2.1.26)

Из решения оптимизационной задачи для «среднего класса» получаем следующее условие первого порядка, которое представляет собой уравнение Эйлера и имеет вид:

$$\beta^{m} E_{t} \left( \frac{(C_{t+1}(j) - h_{c}^{m} C_{t}^{m})^{-\sigma_{c}}}{(C_{t}(j) - h_{c}^{m} C_{t-1}^{m})^{-\sigma_{c}}} \frac{(1 + R_{t}^{H})}{(1 + \Pi_{t+1})} \frac{Z_{t+1}^{c}}{Z_{t}^{c}} \right) = 1$$
(2.1.27)

По аналогии с уравнением (2.1.20), уравнение (2.1.28) является функцией предложения труда «среднего класса» на различных моделируемых рынках:

$$\varepsilon_{w} Z_{t}^{l} \frac{(L_{t}(j))^{\sigma_{L}}}{W_{t}(j)} P_{t} + (1 - \varepsilon_{w}) Z_{t}^{c} (C_{t}(j) - h_{c}^{m} C_{t-1}^{m})^{-\sigma_{c}} = 0, \forall j \in M \quad (2.1.28)$$

В свою очередь, при рассмотрении в модели нерикардианских домохозяйств, представляющих собой бедных, предполагается что весь полученный трудовой доход и государственные трансферты они тратят на потребление и, таким образом, в рамках модели у них нет возможности делать сбережения. Их предпочтения формируются иным способом, а коэффициент привычек  $(h_{\rm C})$  отличен от значений «среднего класса». Оптимизационная задача «бедных» домашних хозяйств имеет следующий вид:

$$E_{0} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^{t} \left( Z_{t}^{c} \frac{\left( C_{t}(j) - h_{c}^{p} C_{t-1}^{p} \right)^{1-\sigma_{c}}}{1 - \sigma_{c}} - Z_{t}^{l} \frac{L_{t}(j)^{1+\sigma_{L}}}{1 + \sigma_{L}} \right) \rightarrow \max_{\{C_{t}(j), L_{t}(j)\}_{t=0}^{\infty}, (2.1.29)} j \in P, P = [\alpha_{r} + \alpha_{m}; 1]$$

$$C_{t}(j) = \left[ \left( \gamma_{c} \right)^{\frac{1}{\nu_{c}}} \left( C_{D,t}(j) \right)^{\frac{\nu_{c} - 1}{\nu_{c}}} + \left( 1 - \gamma_{c} \right)^{\frac{1}{\nu_{c}}} \left( C_{IM,t}(j) \right)^{\frac{\nu_{c} - 1}{\nu_{c}}} \right]^{\frac{\nu_{c}}{\nu_{c} - 1}}, \forall j \in P$$

$$(2.1.30)$$

$$P_{t}^{D}C_{D,t}(j) + P_{t}^{IM}C_{IM,t}(j) + T_{t}(j) = W_{t}(j)L_{t}(j) + TR_{t}(j),$$

$$j \in P, \ \forall t$$
(2.1.31)

$$C_{D,t}(j), C_{IM,t}(j) \ge 0,$$

$$L_{t}(j) = L_{t}^{MI}(j) + L_{t}^{E}(j) + L_{t}^{oil}(j),$$

$$L_{t}^{MI}(j), L_{t}^{E}(j), L_{t}^{oil}(j) \ge 0,$$

$$j \in P, \forall t$$
(2.1.32)

Домохозяйства здесь также учитывают спрос на труд, который вытекает из предположений о монополистической конкуренции на рынке труда (2.1.33).  $L_t^F$  задано таким же образом, как и в (2.1.10), а  $W_t$  – как в (2.1.11).

$$L_t^F(j) = \left[ \left( \frac{W_t(j)}{W_t} \right) \right]^{-\varepsilon_W} L_t^F, F \in \{MI, E, Oil\}, j \in P$$
 (2.1.33)

Условие, запрещающее использование игр Понци для «бедных» домохозяйств отсутствует в связи с тем, что у рассматриваемого типа агентов отсутствует возможность делать сбережения, и, следовательно, вкладываться в иностранные и отечественные активы. По аналогии с уравнением (2.1.20), уравнение (2.1.34) является функцией предложения труда «бедных» на различных моделируемых рынках:

$$\varepsilon_{w} Z_{t}^{l} \frac{(L_{t}(j))^{\sigma_{L}}}{W_{t}(j)} P_{t} + (1 - \varepsilon_{w}) Z_{t}^{c} (C_{t}(j) - h_{c}^{p} C_{t-1}^{p})^{-\sigma_{c}} = 0, \forall j \in P$$
 (2.1.34)

Поскольку агенты, оптимизационные задачи которых мы решаем, являются репрезентативными, то полученные результаты можно экстраполировать на все домашние хозяйства соответствующего типа. Таким образом, запишем совокупный спрос на отечественные и импортные товары, которые представляют собой сумму долей от потребления всех типов рассматриваемых домохозяйств:

$$C_{D,t} = \alpha_r C_{D,t}^r + \alpha_m C_{D,t}^m + (1 - \alpha_r - \alpha_m) C_{D,t}^p =$$

$$= \gamma_c \left( \frac{P_t}{P_t^D} \right)^{\nu_c} \left( \alpha_r C_t^r + \alpha_m C_t^m + (1 - \alpha_r - \alpha_m) C_t^p \right) = \gamma_c \left( \frac{P_t}{P_t^D} \right)^{\nu_c} C_t,$$
(2.1.35)

$$C_{IM,t} = \alpha_r C_{IM,t}^r + \alpha_m C_{IM,t}^m + (1 - \alpha_r - \alpha_m) C_{IM,t}^p =$$

$$= (1 - \gamma_c) \left( \frac{P_t}{P_t^{IM}} \right)^{\nu_c} (\alpha_r C_t^r + \alpha_m C_t^m)$$

$$+ (1 - \alpha_r - \alpha_m) C_t^p = (1 - \gamma_c) \left( \frac{P_t}{P_t^{IM}} \right)^{\nu_c} C_t$$
(2.1.36)

где  $C_t$  – это суммарный индекс потребления.

Экзогенно заданные шоки  $Z_t^c$  и  $Z_t^l$  представляют собой изменения в предпочтениях домохозяйств в отношении потребления и трудовых часов соответственно. Динамика этих переменных задается стационарными AR(1)-процессами:

$$ln(Z_t^C) = \phi_C ln(Z_{t-1}^C) + \xi_t^C, \ \xi_t^C \sim N(0; \ \sigma_C^2)$$
 (2.1.37)

$$ln(Z_t^l) = \phi_L ln(Z_{t-1}^L) + \xi_t^L, \ \xi_t^L \sim N(0; \ \sigma_L^2)$$
 (2.1.38)

где  $\phi_C$  и  $\phi_L$ — параметры автокорреляции;  $\xi_t^C$  и  $\xi_t^L$ — шоки предельной полезности потребления и предельной полезности труда. Положительные значения коэффициентов  $\xi_t^C$ ,  $\xi_t^L$  увеличивают предельную полезность текущего потребления и отдыха соответственно.

## 2.1.3. Производственный сектор и технологии

Фирмы в рамках модельной экономики делятся на семь основных типов, представляющих различные сектора, которые формируют добавочную стоимость: предприятия нефтегазового, энергетического и обрабатывающего (производящего промежуточные товары) сектора, а также предприятия-ритейлеры (формирующие конечное благо), импортеры (поставляющие импортную продукцию в страну), посредник-ритейлер, поставляющий импортную продукцию домашним хозяйствам, экспортеры нефтегазовой и экспортеры конечной продукции (удовлетворяющие спрос на углеводороды и отечественные товары в остальном мире). В производственном секторе происходит распределение таких факторов производства, как труд, капитал (домашних хозяйств, государства и иностранных инвесторов), энергоресурсы, формируемые при помощи произведенных внутри страны товаров нефтегазовой отрасли, а также непосредственно сама нефтегазовая продукция. В каждой производственной отрасли действует континуум фирм  $j \in [0; 1]$ , которые создают дифференцированный продукт и принимают решения в условиях монополистической конкуренции.

В модели предполагается, что все фирмы производственного сектора принадлежат рикардианским «богатым» домохозяйствам, однако в то же время предприятиями нефтегазовой отрасли также

владеет государство и иностранные инвесторы, а прибыль, после выплаты налога, распределяется между домохозяйствами, правительством и иностранцами в виде дивидендов.

Нефтегазовый сектор и экспортеры-ритейлеры углеводородов. В данной модели мы эндогенизируем процесс производства нефтегазовой продукции. Таким образом, при возникновении шока, заключающегося в резком снижении нефтяных цен, добывающие фирмы могут сократить интенсивность загрузки существующих производственных мощностей, временно сократив издержки добычи. Предполагается, что каждая фирма  $i \in [0; 1]$  из нефтегазового сектора обладает производственной функцией Кобба — Дугласа, имеющей в качестве факторов капитал  $K_{i,t}^{oil}$  и труд  $L_{i,t}^{oil}$ :

$$Y_{i,t}^{oil} = A_t^{oil} \left( L_{i,t}^{oil} \right)^{1 - \alpha^{oil}} \left( K_{i,t}^{oil} \right)^{\alpha^{oil}} \tag{2.1.39}$$

где  $A_t^{oil}$  — стохастический трендовый уровень факторной производительности в нефтегазовой отрасли, задаваемый стационарным процессом AR(1) в логарифмах;  $L_{i,t}^{oil}$  — труд домохозяйств, используемый в нефтегазовом секторе;  $K_t^{oil}$  — нефтяной капитал, накапливаемый государственными ( $I_t^G$ ) и прямыми иностранными инвестициями (далее — ПИИ), а также инвестициями «богатых» домохозяйств  $I_t^{r,oil}$ .

$$ln(A_t^{oil}) = \phi_{A,oil} ln(A_{t-1}^{oil}) + \xi_t^{A,oil}, \ \xi_t^{A,oil} \sim N(0; \ \sigma_{A,oil}^2)$$
 (2.1.40)

Динамика суммарного капитала  $K_t^{oil}$ в нефтегазовой отрасли, в свою очередь, задается следующим образом:

$$K_t^{oil} - (1 - \delta^{oil}) K_{t-1}^{oil} = K_t^{r,oil} - (1 - \delta^{oil}) K_{t-1}^{r,oil} + I_t^G + \Pi$$
ИИ $_t$ , (2.1.41)

где  $\delta^{oil}$  — коэффициент выбытия нефтегазового капитала;  $I_t^G$  — суммарные государственные инвестиции, формируемые способом, описанным в уравнении (2.1.42); ПИИ $_t$  — прямые иностранные суммарные инвестиции в нефтегазовую отрасль, формируемые способом, описанным в уравнении (2.1.43).

$$I_t^G = K_t^{G,oil} - (1 - \delta^{oil}) K_{t-1}^{G,oil}$$
(2.1.42)

$$\Pi \mathsf{И} \mathsf{И}_t = K_t^{F,oil} - (1 - \delta^{oil}) K_{t-1}^{F,oil} \tag{2.1.43}$$

где  $K_t^{G,oil}$ ,  $K_t^{F,oil}$  — суммарный государственный и иностранный капитал в нефтегазовой отрасли соответственно.

Прямые иностранные инвестиции, в свою очередь, как и у А. Алгожиной реагируют на мировые цены на нефть и, соответственно, на шок мировых цен на нефть, задаваемый процессом AR(1) [25]. Отклонение ПИИ от стационарного уровня задается в виде:

$$\widehat{\Pi \mathcal{U} \mathcal{U}}_t = (1 - \rho_{\Pi \mathcal{U} \mathcal{U}}) \widehat{\Pi \mathcal{U} \mathcal{U}}_{t-1} + \rho_{\Pi \mathcal{U} \mathcal{U}} \widehat{P_t^{Ex,oll}}$$
 (2.1.44)

где  $P_t^{Ex,oil}$  — мировая цена на нефть в долларах, задаваемая процессом AR(1).

$$P_t^{\widehat{Ex,oil}} = \phi_{oil} P_{t-1}^{\widehat{Ex,oil}} + \xi_t^{Ex,oil}, \xi_t^{Ex,oil} \sim N(0; \sigma_{Ex,oil}^2)$$
 (2.1.45)

Используемый в нефтегазовом секторе труд домашних хозяйств  $L_{i,t}^{Oil}(j)$   $(j \in [0;1])$  агрегируется при помощи следующей функции типа Диксита-Стиглица:

$$L_{i,t}^{oil} = \left[ \int_0^1 L_{i,t}^{oil}(j)^{\frac{\mathcal{E}_W - 1}{\mathcal{E}_W}} dj \right]^{\frac{\mathcal{E}_W}{\mathcal{E}_W - 1}}$$
(2.1.46)

Далее записываем задачу репрезентативной фирмы нефтегазового сектора, принимающей решение о том, сколько продукции производить и по какой цене для ритейлеров-экспортеров и энергетического сектора, с учетом ограничений со стороны соответствующих фирм. Подобную задачу можно решить в несколько этапов: на первом этапе — минимизировать издержки на использование труда при его заданном минимальном количестве, определяемом уравнением (2.1.46):

$$\int_{0}^{1} W_{t}^{oil}(j) L_{i,t}^{oil}(j) dj \rightarrow \min_{\left\{L_{i,t}^{oil}(j)\right\}_{j=0}^{1}} \left\{ \int_{0}^{1} L_{i,t}^{oil}(j)^{\frac{\mathcal{E}_{w}-1}{\mathcal{E}_{w}}} dj \right]^{\frac{\mathcal{E}_{w}}{\mathcal{E}_{w}-1}} \ge L_{i,t}^{oil}$$
(2.1.47)

В результате решение данной задачи дает нам функцию спроса на труд домохозяйства  $j \in \{R, M, P\}$  (2.1.48) и индекс номинальной заработной платы в нефтегазовом секторе (2.1.49):

$$L_{i,t}^{oil}(j) = \left[\frac{W_t^{oil}(j)}{W_t^{oil}}\right]^{-\varepsilon_w} L_{i,t}^{oil}$$
 (2.1.48)

$$W_t^{oil} = \left[ \int_0^1 W_t^{oil}(j)^{1-\varepsilon_W} dj \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_W}}$$
 (2.1.49)

Суммарный спрос на труд домохозяйств типа  $j \in \{R, M, P\}$  со стороны всех фирм нефтегазовой отрасли получается интегрированием уравнения (2.1.48) по всем фирмам нефтегазовой отрасли  $i \in [0; 1]$ . Уравнения (2.1.48)–(2.1.49) мы использовали ранее в задаче домашнего хозяйства для получения функции предложения труда.

$$L_t^{oil}(j) = \left[\frac{W_t^{oil}(j)}{W_t^{oil}}\right]^{-\varepsilon_W} L_t^{oil}$$
, где 
$$L_t^{oil}(j) = \int_0^1 L_{i,t}^{oil}(j) di, \qquad (2.1.50)$$
  $L_t^{oil} = \int_0^1 L_{i,t}^{oil} di$ 

На втором этапе, используя полученный индекс для заработной платы (2.1.49) мы минимизируем общие номинальные издержки репрезентативной фирмы нефтегазовой отрасли при заданном минимальном уровне выпуска (2.1.39):

$$\begin{split} P_{t}^{K,oil}K_{i,t}^{oil} + W_{t}^{oil}L_{i,t}^{oil} &\rightarrow \min_{K_{i,t}^{oil},L_{i,t}^{oil}} \\ K_{i,t}^{oil} &= K_{i,t}^{r,oil}(i) + K_{i,t}^{G,oil} + K_{i,t}^{F,oil} \\ A_{t}^{oil}\left(L_{i,t}^{oil}\right)^{1-\alpha^{oil}}\left(K_{i,t}^{oil}\right)^{\alpha^{oil}} \geq Y_{i,t}^{oil} \end{split} \tag{2.1.51}$$

Полученные условия первого порядка для каждой репрезентативной фирмы  $i \in [0; 1]$  выглядят следующим образом:

$$\begin{split} P_t^{K,oil} &= MC_t^{oil} \frac{\alpha^{oil} Y_{i,t}^{oil}}{K_{i,t}^{oil}} \\ W_t^{oil} &= MC_t^{oil} \frac{\left(1 - \alpha^{oil}\right) Y_{i,t}^{oil}}{L_{i,t}^{oil}} \end{split} \tag{2.1.52}$$

где  $MC_t^{oil}$  — это функция предельных номинальных издержек для каждой репрезентативной фирмы i нефтегазовой отрасли, имеющая вид

$$MC_t^{oil} = \frac{\left(W_t^{oil}\right)^{1 - \alpha^{oil}} \left(P_t^{K,oil}\right)^{\alpha^{oil}}}{A_t^{oil}(1 - \alpha^{oil})^{1 - \alpha^{oil}} (\alpha^{oil})^{\alpha^{oil}}}$$
(2.1.53)

Прежде чем перейти к этапу установления цен фирмами нефтегазовой отрасли на различных рынках, необходимо получить функцию спроса на продукцию со стороны ритейлера-экспортера. Так, производственная функция-интегратор репрезентативного ритейлера-экспортера нефтегазовой продукции имеет вид:

$$Y_t^{Ex,oil} = \left[ \left( \int_0^1 (Y_{i,t}^{Ex,oil})^{\frac{1}{1+\lambda_{oil,Ex,t}}} di \right) \right]^{1+\lambda_{oil,Ex,t}}$$
 (2.1.54)

Задачу ритейлера-экспортера по максимизации прибыли от перепродажи нефтегазовой продукции можно решить в два этапа: на первом этапе необходимо минимизировать номинальные предельные издержки при заданном минимальном уровне продаж, задаваемым уравнением-ограничением (2.1.54).

$$\int_{0}^{1} \frac{P_{t}^{Ex,oil}(i)}{S_{t}} Y_{i,t}^{Ex,oil} \rightarrow \min_{\left\{Y_{i,t}^{Ex,oil}\right\}_{i=0}^{1}} \left(2.1.55\right)$$

$$\left[ \left( \int_{0}^{1} \left( Y_{i,t}^{Ex,oil} \right)^{\frac{1}{1+\lambda_{oil,Ex,t}}} di \right) \right]^{1+\lambda_{oil,Ex,t}} \geq Y_{t}^{Ex,oil}$$

где  $\lambda_{oil,Ex,t}$  — это уровень наценки (mark-up) для продукции нефтегазовой отрасли, предназначенной на экспорт, и заданный стационарным процессом AR(1):

$$\lambda_{oil,Ex,t} = \lambda_{oil,Ex} + \xi_t^{\lambda_{oil,Ex}}, \xi_t^{\lambda_{oil,Ex}} \sim N\left(0; \sigma_{\lambda_{oil,Ex}}^2\right)$$
 (2.1.56)

В результате получаем функцию спроса на продукцию фирмы i нефтегазовой отрасли (2.1.57) и индекс цен, по которым фирмы

нефтегазовой отрасли продают свою продукцию экспортеруритейлеру (2.1.58):

$$Y_{i,t}^{Ex,oil} = \left(\frac{P_t^{Ex,oil}(i)}{P_t^{D,Ex,oil}}\right)^{\frac{-1+\lambda_{oil,Ex,t}}{\lambda_{oil,Ex,t}}} Y_t^{Ex,oil}, где$$
 (2.1.57)

$$P_t^{D,Ex,oil} = \left[ \int_0^1 (P_t^{Ex,oil}(i))^{-\frac{1}{\lambda_{oil,Ex,t}}} di \right]^{-\lambda_{oil,Ex,t}}$$
(2.1.58)

Получив индекс  $P_t^{D,Ex,oil}$ , можем перейти ко второму этапу решения задачи ритейлера-экспортера, которая состоит в максимизации прибыли и имеет вид:

$$\Pi = \left(1 - \tau_t^{Ex,oil}\right) \left(P_t^{Ex,oil} Y_t^{Ex,oil}\right) - \frac{P_t^{D,Ex,oil}}{S_t} Y_t^{Ex,oil} \to max \tag{2.1.59}$$

где  $au_t^{Ex,oil}$  — экспортные пошлины, взымаемые с фирм-экспортеров нефтегазовой продукции.

При предположении о совершенной конкуренции на рассматриваемом модельном рынке из задачи выше получаем следующее равенство цен:

$$(1 - \tau_t^{Ex,oil}) P_t^{Ex,oil} = \frac{P_t^{D,Ex,oil}}{S_t}$$
 (2.1.60)

Теперь вернемся к задаче нефтегазового сектора и подробнее рассмотрим третий этап задачи, заключающийся в ценообразовании на рынках монополистической конкуренции. Поскольку предельные издержки, как получено выше, не зависят от уровня выпуска, то эту задачу можно подразделить на две подзадачи:

- 1) задачу максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли репрезентативной фирмой i на рынке продажи продукции энергетическому сектору;
- 2) задачу максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли репрезентативной фирмой i на рынке продажи продукции экспортеру-ритейлеру.

Для учета негибкости цен в своем исследовании мы используем стандартный для рассматриваемого класса моделей метод ценообразования по Кальво [27] с коэффициентом негибкости цен  $\vartheta^{D,oil}$ ,  $\vartheta^{Ex,oil} \in (0;1)$  для указанных выше рынков. Индексы не-

гибкости цен  $\vartheta^{D,oil}$ ,  $\vartheta^{Ex,oil}$  показывают вероятность, с которой фирма оставит прежнюю цену в период t независимо от того, сколько периодов прошло с того момента, когда фирма поменяла цену в последний раз. Также предполагается, что фирма, не меняющая цену, тем не менее индексирует ее по последнему значению инфляции, т.с. по индексу изменения цен отпускаемой продукции с коэффициентами степени ценовой индексации  $\gamma_{\Pi,D,oil}$  и  $\gamma_{\Pi,Ex,oil}$  для соответствующих рынков.

Первая подзадача максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли фирмы, которая меняет цену в период времени tна рынке продажи продукции энергетическому сектору, устанавливая оптимальную цену  $P_t^{D,oil,*}$ , учитывая функцию спроса (2.1.62) со стороны данного сектора, взятую из соответствующей задачи (сформулированной и решенной в следующем пункте), сводится к следующему:

$$\max_{P_{t}^{D,oil,*}} E_{t} \sum_{k=0}^{\infty} \left( \vartheta^{D,oil} \right)^{k} Q_{t,t+k} \left( P_{t}^{D,oil,*} \prod_{s=1}^{k} \left( \widetilde{\Pi}_{t+s-1}^{D,oil} \right)^{\gamma_{\Pi,D,oil}} Y_{t+k|t}^{D,oil}(i) - M C_{t+K}^{oil} Y_{t+k|t}^{D,oil}(i) \right), \tag{2.1.61}$$

$$\widetilde{\Pi}_{t}^{D,oil} = \frac{P_{t}^{D,oil}}{P_{t-1}^{D,oil}},$$

$$Y_{t+k|t}^{D,oil}(i) = \left(\frac{P_t^{D,oil,*} \prod_{s=1}^k (\widetilde{I}_{t+s-1}^{D,oil})^{\gamma_{I,D,oil}}}{P_{t+k}^{D,oil}}\right)^{-\frac{1+\lambda_{oil,D,t}}{\lambda_{oil,D,t}}} Y_{t+k}^{D,oil}$$
(2.1.62)

$$P_t^{D,oil} = \left[ \int_0^1 (P_t^{D,oil}(i))^{-\frac{1}{\lambda_{oil,D,t}}} di \right]^{-\lambda_{oil,D,t}}$$
 (2.1.63)

где  $Q_{t,t+k}$  — стохастический фактор дисконтирования, возникающий из оптимизационной задачи домохозяйства;  $Y_{t+k|t}^{D,oil}(i)$  — выпуск в период времени t+k фирмы нефтегазовой отрасли на рынке продажи продукции энергетическому сектору, которая в последний раз устанавливает оптимальную цену в период t;

 $\widetilde{\Pi}_t^{P,oil}$  — индекс роста цен на рынке продажи продукции энергетическому сектор;  $P_t^{D,oil}$  — индекс цен, по которым фирмы нефтегазовой отрасли продают свою продукцию энергетическому сектору;  $Y_{t+k}^{D,oil}$  — агрегированный выпуск нефтегазовой отрасли для продажи энергетическому сектору, определяемый в следующем пункте.

Вторая подзадача максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли фирмы, которая меняет цену в период времени t на рынке продажи продукции ритейлеру-экспортеру, устанавливая оптимальную цену  $P_t^{Ex,oil,*}$ , сводится к следующему:

$$\max_{P_{t}^{Ex,oil,*}} E_{t} \sum_{k=0}^{\infty} \left( \vartheta^{Ex,oil} \right)^{k} Q_{t,t+k} \left( P_{t}^{Ex,oil,*} \prod_{s=1}^{k} \left( \widetilde{D}_{t+s-1}^{P,Ex,oil} \right)^{\gamma_{\Pi,Ex,oil}} Y_{t+k|t}^{Ex,oil}(i) - M C_{t+K}^{oil} Y_{t+k|t}^{Ex,oil}(i) \right) \tag{2.1.64}$$

$$\widetilde{II}_{t}^{D,Ex,oil} = \frac{P_{t}^{D,Ex,oil}}{P_{t-1}^{D,Ex,oil}}$$

$$Y_{t+k|t}^{Ex,oil}(i) = \left(\frac{P_{t}^{Ex,oil,*} \prod_{s=1}^{k} \left(\widetilde{I}_{t+s-1}^{D,Ex,oil}\right)^{\gamma_{I,Ex,oil}}}{P_{t+k}^{D,Ex,oil}}\right)^{\frac{-1+\lambda_{oil,Ex,t+k}}{\lambda_{oil,Ex,t+k}}} Y_{t+k}^{Ex,oil} \tag{2.1.65}$$

$$P_t^{D,Ex,oil} = \left[ \int_0^1 \left( P_t^{Ex,oil}(i) \right)^{-\frac{1}{\lambda_{oil,Ex,t}}} di \right]^{-\lambda_{oil,Ex,t}}$$
 (2.1.66)

где  $Y_{t+k|t}^{Ex,oil}(i)$  — выпуск в период времени t+k фирмы нефтегазовой отрасли на рынке продажи продукции экспортеруритейлеру, которая в последний раз устанавливает оптимальную цену в период t;  $\widetilde{H}_t^{D,Ex,oil}$  — индекс роста цен на рынке продажи продукции ритейлеру-экспортеру.

Условия первого порядка для приведенных выше задач установления цены имеют вид:

$$\sum_{k=0}^{\infty} (\vartheta^{D,oil})^k E_t \left[ \frac{Q_{t,t+k} Y_{t+k|t}^{D,oil} \left( P_t^{D,oil,*} \prod_{s=1}^k \left( \widetilde{II}_{t+s-1}^{D,oil} \right)^{\gamma_{ID,oil}} - \left( 1 + \lambda_{oil,D,t+k} \right) MC_{t+k}^{oil} \right)}{\lambda_{oil,D,t+k}} \right] = 0 \ (2.1.67)$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} (\vartheta^{Ex,oil})^k E_t \left[ \frac{Q_{t,t+k} Y_{t+k|t}^{Ex,oil} \left( P_t^{Ex,oil,*} \left( \widetilde{I}_{t+s-1}^{P,Ex,oil} \right)^{\gamma_{I,Ex,oil}} - \left( 1 + \lambda_{oil,Ex,t+k} \right) M C_{t+k}^{oil} \right)}{\lambda_{oil,Ex,t+k}} \right] = 0 \ (2.1.68)$$

Соответственно, закон движения для индексов цен  $P_t^{D,oil}$  и  $P_t^{D,Ex,oil}$  на рассматриваемом рынке принимает вид:

$$(P_t^{D,oil})^{-\frac{1}{\lambda_{oil,D,t}}} = \vartheta^{D,oil} (P_{t-1}^{D,oil})^{-\frac{1}{\lambda_{oil,D,t}}} + (1 - \vartheta^{D,oil}) (P_t^{D,oil,*})^{-\frac{1}{\lambda_{oil,D,t}}}$$
 (2.1.69)

$$(P_t^{D,Ex,oil})^{-\frac{1}{\lambda_{oil,Ex,t}}} = \vartheta^{Ex,oil} (P_{t-1}^{D,Ex,oil})^{-\frac{1}{\lambda_{oil,Ex,t}}} + (1 - \vartheta^{Ex,oil})^{-\frac{1}{\lambda_{oil,Ex,t}}}$$

$$(2.1.70)$$

где  $\lambda_{oil,D,t}$  и  $\lambda_{oil,Ex,t}$  – это ценовые маркапы, задаваемые стационарным AR(1)-процессом.

$$\lambda_{oil,D,t} = \lambda_{oil,D} + \xi_t^{\lambda_{oil,D}}, \, \xi_t^{\lambda_{oil,D}} \sim N\left(0; \, \sigma_{\lambda_{oil,D}}^2\right)$$
(2.1.71)

$$\lambda_{oil,Ex,t} = \lambda_{oil,Ex} + \xi_t^{\lambda_{oil,Ex}}, \ \xi_t^{\lambda_{oil,Ex}} \sim N\left(0; \ \sigma_{\lambda_{oil,Ex}}^2\right)$$
 (2.1.72)

В завершении описания модели мы представим логлинеаризованные модельные уравнения для полученных решений.

Энергетический сектор. Предполагается, что каждая фирма  $m \in [0; 1]$  из энергетического сектора обладает производственной функцией Кобба-Дугласа, имеющей в качестве фактора труд  $L_{m,t}^E$ , капитал  $K_{m,t}^E$  и нефтегазовую продукцию  $Y_{m,t}^{D,oil}$ :

$$Y_{m,t}^{E} = A_{t}^{E} \left( L_{m,t}^{E} \right)^{1 - \alpha^{E} - \Phi^{E}} \left( K_{m,t}^{E} \right)^{\alpha^{E}} \left( Y_{m,t}^{D,oil} \right)^{\Phi^{E}}$$
 (2.1.73)

где  $A_t^E$  — стохастический трендовый уровень факторной производительности в энергетической отрасли, задаваемый стационарным процессом AR(1) в логарифмах;  $L_{m,t}^E$  — труд домохозяйств, используемый в энергетическом секторе;  $K_{m,t}^E$  — капитал энергетического сектора, формируемый за счет инвестиций «богатых» домохозяйств  $I_t^{r,E}$ ;  $Y_{m,t}^{D,oil}$  — продукция нефтегазовой отрасли, используемая при генерации энергии.

$$ln(A_t^E) = \phi_{AE} ln(A_{t-1}^E) + \xi_t^{A,E}, \xi_t^{A,E} \sim N(0; \sigma_{A,E}^2)$$
(2.1.74)

Динамика суммарного капитала  $K_t^E$  в отрасли, в свою очередь, задается следующим образом:

$$K_t^E - (1 - \delta^E) K_{t-1}^E = I_t^{r,E} = K_t^{r,E} - (1 - \delta^E) K_{t-1}^{r,E},$$
 (2.1.75)

где  $\delta^{\!E}$  — коэффициент выбытия капитала энергетического сектора.

Используемый в энергетической отрасли труд домохозяйств  $L_{m,t}^E(j)$   $(j \in [0;1])$  и нефтегазовая продукция фирм нефтегазового сектора  $Y_{m,t}^{D,oil}(i)$   $i \in [0;1]$  также агрегируется при помощи соответствующих функций типа Диксита-Стиглица (2.1.76)–(2.1.77):

$$L_{m,t}^{E} = \left[ \int_{0}^{1} L_{m,t}^{E}(j)^{\frac{\mathcal{E}_{W}-1}{\mathcal{E}_{W}}} dj \right]^{\frac{\mathcal{E}_{W}}{\mathcal{E}_{W}-1}}$$
(2.1.76)

$$Y_{m,t}^{D,oil} = \left[ \int_0^1 (Y_{m,t}^{D,oil}(i))^{\frac{1}{1+\lambda_{oil,D,t}}} di \right]^{1+\lambda_{oil,D,t}}$$
(2.1.77)

Далее записываем задачу репрезентативной фирмы энергетического сектора, принимающей решение о том, сколько продукции продавать и по какой цене для сектора промежуточной продукции, с учетом соответствующих ограничений со стороны фирм. Подобную задачу можно решить в несколько этапов.

На первом этапе необходимо минимизировать издержки на использование труда при его заданном минимальном количестве, определяемом уравнением (2.1.76):

$$\int_{0}^{1} W_{t}^{E}(j) L_{m,t}^{E}(j) dj \rightarrow \min_{\left\{L_{m,t}^{E}(j)\right\}_{j=0}^{1}}$$

$$\left[\int_{0}^{1} L_{m,t}^{E}(j)^{\frac{\mathcal{E}_{W}-1}{\mathcal{E}_{W}}} dj\right]^{\frac{\mathcal{E}_{W}}{\mathcal{E}_{W}-1}} \geq L_{m,t}^{E}$$
(2.1.78)

В результате решение данной задачи дает нам функцию спроса на труд домохозяйства  $j \in \{R, M, P\}$  (2.1.79) и индекс номинальной заработной платы в энергетическом секторе (2.1.80):

$$L_{m,t}^{E}(j) = \left[\frac{W_{t}^{E}(j)}{W_{t}^{E}}\right]^{-\varepsilon_{W}} L_{m,t}^{E}$$
(2.1.79)

$$W_t^E = \left[ \int_0^1 W_t^E(j)^{1-\varepsilon_W} dj \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_W}}$$
 (2.1.80)

Суммарный спрос на труд домохозяйств типа  $j \in \{R, M, P\}$  со стороны всех фирм энергетической отрасли получается интегрированием уравнения (2.1.79) по всем фирмам  $m \in [0; 1]$ . Уравнения (2.1.80)–(2.1.81) мы использовали ранее в задаче домашнего хозяйства для получения функции предложения труда.

$$L_{t}^{E}(j) = \left[\frac{W_{t}^{E}(j)}{W_{t}^{E}}\right]^{-\varepsilon_{W}} L_{t}^{E}$$
, где 
$$L_{t}^{E}(j) = \int_{0}^{1} L_{m,t}^{E}(j) dm, \qquad (2.1.81)$$
  $L_{t}^{E} = \int_{0}^{1} L_{m,t}^{E} dm$ 

На втором этапе задачи, мы минимизируем издержки на закупку продукции нефтегазовой отрасли при заданном минимальном уровне закупок:

$$\int_{0}^{1} P_{t}^{D,oil}(i) Y_{m,t}^{D,oil}(i) di \to \min_{\left\{Y_{m,t}^{D,oil}(i)\right\}_{i=0}^{1}} \left\{ \int_{0}^{1} (Y_{m,t}^{D,oil}(i))^{\frac{1}{1+\lambda_{oil,D,t}}} di \right\}_{i=0}^{1+\lambda_{oil,D,t}} \ge Y_{m,t}^{D,oil}$$
(2.1.82)

Получаем функцию спроса на нефтегазовую продукцию i-й фирмы со стороны m-й фирмы энергетического сектора (2.1.83), а также индекс цен на продукцию, продаваемую энергетической отрасли (2.1.84).

$$Y_{m,t}^{D,oil}(i) = \left(\frac{P_t^{D,oil}(i)}{P_t^{D,oil}}\right)^{-\frac{1+\lambda_{oil,D,t}}{\lambda_{oil,D,t}}} Y_{m,t}^{D,oil}$$
(2.1.83)

$$P_t^{D,oil} = \left[ \int_0^1 (P_t^{D,oil}(i))^{-\frac{1}{\lambda_{oil,D,t}}} di \right]^{-\lambda_{oil,D,t}}$$
 (2.1.84)

Суммарный спрос на продукцию фирмы  $i \in [0; 1]$  нефтегазовой отрасли со стороны всех фирм энергетической отрасли получается интегрированием уравнения (2.1.83) по всем фирмам  $m \in [0; 1]$ . Уравнения (2.1.84)—(2.1.85) мы использовали ранее в задаче нефтегазовой отрасли.

$$\begin{split} Y_t^{D,oil}(i) &= \left(\frac{P_t^{D,oil}(i)}{P_t^{D,oil}}\right)^{-\frac{1+\lambda_{oil,D,t}}{\lambda_{oil,D,t}}} Y_t^{D,oil}, \text{где} \\ Y_t^{D,oil}(i) &= \int_0^1 Y_{m,t}^{D,oil}(i) dm, \\ Y_t^{D,oil} &= \int_0^1 Y_{m,t}^{D,oil} dm \end{split} \tag{2.1.85}$$

На третьем этапе, используя полученные индекс для заработной платы (2.1.80) и индекс для цен нефтегазовой продукции, продаваемой энергетическому сектору (2.1.84), мы минимизируем общие номинальные издержки репрезентативной фирмы энергетической отрасли при заданном минимальном уровне выпуска (2.1.73):

$$P_{t}^{K,E}K_{m,t}^{E} + W_{t}^{E}L_{m,t}^{E} + P_{t}^{D,oil}Y_{m,t}^{D,oil} \to \min_{K_{m,t}^{oil}, L_{m,t}^{oil}, Y_{m,t}^{D,oil}}$$

$$\left(L_{m,t}^{E}\right)^{\alpha^{E}} \left(K_{m,t}^{E}\right)^{1-\alpha^{E}-\Phi^{E}} \left(Y_{m,t}^{D,oil}\right)^{\Phi^{E}} A_{t}^{E} \geq Y_{m,t}^{E}$$

$$\left(X_{m,t}^{E}, L_{m,t}^{E}, Y_{m,t}^{D,oil} \geq 0 \right)$$

Полученные условия первого порядка для каждой репрезентативной фирмы  $m \in [0;1]$  выглядят следующим образом:

$$\begin{split} P_{t}^{K,E} &= MC_{t}^{E} \frac{\alpha^{E} Y_{m,t}^{E}}{K_{m,t}^{E}} \\ W_{t}^{E} &= MC_{t}^{E} \frac{(1 - \alpha^{E} - \Phi^{E}) Y_{m,t}^{E}}{L_{m,t}^{E}} \\ P_{t}^{D,oil} &= MC_{t}^{E} \frac{\Phi^{E} Y_{m,t}^{E}}{Y_{m,t}^{D,oil}} \end{split}$$
 (2.1.87)

где  $MC_t^E$  — это функция предельных номинальных издержек для каждой репрезентативной фирмы m энергетической отрасли, имеющая вид:

$$MC_{t}^{E} = \frac{(W_{t}^{E})^{1-\alpha^{E}-\Phi^{E}} (P_{t}^{K,E})^{\alpha^{E}} (P_{t}^{D,oil})^{\Phi^{E}}}{A_{t}^{E} (1-\alpha^{E}-\Phi^{E})^{1-\alpha^{E}-\Phi^{E}} (\alpha^{E})^{\alpha^{E}} (\Phi^{E})^{\Phi^{E}}}$$
(2.1.88)

Четвертый этап состоит в ценообразовании на рынке монополистической конкуренции путем решения задачи максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли репрезентативной фирмой энергетического сектора m на рынке продажи товаров  $Y_{m,t}^E$  сектору, специализирующемуся на промежуточном производстве. Как и в нефтегазовом секторе, для учета негибкости цен в энергетическом секторе мы предполагаем ценообразование по Кальво с коэффициентом негибкости цен  $\vartheta^E \in (0;1)$ . Также предполагается, что фирма, не меняющая цену, тем не менее индексирует ее по последнему значению инфляции, т.е. по индексу изменения цен отпускаемой продукции с коэффициентом степени ценовой индексации  $\gamma_{TE}$ .

Задача максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли фирмы, которая меняет цену в период времени t на рынке продажи продукции сектору промежуточного производства, устанавливая оптимальную цену  $P_t^{E,*}$ , учитывая функцию спроса (2.1.90) со стороны данного сектора, взятую из соответствующей задачи (сформулированной и решенной в следующем пункте), сводится к следующему:

$$\max_{P_{t}^{E,*}} E_{t} \sum_{k=0}^{\infty} (\vartheta^{E})^{k} Q_{t,t+k} \left( P_{t}^{E,*} \prod_{s=1}^{k} \left( \widetilde{II}_{t+s-1}^{E} \right)^{\gamma_{I/E}} Y_{t+k|t}^{E}(m) - MC_{t}^{E} Y_{t+k|t}^{E}(m) \right),$$
 где (2.1.89)

$$\widetilde{II}_{t}^{E} = \frac{P_{t}^{E}}{P_{t-1}^{E}},$$

$$Y_{t+k|t}^{E}(m) = \left(\frac{P_{t}^{E,*} \prod_{s=1}^{k} \left(\widetilde{\Pi}_{t+s-1}^{E}\right)^{\gamma_{IJ,E}}}{P_{t+k}^{E}}\right)^{-\frac{1+\lambda_{E,t+k}}{\lambda_{E,t+k}}} Y_{t+k}^{E}$$
(2.1.90)

$$P_t^E = \left[ \int_0^1 (P_t^E(m))^{-\frac{1}{\lambda_{E,t}}} dm \right]^{-\lambda_{E,t}}, \tag{2.1.91}$$

где  $Q_{t,t+k}$  — стохастический фактор дисконтирования, возникающий из оптимизационной задачи домохозяйства;  $Y_{t+k|t}^E(m)$  — выпуск в период времени t+k фирмы энергетического отрасли на рынке продажи продукции сектору промежуточного производства, которая в последний раз устанавливает оптимальную цену

в период t;  $\widetilde{H}_t^E$  — индекс роста цен на рассматриваемом рынке;  $P_t^E$  — индекс цен, по которым фирмы энергетической отрасли продают свою продукцию сектору промежуточного производства;  $Y_{t+k}^E$  — агрегированный выпуск энергетической отрасли, определяемый в следующем пункте.

Условие первого порядка для задачи установления цены имеет вид:

$$\sum_{k=0}^{\infty} (\vartheta^{E})^{k} E_{t} \left[ \frac{Q_{t,t+k} Y_{t+k|t}^{E}(m) \left( P_{t}^{E,*} \prod_{s=1}^{k} \left( \widetilde{I}_{t+s-1}^{E} \right)^{\gamma_{I,E}} - \left( 1 + \lambda_{E,t+k} \right) M C_{t+k}^{E} \right)}{\lambda_{E,t+k}} \right] = 0 \qquad (2.1.92)$$

Соответственно, закон движения для индекса цен  $P_t^E$  на рассматриваемом рынке принимает вид:

$$(P_t^E)^{-\frac{1}{\lambda_{E,t}}} = \vartheta^E(P_{t-1}^E)^{-\frac{1}{\lambda_{E,t}}} + (1 - \vartheta^E)(P_t^{E,*})^{-\frac{1}{\lambda_{E,t}}}$$
(2.1.93)

где  $\lambda_{E,t}$  – это ценовой маркап, задаваемый стационарным AR(1)-процессом.

$$\lambda_{E,t} = \lambda_E + \xi_t^{\lambda_E}, \ \xi_t^{\lambda_E} \sim N(0; \ \sigma_{\lambda_E}^2)$$
 (2.1.94)

Промежуточное (обрабатывающее) производство. Предполагается, что каждая фирма  $q \in [0; 1]$  из промежуточного производства также обладает производственной функцией Кобба-Дугласа, имеющей в качестве фактора труд  $L_{q,t}^{MI}$ , капитал  $K_{q,t}^{MI}$  и энергию  $Y_{q,t}^{E}$ :

$$Y_{q,t}^{MI} = A_t^{MI} \left( L_{q,t}^{MI} \right)^{1 - \alpha^{MI} - \dot{\varphi}^{MI}} \left( K_{q,t}^{MI} \right)^{\alpha^{MI}} \left( Y_{q,t}^{E} \right)^{\dot{\varphi}^{MI}}, \tag{2.1.95}$$

где  $A_t^{MI}$  — стохастический трендовый уровень факторной производительности в отрасли промежуточного производства, зада-

ваемый стационарным процессом AR(1) в логарифмах;  $L_{q,t}^{MI}$  — труд домохозяйств, используемый в промежуточном производстве;  $K_{q,t}^{MI}$  — капитал промежуточного производства, формируемый за счет инвестиций «богатых» домохозяйств  $I_t^{r,MI}$ ;  $Y_{q,t}^E$  — продукция энергетической отрасли, используемая в промежуточном производстве.

$$log(A_t^{MI}) = \phi_{A,MI} log(A_{t-1}^{MI}) + \xi_t^{A,MI}, \xi_t^{A,MI} \sim N(0; \sigma_{A,MI}^2)$$
 (2.1.96)

Динамика суммарного капитала  $K_t^{MI}$ в отрасли, в свою очередь, задается следующим образом:

$$K_t^{MI} - (1 - \delta^{MI}) K_{t-1}^{MI} = I_t^{r,MI} = K_t^{r,MI} - (1 - \delta^{MI}) K_{t-1}^{r,MI},$$
 (2.1.97)

где  $\delta^{MI}$  – коэффициент выбытия энергетического капитала;

Используемые в промежуточном производстве труд домохозяйств  $L_{q,t}^{MI}(j)$  ( $j \in [0;1]$ ) и энергетическая продукция фирм энергетического сектора  $Y_{q,t}^E(m)$   $m \in [0;1]$  также агрегируется при помощи соответствующих функций типа Диксита-Стиглица (2.1.98)–(2.1.99):

$$L_{q,t}^{MI} = \left[ \int_0^1 L_{q,t}^{MI}(j)^{\frac{\mathcal{E}_W - 1}{\mathcal{E}_W}} dj \right]^{\frac{\mathcal{E}_W}{\mathcal{E}_W - 1}}$$
(2.1.98)

$$Y_{q,t}^{E} = \left[ \int_{0}^{1} (Y_{q,t}^{E}(m))^{\frac{1}{1+\lambda_{E,t}}} dm \right]^{1+\lambda_{E,t}}$$
 (2.1.99)

Далее записываем задачу репрезентативной фирмы сектора промежуточного производства, принимающей решение о том, сколько продукции продавать и по какой цене для конечного производства (ритейлер конечной продукции для внешнего и внутреннего рынков), с учетом соответствующих ограничений со стороны фирмы ритейлера. Подобную задачу, так же, как и в предыдущем пункте, можно решить в несколько этапов.

На первом этапе необходимо минимизировать издержки на использование труда при его заданном минимальном количестве, определяемом уравнением (2.1.98):

$$\int_{0}^{1} W_{t}^{MI}(j) L_{q,t}^{MI}(j) dj \rightarrow \min_{\left\{L_{q,t}^{E}(j)\right\}_{j=0}^{1}}$$

$$\left[\int_{0}^{1} L_{q,t}^{MI}(j)^{\frac{\mathcal{E}_{w}-1}{\mathcal{E}_{w}}} dj\right]^{\frac{\mathcal{E}_{w}}{\mathcal{E}_{w}-1}} \geq L_{q,t}^{MI}$$

$$(2.1.100)$$

В результате решение данной задачи дает нам функцию спроса на труд домохозяйства  $j \in \{R, M, P\}$  (2.1.101) и индекс номинальной заработной платы в секторе производства промежуточных товаров (2.1.102):

$$L_{q,t}^{MI}(j) = \left[\frac{W_t^{MI}(j)}{W_t^{MI}}\right]^{-\varepsilon_w} L_{q,t}^{MI}$$
 (2.1.101)

$$W_t^{MI} = \left[ \int_0^1 W_t^{MI}(j)^{1-\varepsilon_W} dj \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon_W}}$$
 (2.1.102)

Суммарный спрос на труд домохозяйств типа  $j \in \{R, M, P\}$  со стороны всех фирм сектора производства промежуточных товаров получается интегрированием уравнения (2.1.101) по всем фирмам  $q \in [0; 1]$ . Уравнения (2.1.101)–(2.1.102) мы использовали ранее в задаче домашнего хозяйства для получения функции предложения труда.

$$L_t^{MI}(j) = \left[\frac{W_t^{MI}(j)}{W_t^{MI}}\right]^{-\varepsilon_w} L_t^{MI}$$
, где 
$$L_t^{MI}(j) = \int_0^1 L_{q,t}^{MI}(j) dq, \qquad (2.1.103)$$
 
$$L_t^{MI} = \int_0^1 L_{q,t}^{MI} dq$$

На втором этапе задачи, мы минимизируем издержки на закупку энергии при заданном минимальном уровне закупок:

$$\int_{0}^{1} P_{t}^{E}(i) Y_{q,t}^{E}(m) dm \to \min_{\left\{Y_{q,t}^{E}(m)\right\}_{m=0}^{1}}$$
(2.1.104)

$$\left[\int_0^1 (Y_{q,t}^E(m))^{\frac{1}{1+\lambda_{E,t}}} dm\right]^{1+\lambda_{E,t}} \ge Y_{q,t}^E$$

Получаем функцию спроса на энергию m-й фирмы со стороны q-й фирмы сектора производства промежуточных товаров (2.1.105), а также индекс цен на продукцию, продаваемую сектору производства конечной продукции (2.1.106).

$$Y_{q,t}^{E}(m) = \left(\frac{P_{t}^{E}(m)}{P_{t}^{E}}\right)^{-\frac{1+\lambda_{E,t}}{\lambda_{E,t}}} Y_{q,t}^{E}$$
(2.1.105)

$$P_t^E = \left[ \int_0^1 (P_t^E(m))^{-\frac{1}{\lambda_{E,t}}} dm \right]^{-\lambda_{E,t}}$$
 (2.1.106)

Суммарный спрос на продукцию фирмы  $m \in [0; 1]$  энергетической отрасли со стороны всех фирм промежуточного производства получается интегрированием уравнения (2.1.105) по всем фирмам  $q \in [0; 1]$ . Уравнения (2.1.106)—(2.1.107) мы использовали ранее в задаче энергетической отрасли.

$$Y_{t}^{E}(m) = \left(\frac{P_{t}^{E}(m)}{P_{t}^{E}}\right)^{-\frac{1+\lambda_{E,t}}{\lambda_{E,t}}} Y_{t}^{E}, \text{где}$$

$$Y_{t}^{E}(m) = \int_{0}^{1} Y_{q,t}^{E}(m) dq,$$

$$Y_{t}^{E} = \int_{0}^{1} Y_{q,t}^{E} dq$$
(2.1.107)

На третьем этапе, используя полученные индекс для заработной платы (2.1.102) и индекс для цен на энергию, продаваемой сектору производства промежуточной продукции (2.1.106), мы минимизируем общие номинальные издержки репрезентативной фирмы промежуточного производства при заданном минимальном уровне выпуска (2.1.95):

$$\begin{split} P_{t}^{K,MI}K_{q,t}^{MI} + W_{t}^{MI}L_{q,t}^{MI} + P_{t}^{E}Y_{q,t}^{E} &\to \min_{K_{q,t}^{MI},L_{q,t}^{MI},Y_{q,t}^{E}} \\ \left(L_{q,t}^{MI}\right)^{\alpha^{MI}}\left(K_{q,t}^{MI}\right)^{1-\alpha^{MI}} & \left(Y_{q,t}^{E}\right)^{\varphi^{MI}}A_{t}^{MI} \geq Y_{q,t}^{MI} \\ K_{q,t}^{MI},L_{q,t}^{MI},Y_{q,t}^{E} \geq 0 \end{split} \tag{2.1.108}$$

Полученные условия первого порядка для каждой репрезентативной фирмы  $q \in [0; 1]$  выглядят следующим образом:

$$\begin{split} P_t^{K,MI} &= M C_t^{MI} \frac{\alpha^{MI} Y_{q,t}^{MI}}{K_{q,t}^{MI}} \\ W_t^{MI} &= M C_t^{MI} \frac{(1 - \alpha^{MI} - \phi^{MI}) Y_{q,t}^{MI}}{L_{q,t}^{MI}} \\ P_t^E &= M C_t^{MI} \frac{\phi^{MI} Y_{m,t}^{MI}}{Y_{m,t}^{E}} \end{split} \tag{2.1.109}$$

где  $MC_t^{MI}$  — это функция предельных номинальных издержек для каждой репрезентативной фирмы q из отрасли, производящей промежуточную продукцию, имеющая вид:

$$MC_t^{MI} = \frac{(W_t^{MI})^{1-\alpha^{MI}} - \phi^{MI} (P_t^{K,MI})^{\alpha^{MI}} (P_t^E)^{\phi^{MI}}}{A_t^{MI} (1-\alpha^{MI} - \phi^{MI})^{1-\alpha^{MI}} - \phi^{MI} (\alpha^{MI})^{\alpha^{MI}} (\phi^{MI})^{\phi^{MI}}}$$
(2.1.110)

Четвертый этап состоит в ценообразовании на рынке монополистической конкуренции путем решения задачи максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли репрезентативной фирмой сектора промежуточного производства q на рынке продажи товаров  $Y_{q,t}^{MI}$  сектору, продающему конечную продукцию. Как и в нефтегазовом и энергетическом секторах, для учета негибкости цен мы используем ценообразование по Кальво с коэффициентом негибкости цен  $\vartheta^{MI} \in (0;1)$ . Также предполагается, что фирма, не меняющая цену, тем не менее индексирует ее по последнему значению инфляции, т.е. по индексу изменения цен отпускаемой продукции с коэффициентом степени ценовой индексации  $\gamma_{IIMI}$ .

Задача максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли фирмы, которая меняет цену в период времени t на рынке продажи продукции ритейлеру, устанавливая оптимальную цену  $P_t^{MI,*}$ , учитывая функцию спроса (2.1.112) со стороны данного сектора, взятую из соответствующей задачи (сформулированной и решенной в следующем пункте), сводится к следующему:

$$\begin{split} \max_{P_t^{MI,*}} & E_t \sum_{k=0}^{\infty} (\vartheta^{MI})^k \ Q_{t,t+k} \Bigg( P_t^{MI,*} \prod_{s=1}^k \left( \widetilde{II}_{t+s-1}^{MI} \right)^{\gamma_{II,MI}} Y_{t+k|t}^{MI}(q) \\ & - M C_t^{MI} Y_{t+k|t}^{MI}(q) \Bigg), \text{где} \end{split} \tag{2.1.111}$$

$$\widetilde{\Pi}_{t}^{MI} = \frac{P_{t}^{MI}}{P_{t-1}^{MI}},$$

$$Y_{t+k|t}^{MI}(q) = \left(\frac{P_t^{MI,*} \prod_{s=1}^k \left(\widetilde{I}_{t+s-1}^{MI}\right)^{\gamma_{MI,E}}}{P_{t+k}^{MI}}\right)^{\frac{-1+\lambda_{MI,t+k}}{\lambda_{MI,t+k}}} Y_{t+k}^{FG}$$
(2.1.112)

$$P_t^{MI} = \left[ \int_0^1 (P_t^{MI}(q))^{-\frac{1}{\lambda_{MI,t}}} dq \right]^{-\lambda_{MI,t}}, \tag{2.1.113}$$

где  $Q_{t,t+k}$  — стохастический фактор дисконтирования, возникающий из оптимизационной задачи домохозяйства;  $Y_{t+k|t}^{MI}(q)$  — выпуск в период времени t+k фирмы промежуточного (обрабатывающего) производства на рынке продажи продукции фирме-ритейлеру конечной продукции, которая в последний раз устанавливает оптимальную цену в период t;  $\widetilde{H}_t^{MI}$  — индекс роста цен на рассматриваемом рынке;  $P_t^{MI}$  — индекс цен, по которым фирмы отрасли производства промежуточной продукции продают свой товар фирме-ритейлеру конечной продукции;  $Y_{t+k}^{FG}$  — выпуск фирмы промежуточных товаров (обрабатывающего производства), который определяется в следующем пункте.

Условие первого порядка для задачи установления цены имеет следующий вид:

$$\sum_{k=0}^{\infty} (\vartheta^{MI})^k E_t \left[ \frac{Q_{t,t+k} Y_{t+k|t}^{MI}(q) \left( P_t^{MI,*} \prod_{s=1}^k \left( \widetilde{I}_{t+s-1}^{MI} \right)^{\gamma_{IJMI}} - \left( 1 + \lambda_{MI,t+k} \right) M C_{t+k}^{MI}}{\lambda_{MI,t+k}} \right] = 0 \quad (2.1.114)$$

Соответственно, закон движения для индекса цен  $P_t^{MI}$  на рассматриваемом рынке принимает вид:

$$(P_t^{MI})^{-\frac{1}{\lambda_{MI,t}}} = \vartheta^{MI} (P_{t-1}^{MI})^{-\frac{1}{\lambda_{MI,t}}} + (1 - \vartheta^{MI}) (P_t^{MI,*})^{-\frac{1}{\lambda_{MI,t}}}$$
(2.1.115)

где  $\lambda_{MI,t}$  — это ценовой маркап, задаваемый стационарным AR(1)-процессом:

$$\lambda_{MI,t} = \lambda_{MI} + \xi_t^{\lambda_{MI}}, \ \xi_t^{\lambda_{MI}} \sim N(0; \ \sigma_{\lambda_{MI}}^2). \tag{2.1.116}$$

Ритейлер (продавец конечной продукции). Предприятия розничной и оптовой торговли (или ритейлеры) предъявляют спрос на товары из промежуточного сектора (обрабатывающее производство) и перепродают его конечному потребителю (домохозяйствам) и внешнему сектору. Для агрегирования товаров промежуточного сектора ритейлером применяется следующая технология:

$$Y_t^{FG} = \left[ \int_0^1 Y_t^{MI}(q)^{\frac{1}{1+\lambda_{MI,t}}} dq \right]^{1+\lambda_{MI,t}}$$
 (2.1.117)

где  $Y_t^{MI}(q)$  — количество промежуточного товара типа q, который используется в производстве конечной продукции на момент времени t.

Задачу фирмы-ритейлера конечной продукции, принимающей решение о том, сколько продукции производить и по какой цене для конечных потребителей внутри страны и за рубежом можно решить в несколько этапов: на первом этапе — минимизировать издержки на закупку промежуточной продукции при заданном минимальном уровне выпуска конечной продукции, определяемом уравнением (2.1.117).

$$\int_{0}^{1} P_{t}^{MI}(q) Y_{t}^{MI}(q) dq \to \min_{\left\{Y_{q,t}^{MI}\right\}_{q=0}^{1}}$$

$$\left[ \int_{0}^{1} Y_{t}^{MI}(q)^{\frac{1}{1+\lambda_{MI,t}}} dq \right]^{1+\lambda_{MI,t}} \ge Y_{t}^{FG}$$
(2.1.118)

В результате получаем функцию спроса на продукцию фирмы q, производящую промежуточную продукцию (2.3.119) и индекс цен, по которым фирмы промежуточной продукции продают свой товар ритейлеру конечной продукции (2.3.120):

$$Y_t^{MI}(q) = \left(\frac{P_t^{MI}(q)}{P_t^{MI}}\right)^{-\frac{1+\lambda_{MI,t}}{\lambda_{MI,t}}} Y_t^{FG}$$
, где (2.1.119)

$$P_t^{MI} = \left[ \int_0^1 (P_t^{MI}(q))^{-\frac{1}{\lambda_{MI,t}}} di \right]^{-\lambda_{MI,t}}$$
 (2.1.120)

Получив индекс  $P_t^{MI}$ , можем перейти ко второму этапу решения задачи ритейлера конечной продукции, которая состоит в максимизации суммарной прибыли от продаж на двух рынках (отечественном и зарубежном) в условиях совершенной конкуренции и при условии независимости предельных издержек (2.1.120) от уровня выпуска:

где  $P_t^D$  — индекс цен конечной продукции на внутреннем рынке;  $Y_t^D$  — количество конечной продукции, реализуемой на внутреннем рынке;  $P_t^{Ex}$  — индекс цен в долларах для конечной экспортируемой продукции;  $Y_t^{Ex}$  — количество конечной продукции, реализуемой на внешнем рынке.

Предположение о совершенной конкуренции на рассматриваемых модельных рынках при условии независимости предельных издержек от уровня выпуска приводит к следующему равенству цен:

$$P_t^D = S_t P_t^{Ex} = P_t^{MI}. (2.1.122)$$

Функция спроса на экспорт со стороны иностранных домашних хозяйств задается аналогично функции спроса на импорт со стороны отечественных домашних хозяйств (2.3.36):

$$Y_t^{Ex} = \left(1 - \gamma_{c,t}^F\right) \left(\frac{P_t^{Ex}}{P_t^F}\right)^{-\nu_C^F} C_t^F, \tag{2.1.123}$$

где  $P_t^F$  — индекс потребительских цен за рубежом в долларах;  $\mathcal{C}_t^F$  — индекс агрегированного потребления домашних хозяйств за рубежом;  $\gamma_{c,t}^F$  — доля домашних товаров, потребляемых репрезентативным домохозяйством за рубежом;  $\upsilon_C^F$  — эластичность заме-

щения между отечественными и импортными товарами для иностранных домашних хозяйств.

Коэффициент  $\left(1-\gamma_{c,t}^F\right)$  задается стационарным AR(1) процессом в логарифмах с соответствующим шоком:

$$ln\left(1 - \gamma_{c,t}^{F}\right) = \phi_{j_{c}^{F}} ln\left(1 - \gamma_{c,t-1}^{F}\right) + \xi_{t}^{j_{c}^{F}}, \xi_{t}^{j_{c}^{F}} \sim N\left(0; \ \sigma_{j_{c}^{F}}^{2}\right)$$
(2.1.124)

Импортеры и ритейлер импортной продукции. Рынки импортной продукции представлены множеством импортеров, поставляющих иностранную дифференцированную продукцию ритейлеру-посреднику, который перепродает ее отечественным домашним хозяйствам. Предполагаем, что собственниками фирмимпортеров являются иностранные домашние хозяйства, а ритейлер-посредник является отечественным игроком.

Задача ценообразования на рынке продажи ввозимой продукции при предположении о монополистической конкуренции сводится к максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли репрезентативной фирмой  $f \in [0; 1]$  на рынке продажи импортируемых товаров  $Y_t^{IM}(f)$  посреднику-ритейлеру. Для учета негибкости цен мы предполагаем ценообразование по Кальво с коэффициентом негибкости цен  $\vartheta^{IM} \in (0; 1)$ . Также предполагается, что фирма-импортер, не меняющая цену, тем не менее индексирует ее по последнему значению инфляции, т.е. по индексу изменения цен отпускаемой продукции с коэффициентом степени ценовой индексации  $\gamma_{IIIM}$ .

Задача максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли фирмы-импортера, которая меняет цену в период времени t на рынке продажи ввозимой продукции ритейлеру-посреднику, устанавливая оптимальную цену  $P_t^{IM,*}$ , учитывая функцию спроса (2.1.126) со стороны данного сектора, взятую из соответствующей задачи (сформулированной и решенной в следующем пункте), сводится к следующему:

$$\begin{split} \max_{P_{t}^{IM,*}} & E_{t} \sum_{k=0}^{\infty} (\vartheta^{IM})^{k} \, Q_{t,t+k}^{F} \left( P_{t}^{IM,*} \prod_{s=1}^{k} \left( \widetilde{II}_{t+s-1}^{IM} \right)^{\gamma_{II,IM}} Y_{t+k|t}^{IM}(f) \right. \\ & - S_{t} P_{t}^{F,FG,IM} Y_{t+k|t}^{IM}(f) \right), \text{где} \\ & Q_{t,t+k}^{F} = \prod_{s=t}^{t+k-1} \left( 1 + i_{j}^{f} \right)^{-1} \\ & \widetilde{II}_{t}^{IM} = \frac{P_{t}^{IM}}{P_{t}^{IM}}, \end{split} \tag{2.1.125}$$

$$Y_{t+k|t}^{IM}(f) = \left(\frac{P_t^{IM,*} \prod_{s=1}^k \left(\widetilde{I}_{t+s-1}^{IM}\right)^{\gamma_{II,E}}}{P_{t+k}^{F,IM}}\right)^{-\frac{1+\lambda_{IM,t}}{\lambda_{IM,t}}} Y_{t+k}^{IM}, \tag{2.1.126}$$

$$P_t^{F,IM} = \left[ \int_0^1 (P_t^{IM}(f))^{-\frac{1}{\lambda_{IM,t}}} df \right]^{-\lambda_{IM,t}}, \tag{2.1.127}$$

где  $Q_{t,t+k}^F$  — стохастический фактор дисконтирования, возникающий из оптимизационной задачи иностранного домохозяйства;  $i_j^f$  — безрисковая ставка процента, заданная экзогенно;  $Y_{t+k|t}^{IM}(f)$  — продажи фирмы-импортера в период времени t+k, который в последний раз устанавливает оптимальную цену в период t;  $\widetilde{II}_t^{IM}$  — индекс роста цен на рассматриваемом рынке;  $P_t^{F,FG,IM}$  — индекс цен в долларах, по которому импортеры закупают продукцию за рубежом;  $P_t^{F,IM}$  — индекс цен, по которым фирма-импортер продают свою продукцию ритейлерупосреднику;  $Y_{t+k}^{IM}$  — агрегированные продажи ритейлерапосредника, определяемые далее;  $\lambda_{IM,t}$  — стохастический параметр, который определяет изменяющуюся во времени наценку на рынке импортируемой продукции, задаваемый в виде следующего стационарного процесса AR(1):

$$\lambda_{IM,t} = \lambda_{IM} + \xi_t^{\lambda_{IM}}, \ \xi_t^{\lambda_{IM}} \sim N(0; \ \sigma_{\lambda_{IM}}^2). \tag{2.1.128}$$

Ритейлер-посредник, в свою очередь, предъявляет спрос на товары, продаваемые импортерами, и перепродает их конечному потребителю (домохозяйствам). Для агрегирования этих товаров ритейлером применяется следующая технология:

$$Y_t^{IM} = \left[ \int_0^1 Y_t^{IM}(f)^{\frac{1}{1+\lambda_{IM,t}}} df \right]^{1+\lambda_{IM,t}}$$
 (2.1.129)

Задачу ритейлера-посредника можно решить в несколько этапов: на первом этапе — минимизировать издержки на закупку импортной продукции при заданном минимальном уровне продаж домашних хозяйствам, определяемом уравнением (2.3.129).

$$\int_{0}^{1} P_{t}^{IM}(f) Y_{t}^{IM}(f) df \to \min_{\left\{Y_{t}^{IM}(f)\right\}_{f=0}^{1}}$$

$$\left[\int_{0}^{1} Y_{t}^{IM}(f)^{\frac{1}{1+\lambda_{IM,t}}} df\right]^{1+\lambda_{IM,t}} \ge Y_{t}^{IM}$$
(2.1.130)

В результате получаем функцию спроса на продукцию фирмы-импортера f (2.1.131) и индекс цен, по которым эти фирмы продают свой товар ритейлеру-посреднику (2.1.132):

$$Y_t^{IM}(f) = \left(\frac{P_t^{IM}(f)}{P_t^{F,IM}}\right)^{-\frac{1+\lambda_{IM,t}}{\lambda_{IM,t}}} Y_t^{IM}$$
, где (2.1.131)

$$P_t^{F,IM} = \left[ \int_0^1 (P_t^{IM}(f))^{-\frac{1}{\lambda_{IM,t}}} df \right]^{-\lambda_{IM,t}}$$
 (2.1.132)

Получив индекс  $P_t^{IM}$ , можем перейти ко второму этапу решения задачи ритейлера-посредника, которая состоит в максимизации прибыли от продаж домашним хозяйствам на отечественном рынке в условиях совершенной конкуренции, а также при условии независимости предельных издержек (2.1.132) от уровня выпуска:

$$\Pi = P_t^{IM} Y_t^{IM} - P_t^{F,IM} Y_t^{IM} \rightarrow max . \tag{2.1.133}$$

Предположение о совершенной конкуренции на рассматриваемом модельном рынке приводит к следующему равенству цен:

$$P_t^{IM} = P_t^{F,IM}. (2.1.134)$$

#### 2.1.4. Монетарная и фискальная политика

Монетарная политика. Правило монетарной политики в логлинеаризованной форме задается посредством стандартного правила Тейлора, которое основано на таргетировании инфляции и на отклонении выпуска от целевого значения.

$$\hat{\iota}_{t}^{H} = \gamma_{r} \hat{\iota}_{t-1}^{H} + (1 - \gamma_{r}) (\sigma_{\Pi}^{m} (\pi_{t} - \pi^{*}) + \sigma_{Y}^{m} (y_{t}^{FG} - y^{*})) + \varepsilon_{t}^{m}, \qquad (2.1.135)$$

где  $\hat{t}_t^H$  — логарифм отклонения номинальной отечественной ставки процента от значения ставки в устойчивом состоянии при нулевой инфляции;  $\pi_t$  — логарифм темпа роста уровня цен в момент времени t;  $y_t^{FG}$  — логарифм совокупного выпуска в экономике;  $\pi^*$  — целевое значения уровня инфляции;  $y^*$  — целевое значение уровня выпуска;  $\gamma_r$  — коэффициент сглаживания процентной ставки;  $\sigma_\Pi^m$ ,  $\sigma_Y^m$  — предпочтения фискальных властей на счет проведения политики инфляционного таргетирования или приближения выпуска к целевому значению соответственно;  $\varepsilon_t^m$  — шок монетарной политики, задаваемый стационарным AR(1)-процессом.

$$log(\varepsilon_t^m) = \phi_{\varepsilon^m} log(\varepsilon_{t-1}^m) + \xi_t^{\varepsilon^m}, \xi_t^{\varepsilon^m} \sim N(0; \sigma_{\varepsilon^m}^2).$$
 (2.1.136)

Фискальная политика. Доходная часть бюджета состоит из аккордного налогообложения  $T_t$  всех типов домашних хозяйств  $j \in \{R, M, P\}$ , налоговой пошлины  $S_t \tau_t^{Ex} P_t^{Ex,oil} Y_t^{Ex,oil}$ , облагающей экспортируемую нефтегазовую продукцию и налога на прибыль нефтегазовых компаний  $\tau_t^{oil} \Pi_t^{oil}$ . Также государство получает дивиденды  $d_g (1-\tau_t^{oil}) \Pi_t^{oil}$  и проценты по капиталу  $P_t r_t^K K_t^{G,oil}$  от статуса собственника и от капитальных вложений в фирмы нефтегазового сектора соответственно. Расходная часть бюджета правительства формируется за счет выплат долговых обязательств внутри страны  $R_{t-1}^H D_t^H$  и за рубежом  $S_t R_{t-1}^W D_t^W$ , а также за счет выплаты аккордных трансфертов  $TR_t$  всем типам домохозяйств  $j \in \{R, M, P\}$ . Дефицит бюджета финансируется за счет выпуска новых внутренних и внешних долговых обязательств. Таким образом, уравнение дефицита бюджета задается уравнением:

$$\begin{split} DG_{t} &= R_{t-1}^{H} D_{t}^{H} + S_{t} R_{t-1}^{W} D_{t}^{W} + TR_{t} - \\ &- T_{t} - \tau_{t}^{oil} \Pi_{t}^{oil} - S_{t} \tau_{t}^{Ex} P_{t}^{Ex,oil} Y_{t}^{Ex,oil} - P_{t} r_{t}^{K} K_{t}^{G,oil} \\ &- d_{g} \left( 1 - \tau_{t}^{oil} \right) \Pi_{t}^{oil}, \end{split}$$
 
$$(2.1.137)$$
 
$$T_{t}^{K} &= \frac{P_{t}^{K,oil}}{P_{t}} - \delta_{oil},$$
 
$$TR_{t} &= \alpha_{r} T R_{t}^{r} + \alpha_{m} T R_{t}^{m} + (1 - \alpha_{r} - \alpha_{m}) T R_{t}^{P}$$
 
$$T_{t} &= \alpha_{r} T_{t}^{r} + \alpha_{m} T_{t}^{m} + (1 - \alpha_{r} - \alpha_{m}) T_{t}^{P}$$

Баланс бюджета правительства задается следующим уравнением:

$$DG_t = (D_{t+1}^H - D_t^H) + S_t(D_{t+1}^W - D_t^W)$$
(2.1.138)

Как и у А.В. Полбина, в предложенной модели также предполагается, что номинальная ставка процента  $R_t^W$  вложений в иностранные активы определяется с некоторой премией за риск к безрисковой ставке  $R_t^*$  на мировом финансовом рынке, которая определяется совокупным уровнем долга отечественной экономики относительно совокупного выпуска [28]:

$$R_{t}^{W} = R_{t}^{*} exp\left\{\psi_{D}\left(\frac{S_{t}(D_{t}^{W} - B_{t}^{W})}{P_{t}^{D} Y_{t}^{FG}}\right) + \varepsilon_{t}^{R}\right\},\tag{2.1.139}$$

где  $\psi_D$  — экзогенный параметр, демонстрирующий чувствительность премии за риск к изменениям в доле долга национальной экономики относительно совокупного выпуска;  $\varepsilon_t^R$  — экзогенная составляющая премии за риск, задаваемая стационарным процессом AR(1).

$$log(\varepsilon_t^R) = \phi_{\varepsilon^R} log(\varepsilon_{t-1}^R) + \xi_t^{\varepsilon^R}, \xi_t^{\varepsilon^R} \sim N(0; \sigma_{\varepsilon^R}^2)$$
 (2.1.140)

## 2.1.5. Условия равновесия на рынках и платежный баланс

В моделируемой нами экономической системе в каждый период времени t предполагается наличие условий равновесия на следующих рынках: труда, капитала, зарубежных и отечественных финансовых активов, товаров и услуг. Балансовые уравнения представлены далее.

Балансовые уравнения (2.1.141) отвечают за распределение конечной продукции на потребление отечественных товаров домашними хозяйствами, капитальные вложения в производственные отрасли и экспорт конечной продукции.

$$\begin{split} Y_t^{FG} &= Y_t^D + Y_t^{Ex}, \text{где} \\ Y_t^D &= C_t^D + I_t^D, \\ I_t^D &= [K_t^{r,oil} - \left(1 - \delta^{oil}\right) K_{t-1}^{r,oil} + K_t^{G,oil} - \left(1 - \delta^{oil}\right) K_{t-1}^{G,oil} + \\ &+ K_t^{r,E} - \left(1 - \delta^E\right) K_{t-1}^{r,E} + K_t^{r,MI} - \left(1 - \delta^{MI}\right) K_{t-1}^{r,MI}]/P_t \end{split} \tag{2.1.141}$$

Уравнения (2.1.142)-(2.1.143) показывают формирование сальдо счета текущих операций ( $CA_t$ ).  $Ex_t$  и  $Im_t$  показывают суммарный экспорт и импорт в модельной экономике соответственно.

$$CA_{t} = \frac{S_{t}[(B_{t+1}^{W} - D_{t+1}^{W}) - (B_{t}^{W} - D_{t}^{W})]}{P_{t}}$$
(2.1.142)

$$CA_t = Ex_t - Im_t + \frac{S_t R_{t-1}^* (B_t^W - D_t^W)}{P_t}$$
, где 
$$Ex_t = \frac{S_t P_t^{EX} Y_t^{EX}}{P_t} + \frac{S_t P_t^{EX,oil} Y_t^{EX,oil}}{P_t},$$
 (2.1.143) 
$$Im_t = \frac{P_t^{Im} Y_t^{Im}}{P_t} + \frac{\Pi \mathsf{M} \mathsf{U}_t}{P_t}$$

Уравнения (2.1.144)-(2.1.145) отвечают за равновесия на рынках труда, капитала, а также за распределение капитала богатых домохозяйств  $K_t^r$  по производственным отраслям.

$$\begin{split} L_{t} &= L_{t}^{oil} + L_{t}^{E} + L_{t}^{MI} \\ K_{t}^{oil} + K_{t}^{E} + K_{t}^{MI} &= K_{t} = K_{t}^{r} + K_{t}^{G,oil} + K_{t}^{F,oil} \\ K_{t}^{r} &= K_{t}^{r,oil} + K_{t}^{r,E} + K_{t}^{r,MI}, \\ K_{t}^{oil} &= K_{t}^{r,oil} + K_{t}^{G,oil} + K_{t}^{F,oil}, \\ K_{t}^{E} &= K_{t}^{r,E} \\ K_{t}^{E} &= K_{t}^{r,MI} \\ K_{t}^{T} &= \frac{K_{t}^{r}}{P_{t-1}} \end{split} \tag{2.1.145}$$

Равновесие на внутреннем рынке финансовых активов в рамках данной модели представлено уравнением (2.1.146).

$$D_t^H = B_t^H (2.1.146)$$

#### 2.1.6. Уравнения модели в лог-линеаризованной форме

Домашние хозяйства. Ниже представлены уравнения, определяющие решение модели и лог-линеаризованные относительно стационарного состояния (steady state). В частности, описаны основные формулы, характеризующие поведение домашних хозяйств в модельной экономике (2.1.147)–(2.1.151). Переменные с волной здесь и далее означают отклонение от устойчивого состояния.

$$c_{t}^{r} = \frac{h_{c}^{r}}{1 + h_{c}^{r}} c_{t-1}^{r} + \frac{1}{1 + h_{c}^{r}} E_{t} c_{t+1}^{r} - \frac{1 - h_{c}^{r}}{(1 + h_{c}^{r}) \sigma_{c}} (i_{t}^{H} - E_{t} \pi_{t+1})$$

$$+ \frac{1 - h_{c}^{r}}{(1 + h_{c}^{r}) \sigma_{c}} (z_{t}^{c} - E_{t} z_{t+1}^{c}), \text{ рде}$$

$$i_{t}^{H} = i_{t}^{W} + E_{t} s_{t+1} - s_{t} \text{ (UIP)}$$

$$i_{t}^{K} = i_{t}^{H},$$

$$i_{t}^{H} \equiv \ln(1 + R_{t}^{H}),$$

$$i_{t}^{W} \equiv \ln(1 + R_{t}^{W}),$$

$$i_{t}^{K} \equiv \ln(1 + R_{t}^{W}),$$

$$s_{t+1} \equiv \ln S_{t+1},$$

$$c_{t}^{r} = \ln C_{t}^{r},$$

$$z_{t}^{c} = \ln Z_{t}^{c},$$

$$\pi_{t} = \ln(1 + \Pi_{t})$$

Уравнения (2.1.147) представляют собой уравнение Эйлера для потребления «богатых» домашних хозяйств, условия непокрытого паритета процентных ставок и отсутствия арбитража в лог-линеаризованном виде.

$$\begin{split} c_t^m &= \frac{h_c^m}{1 + h_c^m} c_{t-1}^m + \frac{1}{1 + h_c^m} E_t c_{t+1}^m \\ &\qquad - \frac{1 - h_c^m}{(1 + h_c^m) \sigma_c} (i_t^H - E_t \pi_{t+1}) \\ &\qquad + \frac{1 - h_c^m}{(1 + h_c^m) \sigma_c} (z_t^C - E_t z_{t+1}^C) \end{split} \tag{2.1.148}$$

Уравнение (2.1.148) представляет собой уравнение Эйлера для потребления «среднего класса» в лог-линеаризованном виде.

$$\tilde{z}_t^l + \sigma_l \tilde{l}_t^r - \tilde{w}_t^r + \tilde{p}_t = \tilde{z}_t^c - \sigma_c \left[ \frac{1}{1 - h_c^r} \right] \tilde{c}_t^r + \sigma_c \left[ \frac{h_c^r}{1 - h_c^r} \right] \tilde{c}_{t-1}^r \qquad (2.1.149)$$

$$\tilde{z}_t^l + \sigma_l \tilde{l}_t^m - \tilde{w}_t^m + \tilde{p}_t 
= \tilde{z}_t^c - \sigma_c \left[ \frac{1}{1 - h_c^m} \right] \tilde{c}_t^m + \sigma_c \left[ \frac{h_c^m}{1 - h_c^m} \right] \tilde{c}_{t-1}^m$$
(2.1.150)

$$\tilde{z}_t^l + \sigma_l \tilde{l}_t^p - \tilde{w}_t^p + \tilde{p}_t = \tilde{z}_t^c - \sigma_c \left[ \frac{1}{1 - h_c^p} \right] \tilde{c}_t^p + \sigma_c \left[ \frac{h_c^p}{1 - h_c^p} \right] \tilde{c}_{t-1}^p$$
(2.1.151)

Уравнения (2.1.149)–(2.1.151) представляют собой уравнения предложения труда домашними хозяйствами, принадлежащими к различным поведенческим видам («богатые», «средний класс» и «бедные» соответственно).

Нефтегазовый сектор. Уравнения (2.1.152)—(2.1.158) характеризуют собой решение оптимизационной задачи репрезентативной фирмы нефтегазового сектора, представленное в логлинеаризованной форме. Все переменные с волной здесь и в прочих секторах рассматриваемой экономической системы означают отклонение от устойчивого состояния.

$$\tilde{y}_t^{oil} = (1 - \alpha^{oil})\tilde{l}_t^{oil} + \alpha^{oil}\tilde{k}_t^{oil} + \tilde{\alpha}_t^{oil}$$
(2.1.152)

$$k_{ss}^{oil} \tilde{k}_{t}^{oil} - (1 - \delta^{oil}) k_{ss}^{oil} \tilde{k}_{t-1}^{oil} \\ = k_{ss}^{r,oil} \tilde{k}_{t}^{r,oil} - (1 - \delta^{oil}) k_{ss}^{r,oil} \tilde{k}_{t}^{r,oil} + \\ + k_{ss}^{G,oil} \tilde{k}_{t}^{G,oil} - (1 - \delta^{oil}) k_{ss}^{G,oil} \tilde{k}_{t-1}^{F,oil} + k_{ss}^{F,oil} \tilde{k}_{t}^{F,oil} \\ - (1 - \delta^{oil}) k_{ss}^{F,oil} \tilde{k}_{t-1}^{F,oil}$$

$$(2.1.153)$$

$$\tilde{p}_t^{K,oil} = \tilde{m}c_t^{oil} + \tilde{y}_t^{oil} - \tilde{k}_t^{oil}$$
(2.1.154)

$$\widetilde{w}_t^{oil} = \widetilde{m} c_t^{oil} + \widetilde{y}_t^{oil} - \widetilde{l}_t^{oil} \tag{2.1.155}$$

Уравнение (2.1.152) представляет собой логлинеаризованную производственную функцию для репрезентативной фирмы нефтегазового сектора. Динамика суммарного капитала нефтегазового сектора в лог-линеаризованном виде представлена уравнением (2.1.153). (2.1.154)–(2.1.155), в свою очередь, задают номинальные цену капитала и заработную плату в нефтегазовой отрасли.

$$\widetilde{mc}_t^{oil} = (1 - \alpha^{oil})\widetilde{w}_t^{oil} + \alpha^{oil}\widetilde{p}_t^{K,oil} - \widetilde{\alpha}_t^{oil}$$
(2.1.156)

Уравнение (2.1.156) определяет лог-линеаризованные номинальные предельные издержки в нефтегазовом секторе.

$$\pi_{t}^{D,oil} = \frac{\beta}{\left(1 + \gamma_{\Pi,D,oil}\beta\right)} E_{t} \pi_{t+1}^{D,oil} + \frac{\gamma_{\Pi,D,oil}}{\left(1 + \gamma_{\Pi,D,oil}\beta\right)} \pi_{t-1}^{D,oil} + \frac{\left(1 - \vartheta^{D,oil}\right)\left(1 - \beta \vartheta^{D,oil}\right)}{\vartheta^{D,oil}\left(1 + \gamma_{\Pi,D,oil}\beta\right)} \left[\widetilde{mc_{t}}^{oil} - \widetilde{p_{t}}^{D,oil} + \frac{\xi_{t}^{\lambda_{oil,D}}}{\left(1 + \lambda_{oil,D}\right)}\right],$$

$$\pi_{t}^{D,oil} = p_{t}^{D,oil} - p_{t-1}^{D,oil} = \widetilde{\pi}_{t}^{D,oil} = \widetilde{p_{t}}^{D,oil} - \widetilde{p_{t-1}}^{D,oil}$$

$$\pi_{t}^{Ex,oil} = \frac{\beta}{\left(1 + \gamma_{\Pi,Ex,oil}\beta\right)} E_{t} \pi_{t+1}^{Ex,oil} + \frac{\gamma_{\Pi,Ex,oil}}{\left(1 + \gamma_{\Pi,Ex,oil}\beta\right)} \pi_{t-1}^{Ex,oil} + \frac{(1 - \vartheta^{Ex,oil})\left(1 - \beta \vartheta^{Ex,oil}\right)}{\vartheta^{D,oil}\left(1 + \gamma_{\Pi,Ex,oil}\beta\right)} \left[\widetilde{mc_{t}}^{oil} - \widetilde{p_{t}}^{Ex,oil} + \frac{\xi_{t}^{\lambda_{oil,Ex}}}{\left(1 + \lambda_{oil,Ex}\right)}\right],$$

$$(2.1.158)$$

$$\pi_t^{Ex,oil} = p_t^{Ex,oil} - p_{t-1}^{Ex,oil} = \tilde{\pi}_t^{Ex,oil} = \tilde{p}_t^{Ex,oil} - \tilde{p}_{t-1}^{Ex,oil}$$

(2.1.157)—(2.1.158) являются кривыми Филлипса для нефтегазовой продукции, поставляемой на различные рынки (рынки потребления нефтегазовой продукции со стороны энергетической отрасли и со стороны экспортера-ритейлера соответственно).

Ритейлер нефтегазовой продукции. Так как данный ритейлер действует на рынке совершенной конкуренции, то и его решение будет отличаться. Уравнение (2.1.159) задатт условие ценообразования на рынке продаваемой ритейлером продукции.

$$ln(1 - \tau_t^{Ex,oil}) + p_t^{Ex,oil} = p_t^{D,Ex,oil} - s_t$$
 (2.1.159)

Энергетический сектор. Уравнения (2.1.160)—(2.1.166) характеризуют собой решение оптимизационной задачи репрезентативной фирмы энергетического сектора, представленное в логлинеаризованной форме.

$$\tilde{y}_t^E = (1 - \alpha^E - \phi^E)\tilde{l}_t^E + \alpha^E \tilde{k}_t^E + \phi^E \tilde{y}_t^{D,oil} + \tilde{a}_t^E$$
(2.1.160)

$$k_{ss}^{E}\tilde{k}_{t}^{E} - (1 - \delta^{E})k_{ss}^{E}\tilde{k}_{t}^{E} = k_{ss}^{r,E}\tilde{k}_{t}^{r,E} - (1 - \delta^{E})k_{ss}^{r,E}\tilde{k}_{t}^{r,E}$$
 (2.1.161)

$$\tilde{p}_t^{K,E} = \widetilde{m}c_t^E + \tilde{y}_t^E - \tilde{k}_t^E \tag{2.1.162}$$

$$\widetilde{w}_t^E = \widetilde{m} c_t^E + \widetilde{y}_t^E - \widetilde{l}_t^E \tag{2.1.163}$$

$$\widetilde{p}_t^{D,oil} = \widetilde{m} c_t^E + \widetilde{y}_t^E - \widetilde{y}_t^{oil}$$
 (2.1.164)

Уравнение (2.1.160) представляет собой логлинеаризованную производственную функцию для репрезентативной фирмы энергетической отрасли. Динамика суммарного капитала в лог-линеаризованном виде представлена уравнением (2.1.161). (2.1.162)—(2.1.164), в свою очередь, задают номинальные цену капитала, заработную плату и цену нефтегазовой продукции как производственного фактора.

$$\widetilde{mc}_t^E = (1 - \alpha^E - \phi^E)\widetilde{w}_t^E + \alpha^E \widetilde{p}_t^{K,E} + \phi^E \widetilde{p}_t^{D,oil} - \widetilde{\alpha}_t^E$$
(2.1.165)

Уравнение (2.1.165) определяет лог-линеаризованные номинальные предельные издержки в энергетическом секторе.

$$\pi_{t}^{E} = \frac{\beta}{\left(1 + \gamma_{\Pi E}\beta\right)} E_{t} \pi_{t+1}^{E} + \frac{\gamma_{\Pi E}}{\left(1 + \gamma_{\Pi E}\beta\right)} \pi_{t-1}^{E} + \frac{(1 - \vartheta^{E})(1 - \beta\vartheta^{D,oil})}{\vartheta^{E}\left(1 + \gamma_{\Pi E}\beta\right)} \left[\widetilde{mc}_{t}^{E} - \widetilde{p}_{t}^{E} + \frac{\xi_{t}^{\lambda_{E}}}{(1 + \lambda_{E})}\right],$$

$$(2.1.166)$$

$$\pi_{t}^{E} = p_{t}^{E} - p_{t-1}^{E} = \tilde{\pi}_{t}^{E} = \tilde{p}_{t}^{E} - \tilde{p}_{t-1}^{E}$$

(2.1.166) является кривой Филлипса для продукции энергетического сектора, которая поставляется на рынок производства промежуточных товаров (обрабатывающее производство).

Промежуточное (обрабатывающее) производство. Уравнения (2.1.167)—(2.1.173) характеризуют собой решение оптимизационной задачи репрезентативной фирмы промежуточное производство, представленное в лог-линеаризованной форме.

$$\tilde{y}_{t}^{MI} = (1 - \alpha^{MI} - \phi^{MI})\tilde{l}_{t}^{MI} + \alpha^{MI}\tilde{k}_{t}^{MI} + \phi^{MI}\tilde{y}_{t}^{E} + \tilde{a}_{t}^{MI}$$
(2.1.167)

$$k_{ss}^{MI} \tilde{k}_{t}^{MI} - (1 - \delta^{MI}) k_{ss}^{MI} \tilde{k}_{t}^{MI} = k_{ss}^{r,MI} \tilde{k}_{t}^{r,MI} - (1 - \delta^{MI}) k_{ss}^{r,MI} \tilde{k}_{t}^{r,MI}$$
(2.1.168)

$$\tilde{p}_t^{K,MI} = \widetilde{m} c_t^{MI} + \tilde{y}_t^{MI} - \tilde{k}_t^{MI} \tag{2.1.169}$$

$$\widetilde{w}_t^{MI} = \widetilde{m} c_t^{MI} + \widetilde{y}_t^{MI} - \widetilde{l}_t^{MI} \tag{2.1.170}$$

$$\tilde{p}_t^E = \tilde{m}c_t^{MI} + \tilde{y}_t^{MI} - \tilde{y}_t^E \tag{2.1.171}$$

Уравнение (2.1.167) представляет собой логлинеаризованную производственную функцию для репрезентативной фирмы сектора промежуточного (обрабатывающего) производства. Динамика суммарного капитала в логлинеаризованном виде представлена уравнением (2.1.168). (2.1.169)—(2.1.171), в свою очередь, задают номинальные цену капитала, заработную плату и цену продукции энергетического сектора как производственного фактора.

$$\widetilde{mc}_t^{MI} = (1 - \alpha^{MI} - \phi^{MI})\widetilde{w}_t^{MI} + \alpha^{MI}\widetilde{p}_t^{K,MI} + \phi^{MI}\widetilde{p}_t^E - \widetilde{a}_t^{MI}$$
(2.1.172)

Уравнение (2.1.172) определяет лог-линеаризованные номинальные предельные издержки в секторе производства промежуточных товаров.

$$\pi_{t}^{MI} = \frac{\beta}{\left(1 + \gamma_{\Pi,MI}\beta\right)} E_{t} \pi_{t+1}^{MI} + \frac{\gamma_{\Pi,MI}}{\left(1 + \gamma_{\Pi,MI}\beta\right)} \pi_{t-1}^{MI} + \frac{(1 - \vartheta^{MI})(1 - \beta \vartheta^{MI})}{\vartheta^{MI}\left(1 + \gamma_{\Pi,MI}\beta\right)} \left[\widetilde{m}c_{t}^{MI} - \widetilde{p}_{t}^{MI} + \frac{\xi_{t}^{\lambda_{MI}}}{(1 + \lambda_{MI})}\right],$$

$$\pi_{t}^{MI} = p_{t}^{MI} - p_{t-1}^{MI} = \widetilde{\pi}_{t}^{MI} = \widetilde{p}_{t}^{MI} - \widetilde{p}_{t-1}^{MI}$$
(2.1.173)

(2.1.173) является кривой Филлипса для продукции сектора промежуточного производства, которая поставляется ритейлеру (продавцу конечной продукции).

Ритейлер (продавец конечной продукции). Так как ритейлер действует на рынке совершенной конкуренции, то и его решение будет отличаться. Таким образом, уравнение (2.1.174) задает условие ценообразования на рынках продаваемой ритейлером продукции, а (2.1.175), в свою очередь, представляет собой функцию спроса на его продукцию, отправляемую на экспорт.

$$\tilde{p}_t^D = \tilde{s}_t + \tilde{p}_t^{Ex} = \tilde{p}_t^{MI} \tag{2.1.174}$$

$$\begin{split} \tilde{y}_t^{Ex} &= (\tilde{p}_t^D - \tilde{s}_t - \tilde{p}_t^F)(-\upsilon_C^F) + \tilde{c}_t^F + \tilde{\alpha}_t^F, \\ \tilde{\alpha}_t^F &= ln\left(\frac{1 - \gamma_{c,t}^F}{1 - \gamma_{c,ss}^F}\right) \end{split} \tag{2.1.175}$$

*Импортеры*. Уравнения (2.1.176)–(2.1.177) характеризуют решение оптимизационной задачи фирмы-импортера, представленное в лог-линеаризованной форме.

$$\widetilde{mc}_t^{IM} = \widetilde{s}_t + \widetilde{p}_t^F \tag{2.1.176}$$

Выражение (2.1.176) – это номинальные предельные издержки фирмы-импортера.

$$\pi_{t}^{IM} = \frac{\beta}{\left(1 + \gamma_{\Pi,IM}\beta\right)} E_{t} \pi_{t+1}^{IM} + \frac{\gamma_{\Pi,IM}}{\left(1 + \gamma_{\Pi,IM}\beta\right)} \pi_{t-1}^{IM} + \frac{(1 - \vartheta^{IM})(1 - \beta \vartheta^{MI})}{\vartheta^{IM}\left(1 + \gamma_{\Pi,IM}\beta\right)} \left[\widetilde{mc}_{t}^{IM} - \widetilde{p}_{t}^{IM} + \frac{\xi_{t}^{\lambda_{IM}}}{(1 + \lambda_{IM})}\right],$$

$$\pi_{t}^{IM} = p_{t}^{IM} - p_{t+1}^{IM} = \widetilde{\pi}_{t}^{IM} = \widetilde{p}_{t}^{IM} - \widetilde{p}_{t+1}^{IM}$$
(2.1.177)

(2.1.177) является кривой Филлипса для продукции фирмимпортеров, которая поставляется ритейлеру-посреднику (продавцу импортной продукции домохозяйствам).

Ритейлер импортной продукции. Данный тип ритейлера действует на рынке совершенной конкуренции, следовательно, его решение также будет отличаться. Так, уравнение (2.1.178) задает условие ценообразования на рынках продаваемой ритейлером импортной продукции.

$$\tilde{p}_t^{IM} = \tilde{p}_t^{F,IM} \tag{2.1.178}$$

#### 2.1.7. Формирование ожиданий в модели

В базовой постановке модели, как и в большинстве рассматриваемых современных DSGE-моделей предполагается выполнение гипотезы о рациональных ожиданиях (англ. Rational Expectations, далее – RE) агентов, согласно которой ожидания формируются, полностью согласовываясь с моделью, описывающей экономическую динамику и в соответствии с применяемой экономической политикой, когда вся доступная информация используется эффективным образом. Используя гипотезу о RE, можно эффективно оценивать «глубокие» параметры модели, используя все ограничения на связи между уравнениями, задающими динамику модели, которые она накладывает посредством согласующихся с моделью ожиданий, но она не описывает задачу получения информации, которую необходимо решить агентам для раскрытия этих систематических связей между уравнениями.

Экономические решения различных агентов и их изменение во времени серьезным образом зависят от такого процесса обработки или изучения информации, поэтому гипотеза о RE неверно или неправдоподобно ограниченно описывает экономику. Это является широко известной серьезной слабостью подхода, основанного на гипотезе о RE, что приводит к необходимости применения альтернативных подходов к формированию ожиданий в DSGE-моделях, таких как подход ограниченной рациональности Т. Сарджента [29], подход рациональной невнимательности Симса [30] эпидемиология макроэкономических ожиданий Кэролла [31], модель вязкой информации Мэнкью и Райса [32], модель частичной информации Перлмана и др. [33] и Свенссона и Вудфорда [34], и подход адаптивного эконометрического обучения Эванса и Хонкапойи [35].

Альтернативным вариантом, развитием данной модели, является применение подхода адаптивного эконометрического обучения, согласно которому агенты рассматриваются как статистики или эконометристы, обновляющие свои прогнозные модели по мере поступления новой информации. Подобный подход применяется, например, в исследованиях Слободяна, Ваутерса [36, 37]

и улучшает соответствие поведения имитированных моделью данных поведению статистических данных.

При применении адаптивного обучения в качестве модели формирования ожиданий, обычно предполагается однородный тип обучения, т.е., что существует репрезентативный агент, использующий конкретный тип алгоритма обучения. Наиболее широко используемыми алгоритмами обучения являются рекурсивный метод наименьших квадратов (RLS) и метод стохастического градиента (SG). Главный вопрос, который возникает в связи с однородным обучением — является ли стабильность равновесия при рациональных ожиданиях (REE) следствием этой однородности, т.е. сохранится ли эта стабильность, если вместо однородного обучения использовать, например, обучение, состоящее из некоторой смеси различных алгоритмов или содержащее различные скорости обновления информации, различные начальные значения, верна ли гипотеза о существовании репрезентативного агента.

Среди исследователей, которые рассматривают этот вопрос: К. Гианнитсару [38], которая предполагает, что агенты являются однородными во всем, кроме способа обучения, С. Хонкапойя и К. Митра [39], которые рассматривают структурнонеоднородную экономику, имея в виду, что помимо неоднородности в обучении агенты могут также различаться в структурных параметрах — таких, как технологии, предпочтения и т.д.; А.С. Богомолова и Д. В. Колюжнов [40, 41], которые рассматривают условия стабильности независимо от неоднородности при обучении для общего класса структурно-неоднородных линейных моделей с ожиданиями. Необходимо учитывать, что в экономике России разные группы агентов могут, в общем, по-разному формировать и пересматривать ожидания, т.е. имеет место неоднородное адаптивное обучение, оказывающее критическое влияние на динамику макроэкономических показателей. Это отражено в построенной DSGE-модели.

Рассматриваемая нами лог-линеаризованная DSGE-модель со структурно-неоднородными экономическими агентами в сокращенной форме в общем виде теоретически может быть представлена в виде следующей структурно-неоднородной модели с S типами агентов с различными прогнозами с лагом эндогенной пе-

ременной, t-датировкой ожиданий и ожиданием будущих значений на один период вперед<sup>1</sup>:

$$x_{t} = \mu + Lx_{t-1} + \sum_{h=1}^{S} M_{1}^{h} \hat{E}_{t}^{h} x_{t+1} + Nw_{t} + \Psi \varepsilon_{t}$$
 (2.1.179)

$$w_t = Fw_{t-1} + v_t \tag{2.1.180}$$

где  $x_t-n\times 1$ -вектор эндогенных переменных;  $w_t-k\times 1$ -вектор экзогенных переменных;  $\upsilon_t$  и  $\varepsilon_t$  – вектора (независимых) шоков белого шума;  $\widehat{E}^h_t x_{t+1}$  – есть (в общем случае, нерациональные) ожидания  $x_{t+1}$  агентом h; L,N,  $\varPsi$  – подходящего размера матрицы; F ( $k\times k$ -матрица) такова, что  $w_t$  следует VAR(1) стационарному процессу с  $\Sigma_w = \lim_{t\to\infty} w_t w_t'$  – положительно-определенной матрицей ковариаций.

В этой модели ожидания эндогенных переменных, формируемые различными типами агентов, линейно влияют на текущие значения этих переменных. Структурная неоднородность модели выражается через матрицы  $M_1^h$ , которые включают в себя долю  $\chi_h$  каждого типа агента h,  $\sum \chi_h = 1$ . То есть  $M_1^h = \chi_h \widehat{M}_1^h$ , где  $\widehat{M}_1^h$  — матрицы, показывающие, как агенты типа h реагируют на свои собственные прогнозы.  $\widehat{M}_1^h$  содержат структурные параметры экономики, задающие предпочтения, технологии и запасы.

В рассматриваемой модели мы также будем предполагать, что агенты каждого типа h формируют свои ожидания об эндогенных переменных, веря, что экономическая система следует модели, называемой воспринимаемым законом овижения агентов (PLM). Для рассматриваемого модели он имеет вид  $x_t = a_{h,t} + b_{h,t}x_{t-1} + c_{h,t}w_t$ .

 $<sup>^1</sup>$  Эта модель относится к подклассу широкого класса моделей, рассматриваемых А.С. Богомоловой и Д.В. Колюжновым [40, 41], который включает в себя большинство современных структурно-однородных и структурно-неоднородных DSGE-моделей. Слободян и Ваутерс [36] определяют типичную DSGE-модель в сокращенной форме как  $A_0\big[x_{t-1} \quad w_{t-1}\big]' + A_1\big[x_t \quad w_t\big]' + A_2E_tx_{t+1} + B_0\varepsilon_t = const \,, \text{ решение которой после оценивания (например, при помощи DYNARE) при рациональных ожиданиях имеет вид <math display="inline">\big[x_t \quad w_t\big]' = \mu + T\big[x_{t-1} \quad w_{t-1}\big]' + R\varepsilon_t \,.$ 

Подстановка прогнозов каждого агента на основе PLM в сокращенную форму модели дает действительный закон движения (ALM) модели, соответствующий данному PLM. Соответствующее отображение из параметров PLM, называемых убеждениями  $\Phi_{h,t}$  ( $\Phi'_{h,t} = (a_{h,t}, b_{h,t}, c_{h,t})$ ) для рассматриваемой модели в параметры ALM называется T-отображением,  $T(\Phi_t)$ ,  $\Phi'_t = (\Phi'_{1,t}, ..., \Phi'_{S,t})$ . REE находится как неподвижная точка этого отображения  $T(\Phi) = \Phi_h$ . Для учета неоднородности поведения агентов (в нашем случае, домашних хозяйств) при формировании ожиданий в модели будем использовать неоднородное смешанное RLS/SG обучение, учитывающее различные виды неоднородности при обучении, когда одна часть агентов,  $h = 1, ..., S_0$  использует RLS алгоритм обучения, а другая,  $h = S_0 + 1, ..., S$  – обучение по методу SG, представленное следующим образом,  $z'_t = (1, x'_{t-1}, w'_t)$ :

$$(RLS) h$$
= 1, ...,  $S_0 \frac{\Phi_{h,t+1} = \Phi_{h,t} + \alpha_{h,t+1} R_{h,t+1}^{-1} z_t (x_t - \Phi'_{h,t} z_t)'}{R_{h,t+1} = R_{h,t} + \alpha_{h,t+1} (z_t z'_t - R_{h,t})}$ 
(2.1.181)

(SG) 
$$h = S_0 + 1, ..., S \Phi_{h,t+1} = \Phi_{h,t} + \alpha_{h,t+1} z_t (x_t - \Phi'_{h,t} z_t)'$$
 (2.1.182)

Неоднородность в обучении проявляется в виде разных типов алгоритмов обучения, используемых агентами (RLS и SG), различных начальных значений для алгоритмов обучения для каждого агента и разных долей агентов, использующих алгоритм обучения определенного типа. Разные скорости реагирования на новую информацию представлены в виде разных степеней инерции  $\delta_h > 0$ , которые в формулировке К. Гианнитсару [38] являются постоянными коэффициентами перед детерминистической убывающей положительной последовательностью коэффициентов

приращения в алгоритме обучения  $\alpha_t$ , которая является общей для всех агентов,  $\delta_h$ :  $\alpha_{h,t} = \delta_h \alpha_t$ ,  $\forall h$ , и удовлетворяет обычным условиям регулярности.

В контексте рассматриваемой модели вектор эндогенных переменных  $x_t$  определяет ограниченно-рациональные ожидания  $\hat{E}_t^h x_{t+1}$  следующих переменных:

 $\hat{E}_{t}^{r}c_{t+1}^{r}$  – ожидаемое потребление в следующем периоде богатых домашних хозяйств, прогнозируемое богатыми домашними хозяйствами в периоде t;

 $\hat{E}_{t}^{m}c_{t+1}^{m}$  — ожидаемое потребление в следующем периоде домашних хозяйств, относящихся к среднему классу, прогнозируемое этими домашними хозяйствами в периоде t;

 $\hat{E}^r_t \, \pi_{t+1}$  — ожидаемое значение инфляции потребительских цен в следующем периоде, прогнозируемое богатыми домашними хозяйствами в периоде t;

 $\widehat{\mathcal{E}}_t^m \pi_{t+1}$  — ожидаемое значение инфляции потребительских цен в следующем периоде, прогнозируемое домашними хозяйствами, относящимися к среднему классу, в периоде t;

 $\hat{E}_t^r \pi_{t+1}^{D,oil}$  — ожидаемое значение инфляции индекса цен нефтегазовой продукции, поставляемой энергетическому сектору, в следующем периоде, прогнозируемое богатыми домашними хозяйствами в периоде t;

 $\widehat{E}_t^r \pi_{t+1}^{Ex,oil}$  ожидаемое значение инфляции индекса цен нефтегазовой продукции, поставляемой экспортеру-посреднику, прогнозируемое богатыми домашними хозяйствами в периоде t(Ожидаемые значения инфляции индекса цен нефтегазовой продукции другими собственниками фирм нефтегазового сектора (правительством и иностранными инвесторами) принимаем совпадающими с ожиданиями «богатых» домашних хозяйств.);

 $\hat{E}^r_t \pi^E_{t+1}$  – ожидаемое значение инфляции индекса цен продукции энергетического сектора в следующем периоде, прогнозируемое богатыми домашними хозяйствами в периоде t;

 $\hat{E}_{t}^{r}\pi_{t+1}^{MI}$  — ожидаемое значение инфляции индекса цен сектора промежуточного производства в следующем периоде, прогнозируемое богатыми домашними хозяйствами в периоде t;

 $\hat{E}^r_t \pi^{IM}_{t+1}$  — ожидаемое значение инфляции индекса цен импорчемой в страну продукции, поставляемой ритейлерутируемой в посреднику, прогнозируемое зарубежными домашними хозяйствами (собственниками фирм-импортеров) в периоде t;  $\hat{E}^r_t s_{t+1}$  — ожидаемое значение спот-курса национальной валю-

ты, прогнозируемое богатыми домашними хозяйствами в периоде t.

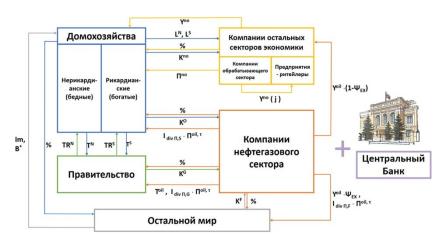
Используемые домашними хозяйствами для формирования ограниченно рациональных ожиданий компоненты вектора наблюдаемых шоков  $W_t$  в рассматриваемой модели включают в себя:  $z_t^c$  – экзогенный шок, отвечающий за изменение предпочтений домохозяйств относительно потребления;  $z_t^l$  – экзогенный шок, отвечающий за предпочтения домохозяйств относительно количества отработанных часов;  $\widehat{P_t^{Ex,oil}}$  шок мировой цены на нефть;  $ln(A_t^{oil})$  – стохастический трендовый уровень факторной производительности (технологический шок) в нефтегазовой отрасли;  $ln(A_t^E)$  – стохастический трендовый уровень факторной производительности (технологический шок) в энергетическом секторе,  $ln(A_t^{MI})$  – стохастический трендовый уровень факторной производительности (технологический шок) в секторе производства промежуточных товаров (обрабатывающем производстве);  $\lambda_{oil,D,t}$  – шок ценового маркапа (наценки) при ценообразовании нефтегазовой продукции, поставляемой энергетическому сектору;  $\lambda_{oil.Ex.t}$  — шок ценового маркапа (наценки) при ценообразовании нефтегазовой продукции, поставляемой экспортеру-посреднику;  $\lambda_{E,t}$  – шок ценового маркапа (наценки) при ценообразовании продукции энергетического сектора;  $\lambda_{MI,t}$  — шок ценового маркапа (наценки) при ценообразовании продукции сектора производства промежуточных товаров (обрабатывающего производства);  $1-\gamma_{c,t}^F$  — шок спроса на импорт, доли импортируемых товаров, потребляемых репрезентативным домохозяйством за рубежом;  $\lambda_{IM,t}$  – шок ценового маркапа (наценки) при ценообразовании при поставке ввозимых товаров фирмойимпортером ритейлеру-посреднику;  $\varepsilon_t^m$  — шок монетарной политики;  $\varepsilon_t^R$  – шок экзогенной составляющей премии за риск номинальной ставки процента по вложениям в иностранные активы по отношению к безрисковой ставке на мировом финансовом рынке.

# 2.1.8. Пример DSGE-модели экономики России с малым числом уравнений

Построенная выше DSGE-модель экономики России позволяет рассмотрение различных вариантов структуры неоднородного обучения, включая различные модификации PLM-агентов (вклю-

чая в них разные комбинации лагов эндогенных переменных и наблюдаемых шоков) и разные типы неоднородности в обучении, выбирая наиболее подходящую реальному поведению экономических агентов и статистическим данным спецификацию процесса формирования ожиданий применительно к экономике России. В зависимости от наличия данных и необходимой степени детализации производственной структуры экономики и степени неоднородности домашних хозяйств, возможно построение ее различных модификаций, улучшающих ее соответствие поведению реальных данных и качество выдаваемых прогнозов, в том числе рассматривая различные варианты моделирования фискальной и монетарной политики.

Рассмотрим пример модификации данной модели, представленной в виде DSGE-модели с малым числом уравнений [42], которая уже была оценена и использована нами для проведения сценарных расчетов по экономике России в ИЭОПП СО РАН. В отличие от базовой (широкой) постановки, рассмотренной выше, в данной модификации DSGE-модели рассматривается упрощенная структура: два типа домашних хозяйств и три вида фирм. Общая схема моделируемой экономики представлена на рис. 2.1.2.



*Puc*. 2.1.2. Схема рассматриваемого варианта построенной DSGE-модели с малым числом уравнений

В данной модификации модели, так же, как и в широкой ее постановке, происходит распределение таких факторов производства, как труд, капитал (домашних хозяйств и государства), а также непосредственно сама нефтегазовая продукция.

Предполагается, что в экономике домашние хозяйства, представленные долей  $\mu$ , и обозначаемые множеством P — «бедные» (нерикардианские), не делают сбережений на протяжении всей жизни, не имеют доступа к финансовым рынкам и потребляют весь свой располагаемый доход каждый период. Другая доля  $(1-\mu)$  домохозяйств, обозначаемых множеством R — это дальновидные (рикардианские) домохозяйства, которые осуществляют займы друг у друга, занимают за рубежом, инвестируют в физический капитал, а также получают прибыль. В отличие от базовой постановки рынок труда предполагается совершенно конкурентным, заработная плата одинакова для всех домохозяйств.

Фирмы в рамках данной модификации модели делятся на три основных типа, представляющих различные агрегированные сектора, которые формируют добавочную стоимость: предприятия нефтегазового и обрабатывающего (производящего промежуточные товары) сектора, а также предприятия-ритейлеры (формирующие конечное отечественное благо). В производственном секторе происходит распределение таких факторов производства, как труд, капитал (домашних хозяйств, государства и иностранных инвесторов), а также нефтегазовая продукция.

Также предполагается, что все фирмы обрабатывающего сектора принадлежат рикардианским «богатым» домохозяйствам, однако в то же время предприятиями нефтегазовой отрасли также владеет государство и иностранные инвесторы, а прибыль, после выплаты налога, распределяется между домохозяйствами, правительством и иностранцами в виде дивидендов.

Еще одним отличием от широкой постановки является предположение о том, что каждая фирма  $i \in [0; 1]$  из нефтегазового сектора обладает производственной функцией, включающей в себя только капиталоемкие затраты  $K_{i,t}^{oil}$ , предполагая, что производство нефти/газа является капиталоемким сектором, и, чтобы избежать дополнительных вычислительных сложностей, связанных с возможной мобильностью труда между отраслями.

Также есть особенности при моделировании фискальной и монетарной политики и формирования ожиданий в данной модификации модели, которые обозначим при их описании.

# 2.1.9. Домашние хозяйства и их предпочтения в модели с малым числом уравнений

Итак, постановка задачи богатого домохозяйства в данной модификации повторяет постановку (2.1.3)—(2.1.9) с учетом особенностей данной модификации, отраженных в периодном бюджетном ограничении (2.1.183), которое заменяет периодное бюджетное ограничение (2.1.5) и в том, что отстутствует ограничение в виде спроса на труд (2.1.9) (рынок труда в данной модификации совершенно конкурентный).

$$\begin{split} P_{t}^{D}C_{D,t}(j) + P_{t}^{IM}C_{IM,t}(j) + B_{t+1}^{D}(j) + S_{t}B_{t+1}^{W}(j) + \\ K_{t+1}^{no,nom}(j) + K_{t+1}^{o,nom}(j) &= (1 - \tau_{w})W_{t}(j)L_{t}(j) + \\ (1 + R_{t-1}^{H})B_{t}^{H}(j) + S_{t}(1 + R_{t-1}^{W})B_{t}^{W}(j) + \\ (1 + R_{t-1}^{no})K_{t}^{no,nom}(j) + (1 + R_{t-1}^{o})K_{t}^{o,nom}(j) + \\ + i_{\Pi,r}^{div}\Pi_{t}^{oil,\tau} - T_{t}(j) + TR_{t}(j) + \Pi_{t}^{no}, \\ j &\in R, \ \forall t \end{split}$$

$$(2.1.183)$$

где  $\tau_W$  — ставка налога на заработную плату,  $C_{D,t}(j)$  — потребление товаров отечественного производства домохозяйством типа j;  $C_{IM,t}(j)$  — потребление импортных товаров домохозяйством типа j,  $P_t^D$  — индекс потребительских цен внутри страны;  $P_t^{IM}$  — индекс импортных цен;  $P_t$  — индекс потребительских цен (ИПЦ),  $S_t$  — номинальный (прямой) обменный курс иностранной валюты,  $P_t^W(j)$  — номинальная стоимость выраженных в иностранной валюте облигаций,  $P_t^H(j)$  — номинальная стоимость займов в отечественной валюте,  $P_t^M(j)$  — капитал в номинальном выражении, вкладываемый домохозяйствами в компании нефтегазового и остальных секторов экономики, соответственно.  $P_t^M(j)$  — ставка номинальной

заработной платы в экономике для агента типа j,  $L_t{}^S(j)$  – количество рабочих часов,  $R_t^H$  — отечественная номинальная процентная ставка;  $R_t^W$  — зарубежная номинальная процентная ставка;  $R_t^O$  и  $R_t^{no}$  — процентные номинальные выплаты по капиталу в нефтегазовом секторе и остальных секторах экономики,  $T_t(j)$  — аккордные налоговые выплаты;  $i_{\Pi,r}{}^{div}$  — доля прибыли нефтегазовых фирм, выплачиваемая в виде дивидендов домохозяйствам,  $TR_t(j)$  — аккордные трансферты, полученные домохозяйствами от правительства,  $\Pi_t^{oil,\tau}$  и  $\Pi_t^{no}$  — прибыль после уплаты налога компаний нефтегазового сектора и остальных секторов экономики, соответственно.

Также задаются начальные данные по номинальному капиталу и чистым номинальным активам в иностранной и отечественной валюте,  $B_0^H(j)$ ,  $B_0^W(j)$ ,  $K_0^o(j)$  и  $K_0^{no}(j)$ .

Решение данной задачи приводит к уравнениям спроса на отечественные и иностранные товары для домохозяйств типа  $j \in R$ , уравнениям Эйлера, условию непокрытого процентного паритета таким же, как и (2.1.13)–(2.1.18) в широкой постановке модели. Условие отсутствия процентного арбитража по вложениям в отечественные активы и функция предложения труда «богатых» домашних хозяйств в данной модификации будут иметь вид:

$$R_t^H = R_t^{no} = R_t^o (2.1.184)$$

$$\frac{Z_t^l(L_t(j))^{\sigma_L}}{Z_t^c(C_t(j) - h_c^r C_{t-1}^r)^{-\sigma_c}} = (1 - \tau_w) \frac{W_t(j)}{P_t} = 0, \ \forall j \in \mathbb{R}$$
 (2.1.185)

Уравнение предложения труда (2.1.185) будет иметь одинаковый вид для обоих типов агентов, отличаясь только присущими конкретному типу поведенческим коэффициентом  $h_c$  и уровнем агрегированного потребления прошлого периода  $C_{t-1}$ .

В свою очередь, оптимизационная задача нерикардианского (не делающего сбережений) домашнего хозяйства в данной модификации повторяет постановку (2.1.29)–(2.1.33) с учетом особенностей данной модификации, отраженных в периодном бюджетном ограничении (2.1.186), которое заменяет периодное бюджетное ограничение (2.1.31), и в том, что отстутствует ограничение в виде спроса на труд (2.1.33) (рынок труда в данной модификации совершенно конкурентный).

$$P_t^D C_{D,t}(j) + P_t^{IM} C_{IM,t}(j) = (1 - \tau_w) W_t(j) L_t(j) + T R_t(j),$$

$$j \in P, \ \forall \ t$$
(2.1.186)

Решение данной задачи приводит к уравнениям спроса на отечественные и иностранные товары для домохозяйств типа  $j \in P$  аналогичным (2.1.13)-(2.1.15) для богатых домохозяйств в широкой постановке модели.

$$C_{H,t}(j) = \gamma_c \left(\frac{P_t}{P_t^H}\right)^{\nu_c} C_t(j), \forall j \in P$$
(2.1.187)

$$C_{F,t}(j) = \left(1 - \gamma_c\right) \left(\frac{P_t}{P_t^F}\right)^{\nu_c} C_t(j), \forall j \in P$$
(2.1.188)

$$P_{t} = \left[ \gamma_{c} P_{t}^{H^{1-\nu_{c}}} + \left( 1 - \gamma_{c} \right) P_{t}^{F^{1-\nu_{c}}} \right]^{\frac{1}{1-\nu_{c}}}, \tag{2.1.189}$$

Также решение оптимизационной задачи репрезентативного «бедного» домашнего хозяйства дает и функцию предложения труда «бедных» домашних хозяйств (2.1.190) аналогичную (2.1.185):

$$\frac{Z_t^l(L_t(j))^{\sigma_L}}{Z_t^c(C_t(j) - h_c^p C_{t-1}^p)^{-\sigma_c}} = (1 - \tau_w) \frac{W_t(j)}{P_t} = 0, \forall j \in P$$
 (2.1.190)

Аналогично базовой широкой постановке (2.1.35)–(2.1.36) совокупный спрос на отечественные и импортные товары, которые представляют собой сумму долей от потребления всех типов рассматриваемых домохозяйств, записывается как:

$$\begin{split} C_{D,t} &= (1-\mu)C_{D,t}^r + \mu C_{D,t}^p = \gamma_c \left(\frac{P_t}{P_t^D}\right)^{\nu_c} \left((1-\mu)C_t^r + \mu C_t^p\right) \\ &= \gamma_c \left(\frac{P_t}{P_t^D}\right)^{\nu_c} C_t, \end{split} \tag{2.1.191}$$

$$\begin{split} C_{IM,t} &= (1-\mu)C_{IM,t}^{r} + \mu C_{IM,t}^{p} \\ &= \left(1 - \gamma_{c}\right) \left(\frac{P_{t}}{P_{t}^{IM}}\right)^{\nu_{c}} \left((1-\mu)C_{t}^{r} + \mu C_{t}^{p}\right) = \\ &= \left(1 - \gamma_{c}\right) \left(\frac{P_{t}}{P_{t}^{IM}}\right)^{\nu_{c}} C_{t} \end{split} \tag{2.1.192}$$

где  $C_t$  – это суммарный индекс потребления.

## 2.1.10. Производственный сектор и технологии в модели с малым числом уравнений

Решение и постановка задач фирм по агрегированным производственным секторам проводится в данной модификации аналогично задачам в базовой широкой постановке.

Ритейлер (продавец конечной продукции). В данной модификации модели предполагается, что предприятия розничной и оптовой торговли (или ритейлеры) действуют на рынке совершенной конкуренции и предъявляют спрос на товары из промежуточного сектора (обрабатывающее производство) и перепродают его конечному потребителю (домохозяйствам). Для агрегирования товаров промежуточного сектора ритейлером применяется следующая технология:

$$Y_t^{no} = \left[ \int_0^1 Y_t^{no}(q)^{\frac{1}{1+\lambda}} dq \right]^{1+\lambda}$$
 (2.1.193)

где  $Y_t^{no}(q)$  — количество промежуточного товара типа q, который используется в производстве конечной продукции на момент времени t.

Задачу фирмы-ритейлера конечной продукции, принимающей решение о том, сколько продукции производить и по какой цене для конечных потребителей можно решить в несколько этапов.

На первом этапе необходимо минимизировать издержки на закупку промежуточной продукции при заданном минимальном уровне выпуска конечной продукции, определяемом уравнением (2.1.193).

$$\int_{0}^{1} P_{t}^{no}(q) Y_{t}^{no}(q) dq \to \min_{\{Y_{q,t}^{no}\}_{q=0}^{1}}$$

$$\left[ \int_{0}^{1} Y_{t}^{no}(q)^{\frac{1}{1+\lambda}} dq \right]^{1+\lambda} \ge Y_{t}^{no}$$
(2.1.194)

Результатом решения данной задачи является функция спроса на продукцию фирмы q, производящей промежуточную продукцию (2.1.195) и индекс цен промежуточных товаров ( $P_t^{MI}$ ), по которым фирмы промежуточной продукции продают свой товар ритейлеру конечной продукции (2.1.196):

$$Y_t^{no}(q) = \left(\frac{P_t^{no}(q)}{P_t^{MI}}\right)^{\frac{1+\lambda}{\lambda}} Y_t^{no}$$
, где (2.1.195)

$$P_t^{MI} = \left[ \int_0^1 (P_t^{no}(q))^{-\frac{1}{\lambda}} dq \right]^{-\lambda}$$
 (2.1.196)

Получив индекс  $P_t^{MI}$ , мы можем перейти ко второму этапу решения задачи ритейлера конечной продукции, который состоит в максимизации прибыли от продажи на рынке (отечественном) в условиях совершенной конкуренции:

$$\Pi = P_t^{no} Y_t^{no} - P_t^{MI} Y_t^{no} \to max \tag{2.1.197}$$

где  $P_t^{no}$  – цена конечной продукции;  $Y_t^{no}$  – количество конечной продукции. Предположение о совершенной конкуренции на рассматриваемом модельном рынке приводит к следующему равенству цен:

$$P_t^{no} = P_t^{MI} (2.1.198)$$

Промежуточное (обрабатывающее) производство. В модели предполагается, что каждая фирма  $q \in [0; 1]$  из промежуточного производства обладает производственной функцией Кобба-Дугласа, имеющей в качестве факторов труд  $L_{q,t}$ , частный капитал  $K_{q,t}^{no}$  (в реальном выражении, из того, который формируется инвестициями «богатых» домохозяйств  $I_t^{r,no}$  в отраслях, не относящихся к нефтегазовому сектору) и продукцию нефтегазовой отрасли  $Y_{q,t}^{d,oil}$  (из той, которая не идет на экспорт):

$$Y_{q,t}^{no} = A_t^{no} \left( K_{q,t}^{no} \right)^{\alpha^{no}} \left( L_{q,t} \right)^{1 - \alpha^{no} - \phi^{no}} \left( Y_{q,t}^{d,oil} \right)^{\phi^{no}} \tag{2.1.199}$$

где  $A_t^{no}$  — технологический показатель факторной производительности в отрасли промежуточного производства, задаваемый стационарным процессом AR(1) в логарифмах:

$$log(A_t^{no}) = \phi_{A,MI} log(A_{t-1}^{no}) + \xi_t^{A,no}, \xi_t^{A,no} \sim N(0; \sigma_{A,no}^2)$$
 (2.1.200)

Динамика суммарного капитала  $K_t^{no}$  в отрасли, в свою очередь, задается следующим образом:

$$K_t^{no} - (1 - \delta^{no}) K_{t-1}^{no} = I_t^{r,no} = K_t^{r,no} - (1 - \delta^{no}) K_{t-1}^{r,no},$$
 (2.1.201)

где  $\delta^{no}$  — коэффициент выбытия капитала в секторе промежуточного производства.

Производители промежуточных товаров действуют на рынке монополистической конкуренции. Задачу репрезентативной фирмы сектора промежуточного производства, принимающей решение о том, сколько продукции продавать и по какой цене для конечного производства (ритейлер конечной продукции для внутреннего рынка), с учетом соответствующих ограничений со стороны фирмы ритейлера, можно решить в несколько этапов.

На первом этапе мы минимизируем общие номинальные издержки репрезентативной фирмы промежуточного производства при заданном минимальном уровне выпуска (2.1.199):

$$\begin{split} P_{t}^{K,no}K_{q,t}^{no} + W_{t}L_{q,t} + P_{t}^{oil}Y_{q,t}^{d,oil} &\to \min_{K_{q,t}^{no},L_{q,t},Y_{q,t}^{oil}} \\ A_{t}^{no}\left(K_{q,t}^{no}\right)^{\alpha^{no}}\left(L_{q,t}\right)^{1-\alpha^{no}-\varphi^{no}}\left(Y_{q,t}^{d,oil}\right)^{\varphi^{no}} &\geq Y_{q,t}^{no} \\ K_{q,t}^{no},L_{q,t},Y_{q,t}^{d,oil} &\geq 0 \end{split} \tag{2.1.202}$$

В результате решения этой задачи для каждой репрезентативной фирмы  $q \in [0;1]$  из отрасли, производящей промежуточную продукцию, получаем функцию предельных номинальных издержек:

$$MC_t^{no} = \frac{(W_t)^{1-\alpha^{no}} - \phi^{no} \left(P_t^{K,no}\right)^{\alpha^{no}} \left(P_t^{oil}\right)^{\phi^{no}}}{A_t^{no} (1-\alpha^{no} - \phi^{no})^{1-\alpha^{no}} - \phi^{no} (\alpha^{no})^{\alpha^{no}} (\phi^{no})^{\phi^{no}}}$$
(2.1.203)

Второй этап представляет собой ценообразование на рынке монополистической конкуренции путем решения задачи максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли репрезентативной фирмой сектора промежуточного производства q на рынке продажи товаров  $Y_{q,t}^{no}$  сектору, продающему конечную продукцию, с механизмом негибкости цен по Кальво с коэффициентом негибкости цен  $\vartheta \in (0;1)$  и индексацией по индексу изменения цен отпускаемой продукции с коэффициентом степени ценовой индексации  $\gamma_{ПМI}$ .

Задача максимизации ожидаемой дисконтированной прибыли фирмы, которая меняет цену в период времени t на рынке продажи продукции ритейлеру, устанавливая оптимальную цену  $P_t^{no,*}$ , учитывая функцию спроса (29) со стороны данного сектора, взятую из соответствующей задачи в предыдущем пункте, сводится к следующему:

$$\begin{split} \max_{P_{t}^{no,*}} & E_{t} \sum_{k=0}^{\infty} (\vartheta)^{k} \, Q_{t,t+k} \left( P_{t}^{no,*} \prod_{s=1}^{k} \left( \widetilde{\Pi}_{t+s-1}^{MI} \right)^{\gamma_{\Pi,MI}} Y_{t+k|t}^{no}(q) \right. \\ & \left. - M C_{t}^{no} Y_{t+k|t}^{no}(q) \right) \text{, где} \end{split} \tag{2.1.204}$$

$$\widetilde{\Pi}_t^{MI} = \frac{P_t^{MI}}{P_{t-1}^{MI}},$$

$$Y_{t+k|t}^{no}(q) = \left(\frac{P_t^{no,*} \prod_{s=1}^k \left(\widetilde{I}_{t+s-1}^{MI}\right)^{\gamma_{MI,E}}}{P_{t+k}^{MI}}\right)^{\frac{1+\lambda}{\lambda}} Y_{t+k}^{no}$$
(2.1.205)

$$P_t^{MI} = \left[ \int_0^1 (P_t^{no}(q))^{-\frac{1}{\lambda}} dq \right]^{-\lambda}$$
 (2.1.206)

где  $Q_{t,t+k}$  — стохастический фактор дисконтирования, возникающий из оптимизационной задачи домохозяйства;  $Y^{no}_{t+k|t}(q)$  — выпуск в период времени t+k фирмы промежуточного (обрабатывающего) производства на рынке продажи продукции фирмеритейлеру конечной продукции, которая в последний раз устанавливает оптимальную цену в период t;  $\widetilde{\Pi}^{MI}_t$  — индекс роста цен на рассматриваемом рынке;  $P^{MI}_t$  — индекс цен, по которым фирмы отрасли производства промежуточной продукции продают свой товар фирме-ритейлеру конечной продукции.

Условие первого порядка для задачи установления цены имеет следующий вид:

$$\sum_{k=0}^{\infty} (\vartheta)^k E_t \left[ Q_{t,t+k} Y_{t+k|t}^{no}(q) \left( P_t^{no,*} \prod_{s=1}^k \left( \widetilde{I}_{t+s-1}^{MI} \right)^{\gamma_{II,MI}} - (1+\lambda) M C_{t+k}^{no} \right) \right] = 0$$

В соответствии с ценообразованием по Кальво и индексацией по прошлой инфляции закон движения для индекса цен  $P_t^{MI}$  на рассматриваемом рынке принимает вид:

$$(P_t^{MI})^{-\frac{1}{\lambda}} = \vartheta(P_{t-1}^{MI})^{-\frac{1}{\lambda}} + (1 - \vartheta)(P_t^{no,*})^{-\frac{1}{\lambda}}$$
 (2.1.207)

Heфтегазовый сектор. Как было уже сказано, в этой модификации модели предполагается, что каждая фирма  $i \in [0; 1]$  из нефтегазового сектора обладает производственной функцией, включающей в себя только капиталоемкие затраты  $K_{i,t}^{oil}$ , предполагая, что производство нефти/газа является капиталоемким сектором, и, чтобы избежать дополнительных вычислительных сложностей, связанных с возможной мобильностью труда между отраслями:

$$Y_{i,t}^{oil} = A_t^{oil} (K_{i,t}^{oil})^{\alpha^{oil}}, (2.1.208)$$

где  $A_t^{oil}$  — технологический показатель факторной производительности в нефтегазовой отрасли, задаваемый стационарным процессом AR(1) (2.1.40) в логарифмах;  $K_t^{oil}$  — суммарный нефтяной капитал (в реальном выражении), накапливаемый государственными ( $I_t^G$ ) и прямыми иностранными инвестициями ( $\Pi$ ИИ $_t$ ), а также инвестициями «богатых» домохозяйств  $I_t^{r,oil}$ ;  $\alpha^{oil} \in (0,1)$  — эластичность выпуска по капиталу; здесь и далее верхний индекс «oil» будет использоваться для «нефтяных» переменных.

Динамика суммарного капитала  $K_t^{oil}$ и инивестиций в нефтегазовой отрасли, как и в базовой постановке, задается (2.1.40)—(2.1.45).

Нефтегазовые компании платят подоходные налоги по ставке  $au^{oil}$ , а также налог на добычу полезных ископаемых по ставке  $au^p$  рублей за 1 тонну. Доля продаваемой за границу нефти составляет  $\psi_{EX}$  от всей добываемой нефти. Производители нефти стремятся максимизировать свою прибыль после уплаты налогов в национальной валюте:

$$\begin{split} \Pi_{t}^{oil,\tau} &= (1 - \tau^{oil}) \Pi_{t}^{oil,\tau} = \\ &= (1 - \tau^{oil}) (P_{t}^{oil} Y_{t}^{oil} (1 - \psi_{EX}) \\ &+ P_{t}^{oil*} S_{t} Y_{t}^{oil} \psi_{EX} - \tau^{p} Y_{t}^{oil} - P_{t}^{k,oil} K_{t}^{oil}) \end{split} \tag{2.1.209}$$

где  $P_t^{oil}$  — внутренняя цена на нефть,  $P_t^{oil*}$  — мировая цена нефти, а  $P_t^{k,oil}$  — номинальная цена единицы нефтяного капитала.

Условия первого порядка этой задачи дают следующую функцию спроса на капитал в нефтегазовом секторе:

$$\alpha_0 A_t^{oil} (K_t^{oil})^{\alpha_0 - 1} = \frac{P_t^{k,oil}}{P_t^{oil} (1 - \psi_{EX}) + P_t^{oil*} S_t \psi_{EX} - \tau^p}$$
(2.1.210)

Нефтегазовый сектор принадлежит «богатым» домохозяйствам, правительству и загранице (они же и инвестируют в нефтегазовые компании). Дивидендная доля прибыли нефтегазовых компаний, получаемая домохозяйствами типа r, обозначается  $i_{\Pi,r}^{\phantom{\Pi}div}$ , получаемая государством —  $i_{\Pi,G}^{\phantom{\Pi}div}$ , а получаемая иностранными агентами -  $i_{\Pi,F}^{\phantom{\Pi}div}$ .

## 2.1.11. Монетарная и фискальная политика в модели с малым числом уравнений

Монетарная политика. В настоящее время Центральный Банк Российской Федерации придерживается политики инфляционного таргетирования, когда устанавливается желаемый уровень инфляции, и после этого инфляция поддерживается в пределах намеченного уровня. Монетарная политика регулятора по поддержанию желаемого уровня инфляции в нашем исследовании моделируется путем изменения номинальной процентной ставки, при этом учитывается отклонение показателя инфляции и валютного курса, а также выпуска отечественных товаров и цены на нефть в отечественной валюте относительно их устойчивого состояния (добавляем аналогично [43], поскольку ставка процента может реагировать на данный показатель для снижения общественных потерь). То есть мы предполагаем, что монетарная политика в логлинеаризованной форме в данной модификации модели подчиняется следующему правилу Тейлора:

$$\hat{\imath}_{t}^{H} = \gamma_{r} \hat{\imath}_{t-1}^{H} + (1 - \gamma_{r}) \left( \sigma_{\Pi}^{m} (\pi_{t} - \pi^{*}) + \sigma_{r}^{m} (y_{t}^{no} - y^{*}) + \sigma_{oil}^{m} \hat{P}_{t}^{oil} + \sigma_{S}^{m} \hat{S}_{t} \right) + \varepsilon_{t}^{m},$$
 (2.1.211)

где  $\hat{\imath}_t^H$  — логарифм отклонения номинальной отечественной ставки процента от значения ставки в устойчивом состоянии при нулевой инфляции;  $\pi_t$  — логарифм темпа роста уровня цен в момент времени t;  $y_t^{FG}$  — логарифм совокупного выпуска в экономике;  $\pi^*$  — целевое значения уровня инфляции;  $y^*$  — целевое значение уровня выпуска;  $\gamma_r$  — параметр сглаживания процентной ставки;  $\sigma_\Pi^m$ ,  $\sigma_Y^m$ ,  $\sigma_{oil}^m$  и  $\sigma_S^m$  — коэффициенты, определяющие реак-

цию центрального банка на отклонение (в логарифмах) показателей инфляции  $\pi_t$ , объема выпуска  $Y_t^{no}$ , внутренней цены на нефть  $P_t^{oil}$ , валютного курса  $S_t$  от их устойчивых (целевых) уровней;  $\varepsilon_t^m$  — шок монетарной политики, задаваемый стационарным AR(1)-процессом (2.1.136).

Фискальная политика. Правительство взимает с домохозяйств аккордные налоги и налоги на заработную плату, кроме этого оно получает налог с прибыли нефтегазовых компаний, НДПИ и часть прибыли нефтегазовых компаний в виде дивидендов, а также выплаты по инвестированному в нефтегазовые фирмы капиталу. При этом правительство выплачивает домашним хозяйствам трансферты и делает инвестиции в компании нефтегазового сектора. Таким образом, баланс бюджета правительства можно записать следующим образом:

$$TR_t + I_t^G = \tau_W W_t L_t + T_t + T_t^{oil} + P_t^{k,oil} K_t^G$$
, (2.1.212)

$$T_t = (1 - \mu)T_t^r + \mu T_t^p \,, \tag{2.1.213}$$

$$TR_t = (1 - \mu)TR_t^r + \mu TR_t^p,$$
(2.1.214)

$$T_t^{oil} = \tau^{oil} \Pi_t^{oil} + i_{\Pi,G}^{div} \Pi_t^{oil,\tau} + \tau^p Y_t^{oil}, \qquad (2.1.215)$$

*Условия равновесия на рынках*. Рынки труда и капитала в равновесии соответствуют условиям:

$$L_t = \mu L_t^p + (1 - \mu)L_t^r, \tag{2.1.216}$$

$$K_t^{\text{HOM}} = K_t^{no,\text{HOM}} + K_t^{o,\text{HOM}}, K_t^{oil} = K_t^o + K_t^G + K_t^F.$$
 (2.1.217)

Равновесие ВВП со стороны спроса и предложения соответствует уравнению:

$$P_{t}^{MI}Y_{t}^{no} + P_{t}^{oil*}S_{t}Y_{t}^{oil}\psi_{EX} = P_{t}C_{t} + I_{t}^{S} + I_{t}^{G} + P_{t}^{oil*}S_{t}Y_{t}^{oil}\psi_{EX} - P_{t}^{IM}C_{t}^{IM}$$
(2.1.218)

Равновесие на рынке отечественных займов можно формализовать как:

$$B_t = 0 (2.1.219)$$

## 2.1.12. Лог-линеаризованные уравнения модели с малым числом уравнений

Домашние хозяйства. Соответствующие логлинеаризованные уравнения, характеризующие поведение домашних хозяйств для данной модификации модели, выглядят следующим образом:

$$\widetilde{c}_t = \mu \frac{\overline{c^p}}{\overline{c}} \widetilde{c_t}^p + (1 - \mu) \frac{\overline{c^p}}{\overline{c}} \widetilde{c_t}^p$$
(2.1.220)

$$\widetilde{l}_{t} = \mu \frac{\overline{L^{p}}}{\overline{l}} \widetilde{l_{t}}^{p} + (1 - \mu) \frac{\overline{L^{p}}}{\overline{l}} \widetilde{l_{t}}^{p}$$
(2.1.221)

$$\widetilde{c_t}^D = \widetilde{c_t} + \frac{1}{\nu_c} \widetilde{p_t}^H - \frac{1}{\nu_c} \widetilde{p_t}$$
 (2.1.222)

$$\widetilde{p^{IM}} = \widetilde{p_t} + \frac{1}{\nu_c} \widetilde{p_t^{IM}} - \frac{1}{\nu_c} \widetilde{p_t}$$
 (2.1.223)

$$\widetilde{n_t} = \widetilde{p_t} - \widetilde{p_{t-1}} \tag{2.1.224}$$

$$\widetilde{p}_t = \gamma_c \widetilde{p_t}^D (\frac{\overline{p^D}}{\overline{P}})^{1-\nu_c} + (1-\gamma_c) \widetilde{p_t}^{IM} (\frac{\overline{p^{IM}}}{\overline{P}})^{1-\nu_c}$$
 (2.1.225)

$$c_{t}^{r} = \frac{h_{c}^{r}}{1 + h_{c}^{r}} c_{t-1}^{r} + \frac{1}{1 + h_{c}^{r}} E_{t} c_{t+1}^{r}$$

$$- \frac{1 - h_{c}^{r}}{(1 + h_{c}^{r}) \sigma_{c}} (i_{t}^{H} - E_{t} \pi_{t+1})$$

$$+ \frac{1 - h_{c}^{r}}{(1 + h_{c}^{r}) \sigma_{c}} (z_{t}^{c} - E_{t} z_{t+1}^{c}), \text{ где}$$

$$i_{t}^{H} = i_{t}^{W} + E_{t} s_{t+1} - s_{t}$$

$$i_{t}^{K} = i_{t}^{H},$$

$$i_{t}^{H} \equiv \ln(1 + R_{t}^{H}),$$

$$(2.1.226)$$

$$i_t^W \equiv ln(1 + R_t^W),$$
  
 $i_t^K \equiv ln(1 + R_t^K),$   
 $s_{t+1} \equiv lnS_{t+1},$   
 $c_t^r = lnC_t^r,$   
 $z_t^c = lnZ_t^C,$   
 $\pi_t = ln(1 + \Pi_t)$ 

Уравнения (2.1.220)—(2.1.225) относятся к первому этапу решения задачи домашнего хозяйства и представляют собой (в порядке следования) уравнение совокупного потребления, уравнение совокупного труда, уравнение спроса на отечественные товары, уравнение спроса на импортные товары, уравнение определения инфляции, уравнение, определяющее ИПЦ.

Уравнения (2.1.226) представляют собой уравнение Эйлера для потребления «богатых» домашних хозяйств, условия непокрытого паритета процентных ставок и отсутствия арбитража в лог-линеаризованном виде.

$$\tilde{z}_{t}^{l} + \sigma_{l}\tilde{l}_{t}^{r} - \tilde{w}_{t}^{r} + \tilde{p}_{t} = \tilde{z}_{t}^{c} - \sigma_{c} \left[ \frac{1}{1 - h_{c}^{r}} \right] \tilde{c}_{t}^{r} + \sigma_{c} \left[ \frac{h_{c}^{r}}{1 - h_{c}^{r}} \right] \tilde{c}_{t-1}^{r}$$
(2.1.227)

$$\tilde{z}_{t}^{l} + \sigma_{l}\tilde{l}_{t}^{p} - \tilde{w}_{t}^{p} + \tilde{p}_{t} = \tilde{z}_{t}^{c} - \sigma_{c} \left[ \frac{1}{1 - h_{c}^{p}} \right] \tilde{c}_{t}^{p} + \sigma_{c} \left[ \frac{h_{c}^{p}}{1 - h_{c}^{p}} \right] \tilde{c}_{t-1}^{p}$$
 (2.1.228)

Уравнения (2.1.227)–(2.1.228) представляют собой уравнения предложения труда домашними хозяйствами, принадлежащими к различным поведенческим видам («богатые» и «бедные» соответственно).

Нефтегазовый сектор. Уравнения (2.1.229)—(2.1.230) представляют собой решение оптимизационной задачи репрезентативной фирмы нефтегазового сектора.

$$\tilde{y}_t^{oil} = \alpha^{oil} \tilde{k}_t^{oil} + \tilde{\alpha}_t^{oil} \tag{2.1.229}$$

$$k_{ss}^{oil} \tilde{k}_{t}^{oil} - (1 - \delta^{oil}) k_{ss}^{oil} \tilde{k}_{t-1}^{oil}$$

$$= k_{ss}^{r,oil} \tilde{k}_{t}^{r,oil} - (1 - \delta^{oil}) k_{ss}^{r,oil} \tilde{k}_{t}^{r,oil} +$$

$$+ k_{ss}^{G,oil} \tilde{k}_{t}^{G,oil} - (1 - \delta^{oil}) k_{ss}^{G,oil} \tilde{k}_{t-1}^{F,oil} + k_{ss}^{F,oil} \tilde{k}_{t}^{F,oil}$$

$$- (1 - \delta^{oil}) k_{ss}^{F,oil} \tilde{k}_{t-1}^{F,oil}$$

$$(2.1.230)$$

$$\begin{split} \tilde{p}_{t}^{K,oil} &= \tilde{a}_{t}^{oil} + (\alpha^{oil} - 1)\tilde{k}_{t}^{oil} \\ &+ \tilde{p}_{t}^{oil} \frac{\overline{P^{oil}}(1 - \psi_{EX})}{\overline{P^{oil}}(1 - \psi_{EX}) + \overline{P^{oil*}}\bar{S}\psi_{EX}} \\ &+ (\tilde{p}_{t}^{oil*}\overline{P^{oil*}}) \frac{\bar{S}\psi_{EX}}{\overline{P^{oil}}(1 - \psi_{EX}) + \overline{P^{oil*}}\bar{S}\psi_{EX}} \end{split} \tag{2.1.231}$$

Уравнение (2.1.229) представляет собой логлинеаризованную производственную функцию для репрезентативной фирмы нефтегазового сектора. Динамика суммарного капитала нефтегазового сектора в лог-линеаризованном виде представлена уравнением (2.1.230). (2.1.231), в свою очередь, задает уравнение спроса на капитал в нефтегазовом секторе.

Промежуточное (обрабатывающее) производство. Уравнения (2.1.232)—(2.1.236) характеризуют собой решение оптимизационной задачи репрезентативной фирмы промежуточного производства.

$$\tilde{y}_t^{no} = (1 - \alpha^{no} - \phi^{no})\tilde{l}_t + \alpha^{no}\tilde{k}_t^{no} + \phi^{no}\tilde{y}_t^{oil} + \tilde{a}_t^{no}$$
 (2.1.232)

$$k_{ss}^{MI} \tilde{k}_{t}^{MI} - (1 - \delta^{MI}) k_{ss}^{MI} \tilde{k}_{t}^{MI}$$

$$= k_{ss}^{r,MI} \tilde{k}_{t}^{r,MI} - (1 - \delta^{MI}) k_{ss}^{r,MI} \tilde{k}_{t}^{r,MI}$$
(2.1.233)

$$\tilde{p}_t^{K,no} = \widetilde{m} c_t^{no} + \tilde{y}_t^{no} - \tilde{k}_t^{no}$$
(2.1.234)

$$\widetilde{w}_t = \widetilde{m} c_t^{no} + \widetilde{y}_t^{no} - \widetilde{l}_t \tag{2.1.235}$$

$$\widetilde{p}_t^{oil} = \widetilde{mc}_t^{no} + \widetilde{y}_t^{no} - \widetilde{y}_t^{oil}$$
 (2.1.236)

Уравнение (2.1.232) представляет собой логлинеаризованную производственную функцию для репрезентативной фирмы сектора промежуточного (обрабатывающего) производства. Динамика суммарного капитала в логлинеаризованном виде представлена уравнением (2.1.233). Уравнения (2.1.234)—(2.1.236), в свою очередь, задают номинальные

цену капитала, заработную плату и цену продукции энергетического сектора как производственного фактора.

$$\widetilde{mc}_{t}^{no} = (1 - \alpha^{no} - \phi^{no})\widetilde{w}_{t} + \alpha^{no}\widetilde{p}_{t}^{K,no} + \phi^{no}\widetilde{p}_{t}^{oil} - \widetilde{a}_{t}^{no}$$
(2.1.237)

Уравнение (2.1.237) определяет лог-линеаризованные номинальные предельные издержки в секторе производства промежуточных товаров.

$$\pi_t^{no} = \frac{\beta}{\left(1 + \gamma_{\Pi,MI}\beta\right)} E_t \pi_{t+1}^{no} + \frac{\gamma_{\Pi,MI}}{\left(1 + \gamma_{\Pi,MI}\beta\right)} \pi_{t-1}^{no} + \frac{(1 - \vartheta)(1 - \beta\vartheta)}{\vartheta\left(1 + \gamma_{\Pi,MI}\beta\right)} [\widetilde{mc}_t^{no} - \widetilde{p}_t^{no}], \tag{2.1.238}$$

$$\pi^{no}_t = p^{no}_t - p^{no}_{t-1} = \tilde{\pi}^{no}_t = \tilde{p}^{no}_t - \tilde{p}^{no}_{t-1}$$

(2.1.238) является кривой Филлипса для продукции сектора промежуточного производства, которая поставляется ритейлеру (продавцу конечной продукции).

Ритейлер (продавец конечной продукции). Уравнение (2.1.239) задает условие ценообразования на рынках продаваемой ритейлером продукции,

$$\tilde{p}_t^D = \tilde{p}_t^{no} \tag{2.1.239}$$

### 2.1.13. Неоднородное адаптивное обучение агентов в модели с малым числом уравнений

Рассматриваемую нами модификацию логлинеаризованной DSGE-модели можно представить в виде многомерной линейной структурно однородной модели с двумя типами агентов (двумя подтипами домохозяйств типа S) с разными прогнозами, без лагов эндогенной переменной и с t-датировкой ожиданий, относящейся к классу моделей из работы C. Хонкапойя и K. Митра [37]:

$$y_t = \alpha + A_1 \widehat{E_t^1} y_{t+1} + A_2 \widehat{E_t^2} y_{t+1} + B w_t$$
 (2.1.240)

$$w_t = Fw_{t-1} + \varepsilon_t \tag{2.1.241}$$

где  $y_t$  – n-размерный вектор эндогенных переменных,  $w_t$  –  $(k\times1)$  вектор экзогенных переменных, следующий стационарному

VAR, так что  $\varepsilon_t$  — вектор независимых шоков белого шума; F — диагональная матрица со всеми собственными значениями внутри единичного круга,  $\widehat{E}_t^{\bar{i}} y_{t+1}$  — ожидания эндогенных переменных агентом группы  $i,\ i=1,2,\ A_1,A_2$  и B — матрицы размерности  $(n\times n)$  и  $(n\times k)$  соответственно,  $A_i=\zeta_i\bar{A},i=1,2,\ \zeta_1+\zeta_2=1,\ \zeta_i$  — доля агентов группы i в общей численности агентов, формирующих ожидания.

Неоднородность в обучении учитывается в данной модификации в виде адаптивного обучения, когда один тип агентов (например, тип 1) использует RLS, а другой (тип 2) – SG, т.е. при неоднородном смешанном RLS/SG обучении. Использование алгоритма RLS позволяет моделировать «более изощренных» агентов. Предположим, что воспринимаемые законы движения (PLM) агентов типа 1 и 2 выглядят соответственно:

$$y_t = \alpha_t^1 + b_t^1 w_t = \varphi_{1,t}^{\mathrm{T}} z_t \tag{2.1.242}$$

$$y_t = \alpha_t^2 + b_t^2 w_t = \varphi_{2,t}^{\mathrm{T}} z_t \tag{2.1.243}$$

где оценки параметров  $\varphi_{C,t}^{\mathrm{T}}$ ,  $\varphi_{\pi,t}^{\mathrm{T}}$  и  $\varphi_{no,t}^{\mathrm{T}}$  уже зависят от времени. Векторы  $y_t, w_t$  и  $z_t$  в соответствии с нашей моделью имеют следующий вид $^1$ :

$$y_t = \begin{pmatrix} \widetilde{C_t^S} \\ \widetilde{\pi_t} \\ \widetilde{\pi_t^{no}} \end{pmatrix}; \ w_t = \begin{pmatrix} \widetilde{P_t^{oil*}} & \widetilde{A_t} & \widetilde{C_{t-1}^S} \ \widetilde{R_t} \end{pmatrix}; \ z_t = \begin{pmatrix} 1 \\ w_t \end{pmatrix}$$

Соответствующие функции прогнозов строятся так:

$$\widehat{E_t^1} y_{t+1} = \alpha_t^1 + b_t^1 F w_t \tag{2.1.244}$$

$$\widehat{E_t^2} y_{t+1} = \alpha_t^2 + b_t^2 F w_t. \tag{2.1.245}$$

Для агента типа 1 алгоритм имеет вид:

$$\varphi_t^1 = \varphi_{t-1}^1 + \gamma_t^1 R_t^{-1} z_{t-1} (y_{t-1} - (\varphi_{t-1}^1)^T z_{t-1})^T, \tag{2.1.246}$$

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> При моделировании (ограниченно рациональных) ожиданий значения номинального валютного курса мы использовали модифицированный для нашей модели вариант применяемой на практике методики МВФ и ЦБ РФ для расчета таких ожиданий (см. ниже).

$$R_t = R_{t-1} + \gamma_t^1 R_t^{-1} z_{t-1} (z_{t-1} (z_{t-1})^T - R_{t-1}). \tag{2.1.247}$$

В то время как для агента типа 2 это выглядит так:

$$\varphi_t^2 = \varphi_{t-1}^2 + \gamma_t^2 z_{t-1} (y_{t-1} - (\varphi_{t-1}^2)^T z_{t-1})^T.$$
 (2.1.248)

Чтобы перейти от рассчитанных каждым из двух методов значений ожидаемых переменных к значениям, образующимся непосредственно методом неоднородного адаптивного обучения, мы «взвешиваем» значения, полученные по алгоритму RLS и значения, полученные по алгоритму SG с помощью долей  $\zeta_1$ ,  $\zeta_2$ . Поскольку метод RLS вычислительно сложнее, чем SG, мы делим всех агентов на два типа по факту наличия у них высшего образования. Тогда «вес» значений, полученных методом RLS, будет составлять 0,36 (поскольку в России около 36% индивидов имеет высшее образование), а значений, полученных методом SG, соответственно, 64%.

При моделировании (ограниченно рациональных) ожиданий значения номинального валютного курса, мы используем методику МВФ и ЦБ РФ для расчета таких ожиданий. Согласно этой методике, ожидаемый уровень номинального курса задается взвешенным средним рациональных ожиданий и прошлого значения курса с поправкой на фундаментальное изменение валютного курса. В разных вариантах эта методика представлена в [44, с. 16], [45, формула (4)]. Для наших целей мы используем формулировку:

$$\begin{split} \tilde{s}_{t+1}^e &= \omega_s * \hat{E}_t \tilde{s}_{t+1} + \\ &+ (1 - \omega_s) * \left( \tilde{s}_{t-1} + \omega_p \left( \pi_t^{target} - \pi_t^{us, target} \right) \right), \end{split}$$
 (2.1.249)

где крыша над знаком ожиданий в  $\hat{E}_t \tilde{s}_{t+1}$  обозначает, что вместо рациональных ожиданий, мы предполагаем, что они формируются и изменяются при помощи адаптивного обучения по рекурсивному методу наименьших квадратов.

Объединяя (2.1.249) с оцениваемым уравнением для паритета процентных ставок (2.1.250):

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Рассчитано авторами на основе базы данных RLMS – HSE, обращалось внимание на сведения о наличии у индивида высшего образования (включая ученые степени и аспирантуру).

$$\tilde{\imath}_t^H = \tilde{\imath}_t^W + \tilde{s}_{t+1}^e - \tilde{s}_t + \tilde{\epsilon}_t^s, \tag{2.1.250}$$

где  $\tilde{\epsilon}_t^s$  — шок валютного курса, связанный с отклонением динамики курса от предполагаемой непокрытым паритетом процентных ставок, мы получаем уравнение для номинального обменного курса:

$$\begin{split} \tilde{s}_t &= \omega_s * \hat{E}_t \tilde{s}_{t+1} + (1 - \omega_s) * \left( \tilde{s}_{t-1} + \omega_p \left( \pi_t^{target} - \pi_t^{us, target} \right) \right) - \\ &- (\tilde{t}_t^H - \tilde{t}_t^W) + \tilde{\epsilon}_t^s \end{split} \tag{2.1.251}$$

Таким образом, разработанная нами базовая DSGE-модель экономики России является достаточно гибкой с точки зрения возможности построения различных удобных для исследования модификаций. Построенная в данной работе модификация DSGE-модели с малым числом уравнений может быть применима (и уже применялась в ИЭОПП СО РАН) в качестве не сильно громоздкого инструмента для анализа и прогнозов динамики экономики России, а полученные в результате выводы об оптимальной политике могут быть использованы при формировании экономической политики государства.

#### Литература к разделу 2.1

- Adolfson M., Laséen S., Christiano L., Trabandt M., Walentin K. Ramses II Model Description // Occasional Paper Series. 2013 No. 12, Sveriges Riksbank.
- 2. Christoffel K., Coenen G., Warne A. The New Area-Wide Model of the Euro Area: A Micro-Founded Open-Economy Model for Forecasting and Policy Analysis. ECB Working Paper Series. 2008. No. 944.
- 3. Christiano L., Rostagno M., Motto R. Financial factors in economic fluctuations. ECB Working Paper Series. 2010. No. 1192.
- 4. Edge R., Kiley M., Laforte J.-P. A Comparison of Forecast Performance Between Federal Reserve Staff Forecasts, Simple Reduced-Form Models, and a DSGE Model. Journal of Applied Econometrics. 2010. Vol. 25. Pp. 720–754.
- Chung H. T., Kiley M. T., Laforte J.-P. Documentation of the Estimated, Dynamic, Optimization-based (EDO) Model of the U.S. Economy: 2010 Version. Finance and Economics Discussion Series Working Paper. 2010. No. 19.

- Murchison S., Rennison A. ToTEM: The Bank of Canada's New Quarterly Projection Model. Bank of Canada, Technical Report 97. 2006. No. 97.
- Dorich J., Johnston M., Mendes R., Murchison S., Zhang Y. ToTEM II: An Updated Version of the Bank of Canada's Quarterly Projection Model. Canadian Economic Analysis Department. Technical Report 100. Bank of Canada. 2013. No. 100.
- 8. Harrison R., Nikolov K., Quinn M., Ramsay G., Scott A., Thomas R. The Bankof England Quarterly Model. Bank of England. 2005.
- 9. Burgess S., Fernandez-Corugedo E., Groth C., Harrison R., Monti F., Theodoridis K., Waldron M. The Bank of England's Forecasting Platform: COMPASS, MAPS, EASE and the Suite of Models. Bank of England working Paper. 2013. No. 471.
- Brubakk L., Husebo T.A., Maih J., Olsen K., Ostnor M. Finding NEMO: Documentation of the Norwegian Economy Model. Staff Memo 2006/6. Norges Bank. 2006.
- 11. Pesenti P. The Global Economy Model: Theoretical Framework. IMF Staff Papers. 2008. Vol. 55. No. 2. Pp. 243–284.
- 12. Полбин А.В. Построение динамической стохастической модели общего равновесия для экономики с высокой зависимостью от экспорта нефти // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2013. № 2. С. 323–359.
- 13. Дробышевский С.М., Полбин А.В. Декомпозиция динамики макроэкономических показателей РФ на основе DSGE-модели // Экономическая политика. 2015. № 2. С. 20–42
- 14. Малаховская О.А., Минабутдинов А.Р. Динамическая стохастическая модель общего равновесия экспортоориентированной экономики // Научные доклады лаборатории макроэкономического анализа. WP12. Высшая школа экономики. 2013. № 4.
- 15. Иващенко С.М. Динамическая стохастическая модель общего экономического равновесия с банковским сектором и эндогенными дефолтами фирм // Журнал Новой экономической ассоциации. 2013. № 3. С. 27–50.
- 16. Иващенко С. М. DSGE-модель России с пятью секторами // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2016. № 3. С. 176–202.
- 17. Крепцев Д.А., Селезнев С.М., DSGE-модели российской экономики с малым количеством уравнений // Серия докладов об экономических исследованиях ЦБ РФ. 2016. № 12. С. 1–53.
- 18. Крепцев Д.А., Селезнев С.М., DSGE-модель российской экономики с банковским сектором // Серия докладов об экономических исследованиях ЦБ РФ. 2017. № 27. С. 1–82.

- Ferrero A., Seneca M. Notes on the underground: monetary policy in resource-rich economies // Norges Bank Working Paper. 2015. No. 2. Pp. 1–39.
- Acurio-Vásconez V. Oil and Unemployment in a New-Keynesian Model. Documents de Travail du Centre d'Economie de la Sorbornne. 2015. No. 2015.43.
- 21. Mankiw N.G. The Savers-Spenders Theory of Fiscal Policy. American Economic Review. 2000. No. 90. Vol. 2. Pp. 120–125.
- 22. Gali J., Lopez-Salido J. D., Valles J. Understanding theffects of Government Spending on Consumption. Journal of the European Economic Association. 2007. No. 5. pp. 227 270.
- 23. Gali J., Lopez-Salido J. D., Valles J. Rule-of-Thumb Consumers and the Design of Interest Rate Rules. Journal of Money, Credit and Banking. 2004. No. 36. Pp. 739–763.
- 24. Marto R. Assessing the Impacts of Non-Ricardian Households in an Estimated New Keynesian DSGE Model. Swiss Journal of Economics and Statistics. 2014. No. 150. Pp. 35–398.
- Algozhina A. Monetary Policy Rule, Exchange Rate Regime, and Fiscal Policy Cyclicality in a Developing Oil Economy. CERGE-EI WP. 2016. Pp. 1–46.
- 26. Smets F., Wouters R. An estimated stochastic dynamic general equilibrium model for the Euro Area. Journal of the European Economic Association. 2003. No. 1. Pp. 1123–1175.
- 27. Calvo G. Staggered prices in a utility maximizing framework. Journal of Monetary Economics. 1983. No. 12. Pp. 383–398.
- 28. Полбин А.В. Эконометрическая оценка структурной макроэкономической модели российской экономики // Прикладная эконометрика. 2014. Т. 33. No. 1. C. 3–29.
- Sargent T.J. Bounded Rationality in Macroeconomics. Oxford, N.Y.: Oxford University Press, Clarendon Press. 1993.
- 30. Sims C.A. Implications of Rational Inattention // Journal of Monetary Economics. 2003. No. 50(3). Pp. 665–690.
- 31. Carroll C.D. The Epidemiology of Macroeconomic Expectations // NBER Working Paper. 2001. No. w8695. URL: https://ssrn.com/abstract=294744
- 32. Mankiw N.G., Reis R. Sticky Information Versus Sticky Prices: A Proposal to Replace the New Keynesian Phillips Curve // Quarterly Journal of Economics. 2002. 117(4). Pp. 1295–1328.
- 33. Pearlman J.G., Currie D., Levine P. (1986). Rational Expectations Models with Private Information // Economic Modelling. 1986. No. 3(2). Pp. 90–105.

- 34. Svensson L.E. O., Woodford M. Indicator variables for Optimal Policy // Journal of Monetary Economics. 2003. No. 50(3). Pp. 691–720.
- 35. Evans G.W., Honkapohja S. Learning and Expectations in Macroeconomics // Princeton, N.J.: Princeton University Press. 2001.
- 36. Slobodyan S., Wouters R. Learning in an estimated medium-scale DSGE model // Journal of Economic Dynamics and Control. 2012.
- 37. Slobodyan S., Wouters R. Learning in a Medium-Scale DSGE Model with Expectations Based on Small Forecasting Models // American Economic Journal: Macroeconomics. 2012. No. 4(2). Pp. 65–101.
- 38. Giannitsarou Ch. Heterogeneous learning // Review of Economic Dynamics. 2003. Vol. 6. Pp. 885–906.
- 39. Honkapohja S., Mitra K. Learning stability in economies with heterogeneous agents // Review of Economic Dynamics. 2006. Vol. 9(2). Pp. 284–309.
- Богомолова А.С., Колюжнов Д.В. Экономическая динамика при неоднородном адаптивном обучении: общие критерии и достаточные условия стабильности // Мир экономики и управления. 2019. Т. 19(4). С. 87–103.
- 41. Богомолова А.С., Колюжнов Д.В. Экономическая динамика при неоднородном адаптивном обучении: условия стабильности в терминах агрегированной экономики // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20(1). С. 128–153.
- 42. Колюжнов Д.В., Ляхнова М.В. Малая DSGE-модель экономики России с неоднородным адаптивным обучением // Мир экономики и управления. 2022. Т. 22 (3). С. 66–87.
- 43. Semko R. Optimal Economic Policy and Oil Price Shocks in Russia. Kyiv: EERC. 2013.
- 44. Орлов А.Д. Квартальная прогнозная модель, 2021 Центральный банк РФ. URL: https://cbr.ru/Content/Document/File/119374/bDSGE.pdf
- 45. Andrew Berg, Philippe Karam, and Douglas Laxton. A Practical Model-Based Approach to Monetary Policy Analysis–Overview // IMF Working Paper 06/80 (Washington: International Monetary Fund). 2006.

# 2.2. Общеравновесная межотраслевая модель для краткосрочного прогнозирования макро- и отраслевой динамики<sup>1</sup>

## 2.2.1. Общая концепция общеравновесной межотраслевой модели

Общая схема общеравновесной межотраслевой модели, включающей блоки агрегированных рынков и учитывающей шоки фискальной и монетарной политики, представлена на рис. 2.2.1.

Ядром модели выступает модель межотраслевого баланса, дополненная блоками уравнений, моделирующих равновесие на агрегированных рынках. Стрелками на схеме обозначены основные взаимосвязи, возникающие между агрегированными рынками. Агрегированный рынок товаров и услуг в данной модели представлен межотраслевой моделью, дополненной системой эконометрических уравнений, позволяющих учесть зависимость отраслевых объемов производства от уровня реальных процентных ставок (связь с денежным рынком), реальной заработной платы (связь с рынком рабочей силы) и реального валютного курса (связь с валютным рынком).

Общеравновесная межотраслевая модель с блоками агрегированных рынков имеет блочную структуру. Для каждого агрегированного рынка строится своя отдельная модель, но при этом все такие модели связаны между собой общими переменными, что позволяет находить общеравновесное решение.

Равновесными показателями для рынка товаров и услуг выступают вектора отраслевых объемов производства, цен, рентабельностей, основных производственных фондов, экспорта и импорта, а также распределение валовой добавленной стоимости, что позволяет связать данный рынок с рынком капитала через включение в модель объемов основных производственных фондов и инвестиций в основной капитал.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Раздел основан на материалах монографии Гильмундинов В.М. Моделирование влияния макроэкономической политики на экономику России / Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук. — Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2019. — С. 36–39, 71–74, 82–97.

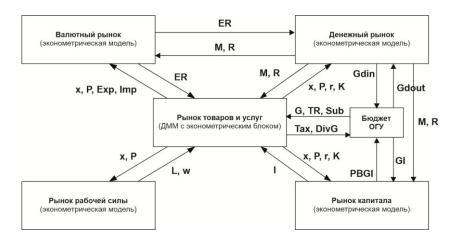


Рис. 2.2.1. Общая схема общеравновесной межотраслевой модели с блоками агрегированных рынков и с учетом шоков фискальной и монетарной политики\*

Источник: Построено автором.

Обозначения: х — вектор отраслевых валовых выпусков; Р — вектор отраслевых цен; Ехр — вектор отраслевых объемов экспорта; Ітр — вектор отраслевых объемов импорта; ЕR — валютный курс; М — объем предложения денег; R — процентная ставка; г — вектор отраслевых рентабельностей; К — вектор отраслевых основных производственных фондов; L — вектор отраслевых численностей рабочей силы; w — вектор равновесных отраслевых оплат труда; І — вектор отраслевых инвестиций в основной капитал; GDin — денежные потоки, возникающие в связи с увеличением государственного долга; GDout — денежные потоки, возникающие в связи с уменьшением государственного долга и выплатой процентов по нему; G — вектор государственных закупок товаров и услуг; TR — государственные трансферты домашним хозяйствам; Sub — вектор государственных отраслевых производственных субсидий; Тах — вектор совокупных налоговых платежей; DivG — государственные доходы от собственности; GI — вектор отраслевых государственных инвестиций; PBGI — продажа государственной собственности.

В блоке уравнений, описывающем валютный рынок, моделируются равновесные значения валютного курса и основные статьи платежного баланса. Блок уравнений, описывающий денежный рынок, позволяет определить равновесные ставки процента и объем денежного предложения. Блок уравнений, описывающий финансовый рынок, предназначен для моделирования равновес-

ных значений финансовых инвестиций по отраслям национальной экономики. Наконец, блок уравнений, описывающий рынок рабочей силы, моделирует равновесные отраслевые объемы занятости и заработной платы.

В данной схеме предполагается наличие зависимости отраслевых уровней цен и валовых выпусков от эндогенных параметров агрегированных рынков, что позволяет учитывать прямые и обратные взаимосвязи, возникающие в ходе межотраслевой конкуренции по различным видам ресурсов. При этом основная идея указанной концепции заключается в том, что результатом межотраслевых взаимодействий выступают равновесные уровни цен и объемы ресурсов, которые влияют на отраслевые валовые выпуски, определяя, таким образом, структурные изменения в экономике. Данная схема может дополняться и уточняться в зависимости от конкретных решаемых задач. Отметим, что указанная концепция при соответствующих модификациях может быть реализована также и в межрегиональном аспекте.

Возможность учета воздействия на рассматриваемые рынки шоков фискальной и монетарной политики возникает благодаря взаимосвязям между агрегированными рынками и вводу в общую схему модели финансовой модели для органов государственного бюджета (Бюджетный блок органов государственного управления).

Шоки монетарной политики вводятся в модель через непосредственное изменение объема предложения денег (параметр М), в результате которого происходит изменение равновесного уровня процентных ставок и других равновесных показателей модели, учитывающее как краткосрочные, так и среднесрочные эффекты через изменение совокупного спроса и инвестиционной активности. В свою очередь, изменение равновесных объемов производства, промежуточного спроса и потребности в импорте для агрегированного рынка товаров и услуг ведет к изменению равновесного состояния других рынков, позволяя таким образом учитывать как прямые, так и обратные эффекты, возникающие в экономике в связи с изменениями в монетарной политике государства.

Учет прямых эффектов шоков фискальной политики осуществляется через рынок товаров и услуг, в случае государственных инвестиций опосредованно через рынок капитала, затрагивая в зависимости от типа шока либо реальные доходы населения, а через них конечный спрос сектора домашних хозяйств, либо финансовые показатели производства и объем государственных закупок товаров и услуг. Благодаря взаимосвязанности агрегированных рынков, данные шоки, вызывая изменения на агрегированном рынке товаров и услуг, распространяются на другие агрегированные рынки, формируя, таким образом, как прямые, так и обратные связи.

Таким образом, предлагаемая концепция развития общеравновесной межотраслевой модели с блоками агрегированных рынков позволит повысить адекватность воспроизводства экономической динамики и изменений в отраслевой структуре национальной экономики благодаря более полному учету изменений, возникающих в результате шоков фискальной и монетарной политики государства и затрагивающих взаимосвязанные между собой агрегированные рынки.

# 2.2.2. Прикладная версия общеравновесной межотраслевой модели для экономики России

Перейдем к описанию основных соотношений Общеравновесной межотраслевой модели экономики России (ОММЭР). Данная модель построена с поквартальным шагом в номенклатуре 28 видов экономической деятельности и имеет шесть связанных между собой прямыми и обратными связями через множество эндогенных переменных модели блоков, характеризующих основные агрегированные рынки (рынок товаров и услуг, денежный рынок и валютный рынок) и финансовые ограничения (платежный баланс и консолидированный бюджет), а также блок оптимизации макроэкономической политики.

Указанная структура модели позволяет значительно расширить сферы ее применения для получения оценок воздействия различных внешних и внутренних шоков на динамику и отраслевую структуру экономики России в целом и на состояние отдельных отраслей и агрегированных рынков. Блок оптимизации мак-

роэкономической политики, встроенный в общую систему уравнений, позволяет, в свою очередь, решать задачи обоснования макроэкономической политики и поиска оптимальных значений ее параметров на основе проведения многовариантных сценарных расчетов и широкого перечня количественных целей государственного регулирования.

Выступая преимущественно моделью оценки макроэкономических и структурных эффектов от экономических шоков, главным образом шоков макроэкономической политики, данная модель в меньшей степени подходит для целей прогнозирования, особенно на отраслевом уровне, так как не учитывает многих сугубо отраслевых факторов, тем не менее она может выступать в качестве ценного дополнения к прогнозным макроэкономическим и отраслевым моделям, так как позволяет учитывать взаимосвязи между макроэкономическими изменениями и изменениями в динамике отдельных отраслей.

ниями в динамике отдельных отраслей.

Учитывая эконометрический характер данной модели ее параметры, а также функциональные формы могут модифицироваться с учетом обновления и удлинения временных рядов данных официальной статистики и ввода в общую схему модели новых переменных и взаимосвязей. Используемый подход является достаточно гибким, благодаря чему в данной модели также может выполняться определенная модификация используемых связей между переменными и встраивание в данную модель новых блоков под цели исследования.

В представленной ниже версии модель в большей степени ориентирована на анализ воздействия на макроэкономические и отраслевые показатели инструментов денежно-кредитной и валютной политики, более детальное рассмотрение воздействия инструментов налогово-бюджетной политики требует дальнейшего ее развития в направлении детализации модели консолидированного бюджета и включения соответствующих взаимосвязей в общую схему модели.

Информационной базой для оценки статистических параметров модели выступила поквартальная статистика Росстата и Центрального банка России за 2003-2015 гг. Информационной базой для построения межотраслевой матрицы коэффициентов прямых затрат выступили симметричные таблицы «Затраты-Выпуск»

Росстата. Информационной базой для построения укрупненной модели консолидированного бюджета выступила информация Федерального казначейства об исполнении консолидированного бюджета Российской Федерации. Все приводимые далее уравнения регрессии успешно прошли проверку на основные статистические гипотезы с уровнем значимости, если не оговорено иное, не более 5%, а также соответствуют теоретическим представлениям о рассматриваемых причинно-следственных связях.

Межотраслевой блок рынка товаров и услуг

Межотраслевой блок рынка товаров и услуг выступает ядром всей модели, обеспечивающим учет взаимосвязей между динамикой отраслевых валовых выпусков и переменными агрегированных рынков.

Динамика отраслевых валовых выпусков определяется в соответствии с подходом к оценке коэффициентов эластичности отраслевых валовых выпусков по макроэкономическим переменным агрегированных рынков, отражающим жесткость народнохозяйственных ограничений в рамках межотраслевой конкуренции:

$$x_{i,t} = e_{x_{i},exr\$r} \cdot exr\$r_{t-\tau_{i,exr\$r}} + e_{x_{i},wr} \cdot wr_{t-\tau_{i,wr}} + e_{x_{i},irr} \cdot irr_{t-\tau_{i,irr}} + e_{x_{i}}(2.2.1)$$

где  $x_{i,t}$  — логарифмированный темп роста валового выпуска отрасли i в сопоставимых ценах в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года;  $exr\$r_t$  — логарифмированный темп роста реального валютного курса рубля к доллару США в квартале t по отношению к соответствующему кварталу предыдущего года;  $wr_t$  — логарифмированный темп роста реальной заработной платы в квартале t по отношению к соответствующему кварталу предыдущего года;  $irr_t$  — величина реальной процентной ставки (в непрерывной модели начисления процентов) в квартале t;  $e_{xi,exr\$r}$ ,  $e_{xi,wr}$ ,  $e_{xi,irr}$  — коэффициенты уравнения регрессии для логарифмированного темпа роста валового выпуска при соответствующих переменных  $exr\$r_t$ ,  $wr_t$  и  $irr_t$  с учетом выявленных лагов их влияния  $t_{i,exr\$r}$ ,  $t_{i,wr}$ ,  $t_{i,irr}$ , соответственно;  $e_{xi}$  — свободный член уравнения регрессии для отрасли i.

Конкретные оценки коэффициентов эластичности валовых выпусков для некоторых отраслей экономики России приведены в табл. 2.2.1 и 2.2.2.

Таблица 2.2.1 Оценки коэффициентов эластичности валовых выпусков некоторых отраслей экономики России

Показатель	Период		Коэффициент эластичности по фактору1:		
		РВК	РЗП	РСП	
1	2	3	4	5	6
Валовой внутренний	1996–2010	-0,03**(4)	0,21	-0,3	0,81
продукт	1996–2018	-0,03(4)	0,23	-0,29	0,79
Сельское хозяйство	1996–2010	-0,06*(1)	-	-0,18(3)	0,2
	1999–2018	-	1	-0,2*(3)	0,07
Промышленное	2000–2010	-0,1(4)	0,24	-0,44	0,78
производство	2000–2016	-0,08(4)	0,22	-0,42	0,66
Добывающие	2002–2010	-0,17(4)	0,22	-	0,51
производства	2000–2016	-0,09(4)	0,19(2)	-0,13	0,43
Добыча топливно-	2004–2010	-0,1(3)	0,19*	-	0,34
энергетических полез- ных ископаемых	2000–2016	-0,06(4)	0,21(2)	-0,09**	0,33
Добыча полезных иско-	2002–2010	-0,25*(4)	-	-0,54*	0,3
паемых, кроме топлив- но-энергетических	2000–2015	-0,19(4)	1	-0,71	0,51
Обрабатывающие	2002–2010	-0,32(4)	0,46	-0,69	0,79
производства	2000–2016	-0,1(4)	0,24	-0,69	0,62
Производство и распре-	2002–2010	-0,13(4)	-	-0,34	0,49
деление электроэнергии, газа и воды	2000–2016	-0,06*(2)	0,12*	-0,24	0,27
Строительство	2000–2010	0,15*(4)	0,75	-0,75	0,61
	1999–2018	-	0,51	-0,54	0,62
Торговля, гостиницы и рестораны	2004–2010	0,06*(5)	0,67	-0,43	0,92
Транспорт и связь	2004–2010	-	0,41**	-0,41*(1)	0,53
Финансовая деятельность	2004–2010	0,14*(3)	1,32	-0,42(4)	0,9

Продолжение таблицы 2.2.1

			110000.101	сение тиол	nigor 2.2.1
1	2	3	4	5	6
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	2004–2010	0,15*(4)	1,01	-	0,62
Государственное управление	2004–2010	-0,07(4)	0,23	0,12**	0,38
Образование	2004–2010	-	0,14	-	0,59
Здравоохранение	2004–2010	-	0,08	-	0,41
Предоставление прочих услуг	2004–2010	-	1,02	-0,47	0,86
Розничная торговля	1996–2010	0,08(4)	0,47	-0,19	0,76
	1999–2018	0,1(4)	0,52	-0,35	0,85
Платные услуги	2002–2010	0,06*(4)	0,3	-0,33	0,78
населению	1999–2018	0,03*(4)	0,09	-0,31	0,59
Инвестиции в основной капитал	1999–2018	-0,12(4)	0,49(2)	-0,86	0,59

 $<sup>^1</sup>$  Коэффициенты значимы при уровне значимости не более 1%, если указано \* – то не более 5%, если указано \*\* – то не более 10%; в скобках указан лаг воздействия показателя; «-» – статистически значимая оценка при пороговом уровне значимости 10% отсутствует.

Источник: Оценки автора на основе данных Росстата и ЦБ России.

Таблица 2.2.2 Оценки коэффициентов эластичности валовых выпусков по некоторым обрабатывающим производствам экономики России

Показатель	Период	Коэффициент эластичности по фактору1:			R2
		РВК	РЗП	РСП	
1	2	3	4	5	6
Производство пищевых	2002–2010	-0,1(4)	0,41	-	0,63
продуктов, включая на- питки и табак	2000–2016	-	0,26	-	0,43
Текстильное и швейное	2002–2010	-0,26(4)	0,63	-0,32*	0,71
производство	2000–2016	-0,26(4)	0,6	-0,39	0,64

Продолжение таблицы 2.2.2

			Прооолж	кение табл	ицы 2.2.2
Производство кожи, из-	2002–2010	-0,48(4)	-	-	0,37
делий из кожи и произ- водство обуви	2000–2016	-025(2)	0,73	-0,34**	0,34
Обработка древесины	2002–2010	-0,35(4)	0,61	-0,8	0,84
и производство изделий из дерева	2000–2016	-0,21(4)	0,22*	-0,89	0,68
Целлюлозно-бумажное	2002–2010	-0,26(4)	0,74	-0,36	0,83
производство, издательская и полиграфическая деятельность	2000–2016	-0,1(4)	0,57	-0,49	0,73
Производство кокса,	2002–2010	-	1	-0,2	0,25
нефтепродуктов и ядер- ных материалов	2000–2016	-	-	-0,18*	0,08
Химическое	2002–2010	-0,43(4)	-0,32*(2)	-0,54	0,67
производство	2000–2016	-0,14(4)	-0,21*(2)	-0,48	0,4
Производство резино-	2002–2010	-0,3*(4)	0,58**	-0,74*	0,47
вых и пластмассовых изделий	2000–2016	-0,13*(4)	-	-1,26	0,51
Производство прочих	2002–2010	-0,3(4)	1,2	-0,67	0,79
неметаллических минеральных продуктов	2000–2016	-	0,39	-1,0	0,55
Металлургическое про-	2002–2010	-0,45(4)	0,46*	-0,5*	0,65
изводство и производство готовых металлических изделий	2000–2016	-0,14(4)	0,32	-0,65	0,61
Производство машин	2002–2010	-0,58(4)	0,93**	-1,09*	0,51
и оборудования	2000–2016	-	0,4**	-1,2	0,37
Производство электро-	2002–2010	-0,6*(4)	-	-2,04	0,44
оборудования, элек- тронного и оптического оборудования	2000–2016	-	-	-1,78	0,44
Производство транс-	2002–2010	-0,55(4)	1,14	-1,31	0,78
портных средств и обо- рудования	2000–2016	-0,15**(4)	-	-1,68	0,4
Прочие производства	2002–2010	-0,66(4)	0,45*	-0,78	0,8
	2000–2016	-	0,56	-0,85	0,56

 $<sup>^1</sup>$  Коэффициенты значимы при уровне значимости не более 5%, если указано \* — то не более 10%; в скобках указан лаг воздействия показателя; н/о — статистически значимая оценка при уровне значимости не более 10% отсутствует.

Источник: Оценки автора на основе данных Росстата и ЦБ России.

Получаемые на такой основе оценки влияния на динамику валовых выпусков изменения макроэкономических условий могут дополнительно корректироваться с учетом изменения автономного спроса, в том числе по воздействиям реализуемых мер налогово-бюджетной политики, что требует учета порождаемых ими мультипликативных межотраслевых эффектов:

$$X_{i,t} = X_{i,t-4} \cdot e^{x_{i,t}} + \sum_{j=1}^{n} b_{i,j} \cdot dA_{j,t} \cdot sY_{j} \cdot sI_{i} + dA_{i,t} \cdot sY_{i} \cdot (1 - sI_{i})$$
 (2.2.2)

где  $X_{i,t}$  — величина валового выпуска продукции отрасли i в сопоставимых ценах в квартале t;  $b_{i,j}$  — коэффициенты полных затрат продукции отрасли i на производство единицы продукции отрасли j в стоимостном выражении в сопоставимых ценах;  $dA_{j,t}$  — прирост автономного конечного спроса на продукцию отрасли j в сопоставимых ценах в квартале t по отношению к соответствующему кварталу предыдущего года;  $sY_i$  — доля продукции внутренних производителей в конечном спросе на продукцию отрасли i;  $sI_i$  — доля продукции внутренних производителей в промежуточном спросе на продукцию отрасли i.

Максимальные объемы валовых выпусков для каждой отрасли i и квартала t определяются ограничениями на объемы производственных мощностей ( $Cap_{i,t}$ ):

$$X_{i,t} \le Cap_{i,t}. \tag{2.2.3}$$

Межотраслевые взаимосвязи, определяющие промежуточный спрос при производстве продукции отечественных производителей, описываются стандартными уравнениями межотраслевого баланса, основанными на учете технологических коэффициентов прямых затрат продукции отрасли j при производстве продукции отрасли i ( $a_{i,j}$ ). Объем конечного спроса на продукцию отрасли i в квартале t ( $Y_{i,t}$ ) определяется разницей между расчетным значением валового выпуска и величины промежуточного спроса на продукцию данной отрасли в сопоставимых ценах:

$$Y_{i,t} = X_{i,t} - \sum_{i=1}^{n} a_{i,j} \cdot X_{j,t}$$
 (2.2.4)

Использование в уравнениях для отраслевых валовых выпусков равновесных переменных агрегированных рынков позволяет согласовать равновесие на рынке товаров и услуг с равновесиями на других рынках и моделировать, таким образом, динамику от-

дельных отраслевых выпусков и экономики в целом с учетом происходящих на агрегированных рынках макроэкономических изменений, а также рассматриваемых в рамках сценарных расчетов экономических шоков.

Для целей моделирования динамики инвестиций в основной капитал экономики России предлагается использовать подход, аналогичный моделированию динамики отраслевых валовых выпусков (табл. 2.2.3).

Таблица 2.2.3 Оценка уравнения регрессии для логарифмированного темпа роста инвестиций в основной капитал в сопоставимых ценах в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года (it)

Объясняющие переменные	Значение коэффи- циента	Стандарт- ная ошибка	Уровень значимо- сти	
Константа	-0,0485	0,0108	0,000	
Логарифмированный темп роста реального валютного курса доллара США в российских рублях в квартале t-4 к соответствующему кварталу предыдущего года (exr\$rt-4)	-0,1058	0,0438	0,021	
Логарифмированный темп роста реальной заработной платы в квартале t к соответст- вующему кварталу предыдущего года (wrt)	1,5411	0,1234	0,000	
Прирост реальной ставки процента в непрерывной модели в квартале t-1 к соответствующему кварталу предыдущего года (irrt-1)	-0,4983	0,0969	0,000	
МИО-константа	0,0000	0,0054	0,998	
МИО-остатки базовой модели с лагом 1	0,3488	0,1508	0,026	
$R$ φ2 = 0,885 (p = 0,000); $R$ Σ2 = 0,899 (p = 0,000); $r$ y^,e = 0,000 (p = 0,000); $IR$ = 0,72, $F$ G = 13,3 (p = 1,00); $DW$ = 1,99 (p > 0,05)				

*Источник*: Оценка автора на поквартальной статистике за период: 2004 г. – третий квартал 2014 г. (на основе данных ЦБ России).

Согласно полученным результатам, динамика инвестиций в основной капитал в значительной степени зависит от рассматриваемых макроэкономических переменных агрегированных рынков, при этом наиболее сильное воздействие оказывает динамика реальной заработной платы и реальных процентных ставок,

что хорошо согласуется с теоретическими положениями о более сильной волатильности инвестиций в основной капитал по сравнению с динамикой ВВП и более существенном влиянии на них изменения процентных ставок.

Для моделирования изменений в реальной заработной плате предлагается использовать уравнение регрессии, представленное в табл. 2.2.4.

Таблица 2.2.4 Оценка уравнения регрессии для прироста логарифмированного темпа роста реальной заработной платы в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года по сравнению с соответствующим кварталом предыдущего года (wrt – wrt-4)

Объясняющие переменные	Значение коэффи- циента	Стан- дартная ошибка	Уровень значимо- сти	
Константа	-0,0016	0,0041	0,699	
Прирост логарифмированного темпа роста реальной заработной платы в квартале t-1 к соответствующему кварталу предыдущего года по сравнению с соответствующим кварталом предыдущего года (wrt-1 — wrt-5)	0,3494	0,08	0,000	
Прирост логарифмированного темпа роста дефлятора валового внутреннего продукта в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года по сравнению с соответствующим кварталом предыдущего года ( $\pi t - \pi t$ -4)	-0,2652	0,0623	0,000	
Прирост логарифмированного темпа роста валового внутреннего продукта в сопоставимых ценах в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года по сравнению с соответствующим кварталом предыдущего года (yt – yt-4)	0,8276	0,0958	0,000	
R2 = 0,834 (p = 0,000); ry^,e = 0,000 (p = 0,000); IR = 0,39, FG = 37,9 (p = 0,69); BG(1) = 1,09 (p = 0,30); BG(2) = 1,06 (p=0,59); BG(3) = 3,39 (p=0,34)*				

*Источник*: Оценка автора на поквартальной статистике за период: 2004 г. – третий квартал 2014 г. (на основе данных Росстата).

Данное уравнение хорошо согласуется с базовыми теоретическими представлениями о взаимосвязях, действующих на рынке рабочей силы, и может быть рассмотрено в качестве

весьма упрощенной его модели. Так, рост экономики, ведущий к росту спроса на рабочую силу, оказывает значительное положительное воздействие на динамику реальной заработной платы, рост инфляции приводит к ограниченному обесценению покупательной способности заработной платы, а положительная зависимость от динамики реальной заработной платы в предыдущем квартале указывает на наличие инерционных процессов на рынке рабочей силы России.

*Блок агрегированного денежного рынка.* Для агрегированного описания функционирования денежного рынка России построены два уравнения регрессии (табл 2.2.5 и 2.2.6).

Таблица 2.2.5 Оценка уравнения регрессии для прироста номинальной ставки процента (в непрерывной модели начисления процентов) в квартале t по сравнению с соответствующим кварталом предыдущего года (irnt – irnt-4)

Объясняющие переменные	Значение коэффи- циента	Стан- дартная ошибка	Уровень значимо- сти
Константа	-0,0049	0,0031	0,124
Прирост номинальной ставки процента в непрерывной модели в квартале t-1 по сравнению с соответствующим кварталом предыдущего года (irnt-1 – irnt-5)	0,7849	0,0693	0,000
Логарифмированный темп роста дефлятора валового внутреннего продукта в квартале t-1 к соответствующему кварталу предыдущего года (πt-1)	0,0598	0,0225	0,012
Логарифмированный темп роста номинальной денежной массы M2 в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года (mt)	-0,0345	0,0095	0,001
Логарифмированный темп роста валового внутреннего продукта в сопоставимых ценах в квартале t-3 к соответствующему кварталу предыдущего года (уt-3)	0,1386	0,0264	0,000
R2 = 0,936 (p = 0,000); ry^,e = 0,000 (p = 0,000); IR = 0,26, FG = 46,1 (p = 0,15); BG(1) = 0,29 (p = 0,59); BG(2) = 0,59 (p=0,74); BG(3) = 1,77 (p=0,62)			

*Источник*: Оценка автора на поквартальной статистике за период третий квартал 2005 года – третий квартал 2014 года на основе данных Росстата и ЦБ России.

Оценка уравнения регрессии для логарифмированного темпа роста дефлятора ВВП в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года (πt)

		-	
Объясняющие переменные	Значение коэффи- циента	Стан- дартная ошибка	Уровень значимо- сти
Константа	0,0071	0,0127	0,581
Логарифмированный темп роста номинальной денежной массы M2 в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года (mt)	0,1151	0,0445	0,014
Логарифмированный темп роста дефлятора ВВП в квартале t-1 к соответствующему кварталу предыдущего года ( $\pi$ t-1)	0,7101	0,0802	0,000
Прирост номинальной ставки процента в непрерывной модели в квартале t по сравнению с соответствующим кварталом предыдущего года (irnt – irnt-4)	-1,2841	0,2918	0,000
Прирост логарифмированного темпа роста среднего номинального валютного курса доллара США к российскому рублю в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года по сравнению с соответствующим кварталом предыдущего года (exr\$nt-1 — exr\$nt-5)	0,1251	0,0392	0,003
R2 = 0,801 (p = 0,000); ry^,e = 0,000 (p = 0,000); IR = 0,27, FG = 52,5 (p = 0,15); BG(1) = 1,03 (p = 0,31); BG(2) = 2,61 (p=0,27); BG(3) = 4,31 (p=0,23)			

Источник: Оценка автора на поквартальной статистике за период: 2004 г. – третий квартал 2014 г. (на основе данных Росстата и ЦБ России).

Первое уравнение (см. табл. 2.2.5) определяет динамику уровня номинальных процентных ставок в экономике по кредитам, выданным коммерческими банками нефинансовым предприятиям на срок до 1 года. Второе уравнение (см. табл. 2.2.6) описывает динамику дефлятора ВВП и учитывает динамику номинальных процентных ставок и номинального валютного курса доллара США к рублю (российских рублей за 1 доллар США), что позволяет более полно разложить каналы влияния государственной денежно-кредитной и валютной политики на общий уровень цен в отечественной экономике.

Как видно из табл. 2.2.6, помимо отмеченного ранее значительного влияния на динамику общего уровня цен в экономике России инфляционных ожиданий, а также монетарной инфляции, значимое понижательное влияние оказывает удорожание стоимости кредитования и курса национальной валюты. Таким образом, укрепление курса рубля способствует постепенному снижению инфляции, воздействуя с лагом, в том числе и через канал инфляционных ожиданий. Понижательное воздействие на инфляцию роста номинальных процентных ставок объясняется вызываемым им сокращением платежеспособного спроса.

Включение двух представленных уравнений блока денежного рынка в общую схему ОММЭР позволяет, таким образом, сделать эндогенными номинальную ставку процента и темп инфляции, в результате чего экзогенной переменной остается только объем денежной массы. Основываясь на полученные уравнения для денежного рынка, можно также сделать вывод о том, что подтверждена теоретическая модель о снижении номинальных процентных ставок при увеличении темпов роста реальной денежной массы М2 в краткосрочном периоде и росте номинальной процентной ставки при увеличении темпов роста номинального валового выпуска с определенным лагом.

Блок агрегированного валютного рынка. Блок агрегированного валютного рынка представлен преимущественно нормативной моделью платежного баланса, позволяющей моделировать внешнеэкономические потоки иностранной валюты с учетом уравнения регрессии на оценку динамики доли импорта товаров и услуг в ВВП (табл. 2.2.7) и эндогенизировать номинальный валютный курс рубля к доллару США на основе соответствующего уравнения регрессии.

Доля импорта товаров и услуг в ВВП для России является достаточно устойчивым показателем, в среднем на поквартальной статистике за 2004-2015 гг. составляющим 21,2% и имеющим стандартное отклонение 1,2%. Поэтому при построении модели акцент сделан на оценке уравнения регрессии, позволяющего воспроизводить изменения доли импорта в ВВП.

Объясняющие переменные	Значение коэффи- циента	Стан- дартная ошибка	Уровень значимо- сти
Константа	-0,0008	0,0014	0,544
Логарифмированный темп роста реального валютного курса доллара США к российскому рублю в квартале t-2 к соответствующему кварталу предыдущего года (exr\$rt-2)	0,0337	0,0066	0,000
Прирост реальной ставки процента в непрерывной модели в квартале t по сравнению с соответствующим кварталом предыдущего года (irrt – irrt-4)	0,0573	0,0206	0,008
МИО-константа	-0,0002	0,0010	0,862
МИО-остатки базовой модели с лагом 1	0,5730	0,1243	0,000
$R \Phi 2 = 0.375 \text{ (p = 0.000); } R \Sigma 2 = 0.577 \text{ (p = 0.000); } ry^{,e} = 0.000 \text{ (p = 0.000); } IR = 0.79, \\ FG = 10.4 \text{ (p = 1.00); } DW = 2.03 \text{ (p > 0.05)}$			

*Источник*: Оценка автора на поквартальной статистике за период: 2003 г. – третий квартал 2014 г. (на основе данных Росстата и ЦБ России).

Так как объем экспорта товаров и услуг в значительной степени определяется внешними факторами, то для объема экспорта товаров и услуг в квартале t, в российских рублях по фактическим ценам и текущему валютному курсу ( $Ex_t$ ), была построена следующая нормативная модель:

$$Ex_{t} = ExNonO\&G_{t} + OilPrice_{t} ExpOilVol_{t}/dOil_{t}$$
(2.2.5)

где  $ExNonO\&G_t$  — объем экспорта товаров и услуг за вычетом продукции нефтегазового комплекса, пересчитанный в российские рубли по фактическим ценам и текущему валютному курсу, в квартале t;  $OilPrice_t$  — средняя фактическая цена экспортируемой из России нефти в долларах США за баррель, в квартале t;  $ExpOilVol_t$  — объем экспорта нефти из России в баррелях в квартале t;  $dOil_t$  — средняя доля экспорта нефти в суммарном экспорте продукции нефтегазового комплекса, принятая равной 44,4%, что

соответствует значению указанного показателя в первом квартале 2016 года.

Потоки по счету операций с капиталом и финансовому счету, а также показатели экспорта товаров и услуг задаются экзогенно на основе сценариев проводимых расчетов и экспертных оценок.

Укрупненная модель платежного баланса позволяет, таким образом, моделировать поступающие в страну и исходящие из нее потоки иностранной валюты, что служит основой для построения уравнения регрессии, описывающего динамику номинального валютного курса доллара США к российскому рублю в квартале t (табл. 2.2.8).

Таблица 2.2.8 Оценка уравнения регрессии для логарифмированного темпа роста номинального валютного курса доллара США в российских рублях в квартале t к соответствующему кварталу предыдущего года (exr\$nt)

Объясняющие переменные	Значение коэффи- циента	Стан- дартная ошибка	Уровень значимо- сти
Константа	0,0469	0,0087	0,000
Приведенное в логарифмированную форму отношение изменения резервов валюты у частного сектора к совокупному поступлению валюты в страну по всем статьям платежного баланса в квартале t (1+dPrivateReservest/CurrenceInflowst)	0,9901	0,3129	0,003
Приведенное в логарифмированную форму отношение совокупного чистого поступления валюты в страну (приток валюты за вычетом оттока) к совокупному поступлению валюты в страну по всем статьям платежного баланса в квартале t (1+ dCurrenceInflowst/CurrenceInflowst)	-0,5222	0,0610	0,000
МИО-константа	0,0016	0,0069	0,818
МИО-остатки базовой модели с лагом 1	0,4357	0,1378	0,005
$R$ φ2 = 0,764 (p = 0,000); $R$ Σ2 = 0,809 (p = 0,000); $r$ y^,e = 0,000 (p = 0,000); $IR$ = 0,82, $F$ G = 8,0 (p = 1,00); $D$ W = 1,83 (p > 0,05)			

*Источник*: Оценка автора на поквартальной статистике за период: 2004 г. – третий квартал 2014 г. (на основе данных ЦБ России).

Полученная регрессионная модель хорошо согласуется с теоретическими представлениями. Так, номинальный курс доллара США в российских рублях находится в отрицательной зависимости от отношения чистого поступления иностранной валюты к совокупному поступлению, в то же время имеется положительное воздействие на данный показатель прироста резервов валюты у частного сектора.

*Блок консолидированного бюджета*. Построение блока консолидированного бюджета, включая государственные внебюджетные фонды, основано на построении соотношений для следующих четырех укрупненных групп бюджетных доходов.

1. Доходы консолидированного бюджета от внешнеэкономической деятельности, поступившие в консолидированный бюджет в квартале t ( $GIE_t$ ), величина которых определяется на основе уравнения регрессии, построенного для их доли в общем объеме экспорта нефтегазового комплекса (табл. 2.2.9), и представлена следующим соотношением:

$$GIE_{t} = (0.1476 + 0.0028 \cdot OilPrice_{t}) \cdot OilPrice_{t} \cdot ExpOilVol_{t} / dOil_{t}$$

$$(2.2.6)$$

Таблица 2.2.9

Оценка уравнения регрессии для доли доходов от внешнеэкономической деятельности, поступивших в консолидированный бюджет в квартале t, в общем объеме экспорта нефтегазового комплекса (GIEt / OilPricet·ExpOilVolt/dOilt)

Объясняющие переменные	Значение коэффи- циента	Стан- дартная ошибка	Уровень значимо- сти	
Константа	0,1476	0,0344	0,000	
Средняя фактическая цена экспортируемой из России нефти в квартале t, долларов США за баррель (OilPricet)	0,0028	0,0004	0,000	
$R\phi 2 = 0.766 (p = 0.000); ry^{,e} = 0.000 (p = 0.000); DW = 2.54 (p > 0.05)$				

*Источник*: Оценка автора на поквартальной статистике за период 2011 г. – первый квартал 2016 г. (на основе данных Росстата и ЦБ России).

2. Доходы консолидированного бюджета, получаемые в виде налога на добавленную стоимость и акцизов на ввозимые на территорию Российской Федерации товары ( $GII_t$ ), величина которых оказалась прямо пропорциональной величине импорта товаров и услуг с коэффициентом пропорциональности 0,1593 и стандартным отклонением, равным 0,005, объем данных доходов определяется на основе следующего соотношения:

$$GII_t = 0.1593 \cdot Im_t$$
 (2.2.7)

3. Доходы консолидированного бюджета, поступающие по налогу на добычу полезных ископаемых на нефть ( $GIP_t$ ), величина которых зависит от мировых цен на нефть марки Юралс, а также корректирующих коэффициентов, значения которых определяются в зависимости от различных условий, объем данных доходов определяется на основе следующего соотношения:

$$GIP_t = K_p \cdot (T^{oil} \cdot ExR \$ N_t \cdot (OilPrice_t - 15)/261) \cdot OilVol_t \cdot 0,1364,$$
 (2.2.8)

где  $K_p$  — коэффициент, характеризующий соотношение между фактической усредненной на объем добычи ставкой налога на добычу полезных ископаемых на нефть и расчетной максимальной ставкой, принят равным среднему значению данного коэффициента 0,7946 при стандартном отклонении 0,0459;  $T^{oil}_t$  — базовый размер налоговый ставки по НДПИ на нефть, действующий в квартале t (857 руб. на каждую добытую тонну в 2016 г., 919 руб. — в 2017 г.);  $OilVol_t$  — объем добычи нефти и газового конденсата в баррелях в квартале t.

4. Прочие доходы консолидированного бюджета, величина которых определяется через произведение ВВП и средней их доли в ВВП в 2011–2015 гг., равной 0,2212 при стандартном отклонении 0,016, на основе следующего соотношения:

$$GIO_t = 0.2212 \cdot P_t \cdot Y_t$$
 (2.2.9)

Предложенная группировка доходов консолидированного бюджета позволяет выделить доходы, на которые оказывают непосредственное влияние изменения цен на нефть и валютных курсов (первые три группы доходов), что позволяет более качественно моделировать воздействие внешнеэкономических шоков,

а также воздействие валютной политики Центрального банка на состояние государственного бюджета.

Расходы консолидированного бюджета выступают экзогенной величиной, определяемой на основе утвержденных параметров налогово-бюджетной политики и сценарных предположений, принимаемых при проведении расчетов. С учетом влияния параметров налогово-бюджетной политики на равновесие в ОММЭР, они могут рассматриваться как управляющие параметры государственной экономической политики, что может требовать построения дополнительных соотношений для более полной оценки их воздействия на динамику отдельных показателей.

Блок динамической оптимизации государственной экономической политики. Для определения оптимальных значений инструментов государственной экономической политики ОММЭР интегрируется с модифицированной функцией общественных потерь  $(SL_t)$ , значения которой определяются в соответствии со следующим соотношением:

$$SL_{t} = \sum_{\tau=t-t_{0}}^{\theta} \delta_{\tau} \cdot \sum_{n=1}^{N} \mu_{\tau,n} \cdot \left( T_{t_{0}+\tau,n}^{*} - T_{t_{0}+\tau,n} \right)^{2} \rightarrow \min!$$
 (2.2.10)

где t — квартал выработки/корректировки оптимальной экономической политики для каждого квартала планового периода  $[t_0; t_0+\theta]; t_0$  — начальный квартал планового периода;  $\theta$  — период планирования, в кварталах;  $SL_t$  — оценка суммарной величины общественных потерь за остаток планового периода;  $\tau$  — порядковый номер квартала планового периода ( $t_0$  присваивается номер 0 и т.д.);  $\delta_{\tau}$  — вес общественных потерь квартала с порядковым номером  $\tau$  в суммарной величине общественных потерь за весь плановый период; n — порядковый номер цели экономического регулирования; N — количество целей экономического регулирования;  $\mu_{\tau, n}$  — вес цели экономического регулирования с номером n в величине общественных потерь квартала с порядковым номером  $\tau$ ;  $T^*_{t0+\tau, n}$  — желаемое значение показателя, соответствующего цели экономического регулирования с номером n, в квартале  $t_0+\tau$ ;  $T_{t0+\tau, n}$  — расчетное значение показателя,

соответствующего цели экономического регулирования с номером n, в квартале  $t_0+\tau$ , получаемое на основе расчетов в ОММЭР, в которой управляющими параметрами выступают показатели, соответствующие оптимизируемым инструментам государственной экономической политики.

Представленный подход позволяет получать оценки значений параметров инструментов экономической политики как на ретроспективной основе, что позволяет анализировать степень согласованности их между собой и с целями экономического регулирования, так и на перспективу – с целью обоснования принимаемых решений. Веса  $\delta_{\tau}$ ,  $\mu_{\tau,n}$ , а также горизонт планирования  $\theta$  определяются дискреционно – в зависимости от сложившейся в экономике ситуации и приоритетов экономического регулирования.

Предлагаемый подход позволяет получать оценки воздействия мер экономической политики на широкий спектр показателей, в том числе включающих отраслевые валовые выпуски, что позволяет расширить предлагаемую схему оптимизации государственной экономической политики и ее целей (рис. 2.2.2).

Заметим, что предложенный подход к оптимизации государственной экономической политики позволяет получать оценки воздействия ее мер не только на целевые показатели социально-экономического развития. Так, к примеру, в многочисленных исследованиях, посвященных вопросам общественного здоровья и загрязнения окружающей среды, даются количественные оценки влияния на них экономических показателей, что дает основу и определяет направление для расширения перечня целей государственной экономической политики в рамках предложенного подхода.



 $Puc.\ 2.2.2.\$ Схема оптимизации государственной экономической политики на основе OMMЭР

Источник: Построено автором.

#### Глава 3

## МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

# 3.1. Точечная динамическая межотраслевая модель системы КОМПАС-ДАР

В системе КОМПАС-ДАР в рамках подсистемы КАМИН реализованы трехфакторные оптимизационные межотраслевые динамические модели национальной экономики с распределенными строительными лагами и дискретным временем (см. [1, 2]). Производственными факторами являются: 1) основные фонды, 2) сырье, материалы и услуги, формирующие промежуточное потребление, 3) трудовые ресурсы.

Описание моделей начнем с определения следующих параметров:

- 1)  $[t^0;T]$  целочисленный период выполнения расчетов по модели страны, в котором каждое  $t \in [t^0;T]$  обозначает номер года,  $t^0$  базовый год;
- 2) n количество отраслей экономики страны в принятой для модели структуре экономики, так что отрасль k: (1 $\leq$ k $\leq$ n) производит агрегат продуктов  $w_k^t$ ;
- 3)  $x_k^t = p(w_k^t, t^0) \ge 0$  стоимость агрегата  $w_k^t$  во внутренних ценах страны года  $t^0$ , который будем называть произведенным валовым выпуском (или произведенным продуктом) k-й отрасли в году t в сопоставимых ценах переменная;
- 4)  $x^t = (x_1^t, x_2^t, ..., x_n^t) \in \mathbb{R}^n$  вектор произведенных продуктов отраслей страны в году t в сопоставимых ценах;
- 5)  $S_{ik}^t$  сальдо экспорта-импорта продукции k-й отрасли страны в году t (здесь  $S_k^t = \mathbf{E}_k^t I_k^t$ , где  $E_k^t \ge 0$  экспорт продукта й отрасли в году t,  $I_k^t \ge 0$  импорт продукта k-й отрасли в году t в сопоставимых ценах);
- 6)  $E^t = (E_1^t, E_2^t, ..., E_n^t) \in R^n, I^t = (I_1^t, I_2^t, ..., I_n^t) \in R^n,$   $S^t = (S_1^t, S_2^t, ..., S_n^t) \in R^n$  вектора экспорта, импорта и сальдо внешней торговли страны в году t;
- 7)  $PR_k^t = x_k^t + I_k^t + 3_k^{t-1}$  ресурс произведенного валового выпуска в k-й отрасли страны в году t в сопоставимых ценах (здесь 110

 $3_k^{t-1} \ge 0$  — переходящие запасы продукта k-й отрасли на конец года t-1) — переменная;

- 8)  $\mathrm{IR}_k^t = \overline{x}_k^t + \mathrm{E}_k^t + \Pi_k^t + 3_k^t$  ресурс использованного продукта в k-й отрасли страны в году t в сопоставимых ценах (здесь  $\overline{x}_k^t \geq 0$  использованный валовой выпуск k-й отрасли в году t,  $\Pi_k^t \geq 0$  потери продукта k-й отрасли в году t,  $3_k^t \geq 0$  переходящие запасы продукта k-й отрасли на конец года t) переменная;
- 9)  $\overline{x}^t = (\overline{x}_1^t, \overline{x}_2^t, ..., \overline{x}_n^t) \in \mathbb{R}^n$  вектор использованного продукта страны в году t в сопоставимых ценах.

Балансовое соотношение для ресурсов отрасли:

$$PR_{k}^{t} = IR_{k}^{t}, \tag{3.1.1}$$

из которого получаем основные балансовые соотношения для произведенных и использованных продуктов отраслей:

$$x_k^t - \overline{x}_k^t = S_k^t + \Pi_k^t + \Delta S_{k'}^t, 1 \le k \le n.$$
 (3.1.2)

Здесь  $\Delta 3_k^t = 3_k^t - 3_k^{t-1}$  — прирост запасов продукта k-й отрасли в году t. Отметим, что равенство  $\Delta 3_k^t = 3_k^t - 3_k^{t-1}$  в формуле (3.1.2) корректно, поскольку все элементы произведенного и использованного ресурсов вычисляются в сопоставимых ценах.

Предположим, что структуризация экономики и нумерация отраслей в модели выбраны так, что отрасли можно разделить на два подразделения. Первое подразделение — производство средств производства, включая услуги, формирующие промежуточное потребление, которое состоит из отраслей с номерами  $j:(1\leqslant j\leqslant n^1)$ ; причем внутри первого подразделения выделяются фондосоздающие отрасли с номерами  $j:(1\leqslant j\leqslant n^0)$ , которые являются материальной основой инвестиционного комплекса страны, и сырьевые отрасли с номерами  $j:(n^0+1\leqslant j\leqslant n^1)$ . Второе подразделение — производство предметов потребления, товаров длительного пользования, средств потребления и услуг населению, которое состоит из отраслей с номерами  $j:(n^1+1\leqslant j\leqslant n)$ .

Разделение отраслей в межотраслевой модели на три группы связано с раздельным описанием воспроизводства каждого производственного фактора. Для каждой из трех групп отраслей балансовое соотношение (рис. 3.1.2) модифицируется в соответствии со спецификой воспроизводственного процесса. Модели отраслей первой группы (отраслей с номерами  $j:(1 \le j \le n^0)$ ).

Конкретизируем балансовое соотношение (3.1.2) для первой группы отраслей. Наличие  $n^0$  фондосоздающих отраслей в первой группе предполагает описание основных производственных фондов  $F_k^t$  в каждой из отраслей k: ( $1 \le k \le n$ ) модели в виде  $n^0$ -мерного вектора  $F_k^t = (F_{k.1}^t, F_{k.2}^t, ..., F_{k.n^0}^t)$ , причем воспроизводство j-й координаты  $F_{k.j}^t$  каждого вектора  $F_k^t$  k: ( $1 \le k \le n$ )(воспроизводство j-го вида основных производственных фондов в -й отрасли), описывается динамикой продукта j-й фондосоздающей отрасли.

Для описания процесса воспроизводства основных производственных фондов введем следующие обозначения:

 $s_k$  — максимальный срок службы основных производственных фондов в k-й отрасли страны;

 $\vec{F}_{k.j}^{t.s} \ge 0$  — стоимость основных производственных фондов j-го вида возраста s в -й отрасли страны в году t — переменная;

 $\alpha_{k.j}^{t.s}$ — норма выбытия основных производственных фондов j-го вида возраста s в -й отрасли страны в году t;

 $\vartheta_k$  — максимальный срок строительства объектов в k-й отрасли страны;

 $K_{k,j}^{t,\tau} \ge 0$  — инвестиции *j*-го вида в году t во ввод основных производственных фондов года  $t+\tau$  в -й отрасли страны;

 $B_{k,j}^t \ge 0$  — ввод основных производственных фондов j-го вида в -й отрасли страны в году t;

 $N_{k,j}^{\bar{t}} \ge 0$  — объем незавершенного строительства объектов j-го вида в -й отрасли страны в году t;

 $F_{k.j}^{t.*}$  — стоимость суммарного объема основных производственных фондов j-го вида в -й отрасли страны на конец года t;

 $f_{k.j}^t = F_{k.j}^{t.*x_k^t}$  — фондоемкости по j-му виду основных производственных фондов продукта -й отрасли страны в году t;

 $\operatorname{Inv}_{i}^{t}$  – общий объем инвестиций *j*-го вида в стране в году t.

На введенные параметры в модели накладываются следующие ограничения:

$$\overline{\mathbf{x}}_{\mathbf{j}} = \sum_{k=1}^{n} \mathbf{B}_{k,\mathbf{j}}^{\mathbf{t}}; \tag{3.1.3}$$

$$B_{k,i}^{t} = \sum_{\tau \ge 0} K_{k,i}^{t-\tau,\tau}; \tag{3.1.4}$$

$$Inv_j^t = \overline{x}_j^t + \Delta 3_j^t = \sum_{k=1}^n \sum_{\tau \ge 0} K_{k,j}^{t,\tau}; \tag{3.1.5}$$

$$F_{k,j}^{t,0} = B_{k,j}^{t}; \ F_{k,j}^{t,s} = F_{k,j}^{t-1,s-1} (1 - \alpha_{k,j}^{t,s}); \ s>0; \tag{3.1.6}$$

$$N_{k,i}^{t} = \sum_{s \ge 0} \sum_{\tau > 0} K_{k,i}^{t-s,s+\tau}; \tag{3.1.7}$$

$$F_{k,j}^{t*} = \sum_{s=0}^{s_k} F_{k,j}^{t.s}.$$
(3.1.8)

Так как для срока службы основных фондов  $s_k$  в большинстве стран справедливо неравенство  $s_k > \theta_k$ , формулу (3.1.8) можно переписать в виде:

$$F_{k,j}^{t,*} = \sum_{s=0}^{\theta_k - 1} F_{k,j}^{t,s} + F_{k,j}^{t - \theta_k,*}.$$
(3.1.9)

Следовательно, стоимость суммарных основных фондов  $F_{k,j}^{t,*}$  состоит из суммы стоимостей вводов разных лет, оцененных в разных ценах. В этой ситуации цены, в которых статистика определяет величину основных производственных фондов  $F_{k,j}^{t,*}$ , называются смешанными.

Модели отраслей второй группы (отраслей с номерами  $j:(n^0+1 \le j \le n^1)$ ).

Описание воспроизводства продукта сырьевых отраслей основано на статистике межотраслевых потоков первого квадранта МОБ'а. Обозначим:

 $X_{k,j}^t \ge 0$  — затраты продукта j-й сырьевой отрасли на производство продукта -й отрасли  $x_k^t$  в году t;

 $a_{k,j}^t = X_{k,j}^t/x_k^t$  —технологический норматив затрат k-го вида сырья на единицу j-го продукта в сопоставимых ценах.

Теперь основное балансовое соотношение для j-й сырьевой отрасли имеет вид:

$$\overline{x}_{i}^{t} = \sum_{k=1}^{n} a_{k,i}^{t} x_{k}^{t}. \tag{3.1.10}$$

Modenu отраслей третьей группы (отраслей с номерами  $j:(n^1+1\leqslant j\leqslant n)$ ). Моделирование отраслей второго подразделения связано с реализацией социальных программ страны. Интегральной характеристикой выполнения социальной программы принимается темп роста использованного продукта каждой из отраслей второго подразделения.

Обозначим:

 $q_j^t(\lambda^t)$  — темп роста использованного продукта j-й отрасли страны в -м году (здесь  $\lambda^t$  — оптимизируемая переменная, темп роста является монотонно возрастающей функцией от  $\lambda^t$ ).

Функция  $q_j^t(\lambda^t)$  — непрерывная, монотонно возрастающая, кусочно-линейная. Задается по следующей методике: v — количество уровней темпов второго подразделения;  $0=\lambda_1<\lambda_2<...<\lambda_v$ -границы линейности темпов,

$$q_i^t(\lambda^t) = (a_{ij}\lambda^t + b_{ij} \le 0$$
 в области  $\lambda_i \le \lambda^t \le \lambda_{i+1}$ ,  $i=1,...,v-1$ .) (3.1.11)

Ограничением для отраслей второго подразделения является равенство:

$$\overline{\mathbf{x}}_{ij}^{t} = \mathbf{q}_{i,i}^{t}(\lambda_{i}^{t}) \cdot \overline{\mathbf{x}}_{ij}^{(t-1)}. \tag{3.1.12}$$

Это ограничение нелинейное (и невыпуклое) в глобальной задаче оптимизации как произведение кусочно-линейной переменной  $q_j^t(\lambda^t)$  и переменной использованного продукта  $\overline{x}_j^{(t-1)}$ . Пошаговая оптимизация с переходом от года к году делает эту модель линейной, так как в году t переменная  $\overline{x}_j^{(t-1)}$  уже определена на прерыдущем шаге.

Завершение построения межотраслевых моделей.

Для завершения построения межотраслевой модели страны введем дополнительные параметры:

 $\mathrm{CL}^t$  – численность занятых в стране в году t;

 $c_k^t$  — трудоемкость произведенного продукта в k-й отрасли страны в году t.

Заключительные ограничения, задающие множество допустимых траекторий развития страны в году t имеют следующий вид:

$$f_{k,j}^t \cdot x_k^t \leq F_{k,j}^{t,*,(k=1,\dots,n,\;j=1,\dots,n^0)}; \tag{3.1.13}$$

$$\sum_{k=1}^{n} c_k^t \cdot x_k^t \le CL^t. \tag{3.1.14}$$

Обозначим через  $\Omega^t(S^t)\subseteq R^{2n+1}$  — множество векторов  $(x^t,\overline{x}^t,\lambda^t)$ , удовлетворяющих условиям (3.1.1)-(3.1.13), и для каждого года t рассмотрим оптимизационную задачу:

$$U^{t}(x^{t}, \overline{x}^{t}, \lambda^{t}) \to \max_{0}. \tag{3.1.15}$$

Здесь  $U^t(x^t, \overline{x}^t, \lambda^t)$  — максимизируемая функция, задающая цель поиска оптимального продукта страны в году t.

Назовем задачу (3.1.15) задачей локальной оптимизации, а модель (3.1.1)–(3.1.13), (3.1.15) – моделью локальной оптимизации.

Далее, обозначим через  $\overline{\Omega}^t(S^t) \subseteq R^{2n+1}$  множество векторов  $(x^t, \overline{x}^t, \lambda^t)$ , удовлетворяющих условиям (3.1.1)–(3.1.12), (3.1.14), и для каждого года t рассмотрим оптимизационную задачу:

$$U^{t}(x^{t}, \overline{x}^{t}, \lambda^{t}) \to \max_{\overline{\Omega}}.$$
 (3.1.16)

Назовем задачу (3.1.16) задачей балансовой оптимизации, а модель (3.1.1)–(3.1.12), (3.1.14), (3.1.16) – балансовой моделью.

Балансовая и оптимизационная модели могут использоваться в прогнозных расчетах в детерминистической и в нечеткомножественной постановке. Во втором случае экзогенные параметры модели, например коэффициенты материалоемкости  $a_{k,j}^t = X_{k,j}^t/x_k^t$ , сальдо экспорта-импорта и т.д., задаются в нечетком виде — «раскачиваются» в определенных пределах. В результате на «выходе» эндогенные переменные, например ВВП и валовые выпуски отраслей, также представляются в нечетком виде. Нечетко-множественное представление экзогенных и эндогенных переменных модели при прогнозировании позволяет оценить устойчивость эндогенных переменных по отношению к вариации экзогенных параметров и определить надежность результатов прогнозирования выходных показателей [1].

## Литература к разделу 3.1

- 1. Исследование экономики России с использованием моделей с нечеткими параметрами / отв. ред. А.О. Баранов, В.Н. Павлов; Новосиб. гос. ун-т, ИЭОПП СО РАН. Новосибирск, 2009. 236 с.
- 2. Павлов А.В., Павлов В.Н. Нечетко-случайные методы исследования неопределенности и их макроэкономические приложения. Изд-во СО РАН РФ, Новосибирск, 2012. 188 с.

# 3.2. Динамическая межотраслевая модель с блоком охраны окружающей среды

В систему КАМИН, разработанную в ИЭОПП СО РАН и в НГУ, включены следующие основные элементы:

- 1. Динамическая межотраслевая модель (ДММ) с распределенным строительным лагом (см. выше раздел 3.1).
- 2. Модель прогнозирования динамики финансовых потоков между субъектами финансовой деятельности.
- 3. Модель прогнозирования влияния монетарной политики на динамику производства.
- 4. Модель прогнозирования доходов и расходов федерального и консолидированного бюджетов.
  - 5. Экологический блок [1].

Все модели, включенные в систему КАМИН, могут быть использованы в анализе и прогнозировании развития экономики России в детерминистической постановке и с использованием метода нечетких множеств, который позволяет отобразить неопределенность значений прогнозируемых показателей, определить устойчивость эндогенных параметров моделей по отношению к вариации экзогенных переменных и вычислить надежность полученных оценок прогнозируемых переменных [2].

Расчеты по всему комплексу моделей проводятся на основе единой информационной базы данных. Единая информационная база является основой согласования результатов расчетов по всем моделям с использованием системных процедур, что обеспечивает комплексность исследования. Разработанная методика информационного обеспечения позволяет формировать исходные информационные базы для системных расчетов с годовым и квартальным шагом по времени.

Отличительной особенностью моделей, включенных в систему КАМИН, является согласованность их параметров со структурой отчетных данных государственной статистики. Система адаптирована к методологии национальных счетов.

На рис. 3.2.1 представлена краткая схема одного из вариантов функционирования системы КАМИН с блоком охраны окружающей среды (блок ООС).

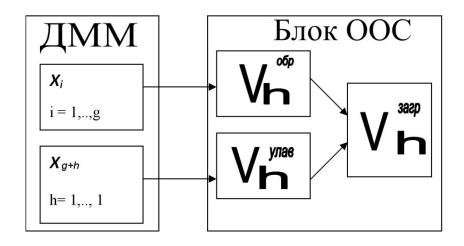


Рис. 3.2.1. Схема системы КАМИН с блоком ООС

Рассматриваются r производственных отраслей народного хозяйства. Под номером r+1значится домашнее хозяйство. Первые n отраслей относятся  $\kappa$  сфере материального производства. Отрасли n+1,...,g относятся  $\kappa$  нематериальному производству. В материальном производстве первые m отраслей представляют первое подразделение, отрасли m+1,...,n-1 второе подразделение. В составе обоих подразделений первые k отраслей являются фондосоздающими (1,...,k-1) в первом подразделении, m+1,...,m+1 во втором подразделении). Отрасли k+1,...,m и m+1,...,n-1

К традиционным отраслям народного хозяйства добавляются отрасли материального природоохранного производства (g+1,...,g+l) и нематериального природоохранного производства (g+l+1,...,r). Выделяются l элементов, которые представляют либо определенный вид загрязнения, либо природный ресурс, который необходимо воспроизвести (загрязненный или уничтоженный). Причем предполагается однозначное соответствие между каждым из этих элементов и отраслью природоохранного материального производства (например, отрасль по предотвращению загрязнения атмосферного воздуха; отрасль, занимающаяся очисткой сточных вод; отрасль по воспроизводству лесных насаждений.

На рис. 3.2.2 представлена структура матрицы коэффициентов прямых материальных затрат и вектора личного непроизводственного потребления модели.

	1,, m	m+1,, n	$n{+}1,   ,  h$	$h{+}1,   ,  g$	$g{+}1,\dots,g{+}l$	g+ <i>l</i> +1,, r	r+1
1,, m	Aı	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A9	A <sub>10</sub>	0
m+1,, n	0	0	0	0	0	0	
n+1,, h	A <sub>5</sub>	$A_6$	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	0
h+1,, g	0	0	0	0	0	0	
g+1,, g+ <i>l</i>	A <sub>13</sub>	A <sub>14</sub>	A <sub>15</sub>	A <sub>16</sub>	A <sub>17</sub>	A <sub>18</sub>	О
g+ <i>l</i> +1,, r	0	0	0	0	A <sub>19</sub>		0

 $Puc.\ 3.2.2.\$ Структура матрицы коэффициентов прямых материальных затрат и вектора личного непроизводственного потребления (столбец r+1)

На рисунке используются следующие обозначения:

 $A_1$ ,  $A_2$  — подматрицы коэффициентов прямых материальных затрат продукции первого подразделения на производство продукции первого и второго подразделения материального производства;

 $A_3$ ,  $A_4$  — аналогичные подматрицы для затрат продукции I подразделения на производство услуг, оплачиваемых по текущим счетам предприятий, и услуг, формирующих конечный спрос (I и II подразделения нематериального производства);

 $A_5$ ,  $A_6$ ,  $A_7$ ,  $A_8$  — подматрицы коэффициентов затрат услуг на производство единицы продукции в соответствующих отраслях;

 $A_9$ ,  $A_{11}$  – подматрицы коэффициентов прямых материальных затрат продукции I подразделения материального и нематериального производства (соответственно) на производство продукции природоохранного материального производства;

 $A_{10}$ ,  $A_{12}$  — аналогичные подматрицы для затрат продукции I подразделения материального и нематериального производства на производство продукции природоохранного нематериального производства;

 $A_{13}$ ,  $A_{14}$ ,  $A_{15}$ ,  $A_{16}$ ,  $A_{17}$ ,  $A_{18}$  — подматрицы коэффициентов затрат продукции природоохранного материального производства на производство продукции в соответствующих отраслях;

 $A_{19}$ ,  $A_{20}$  — аналогичные матрицы для затрат продукции природоохранного нематериального производства на материальный природоохранный сектор и на собственное производство (соответственно).

В ДММ так же, как и для любой традиционной отрасли моделируется процесс воспроизводства основных природоохранных фондов и процесс производства продукции природоохранных отраслей, который описывается следующими уравнениями.

Уравнение (3.2.1) моделирует выпуск фондосоздающих отраслей I подразделения, производящих здания и сооружения, монтируемые машины и оборудование:

$$X_{i}(t) = \sum_{j=1}^{r} \sum_{\tau=0}^{\theta i j} K_{ij}(t, t+\tau) + S_{i}(t) \qquad \left(i = \overline{1, p}; t = \overline{1, T}\right)$$
(3.2.1)

Уравнение (3.2.2) показывает выпуск фондосоздающих отраслей I подразделения, производящих немонтируемые машины и оборудование:

$$X_{i}(t) = \sum_{j=1}^{r} B_{ij}(t) + S_{i}(t) \qquad (i = \overline{p+1,k}; t = \overline{1,T})$$
(3.2.2)

Следующее уравнение (3.2.3) демонстрирует выпуск нефондосоздающих отраслей первого подразделения материального производства, результат производства нематериальных услуг производственного потребления, а также выпуск природоохранных отраслей (на данном этапе моделирования природоохранное производство полностью отнесено нами к материальному производству, т.ею g+l=r):

$$X_{i}(t) = \sum_{j=1}^{r} a_{ij}(t) X_{j}(t) + S_{i}(t) \quad (i = \overline{k+1,m}, \overline{n+1,h}, \overline{g+1,r}; t = \overline{1,T})$$
 (3.2.3)

Уравнение, описывающее выпуск отраслей II подразделения материального и нематериального производства (3.2.4):

$$X_{i}(t) = [X_{i}(t-1) - S_{i}(t-1)]q_{\lambda i} + S_{i}(t)$$
  $(i = \overline{m+1, n}, \overline{h+1, g}; t = \overline{1, T})$  (3.2.4)

Уравнение для определения величины производственных инвестиций (3.2.5):

$$K_{ij}(t-s,t+\tau) = K_{ij}(t-s,t-s+\theta_{ij})\xi_{ij}(\tau)/\xi_{ij} \quad (\theta_{ij}) \qquad \left(i=\overline{1,p};j=\overline{1,r};t=\overline{1,T};\tau=\overline{0,\theta_{ij}}\right)(3.2.5)$$

Уравнение для расчета наличия на начало года основных фондов пассивного вида (зданий, сооружений, монтируемых машин и оборудования) (3.2.6):

$$\Phi_{ij}(t) = \Phi_{ij}(t-1) + \sum_{s=0}^{\theta_{ij}} K_{ij}(t-1-s,t-1) - F_{ij}(t-1,H_i) 
\left(i = \overline{i,p}; j = \overline{1,r}; t = \overline{1,T}\right)$$
(3.2.6)

Уравнение для расчета наличия на начало года основных фондов активного вида (немонтируемых машин, оборудования и передаточных устройств) (3.2.7):

$$\Phi_{ij}(t) = \Phi_{ij}(t-1) + B_{ij}(t-1) - F_{ij}(t-1, H_i)$$

$$\left(i = \overline{p+1, k}; j = \overline{1, r}; t = \overline{1, T}\right)$$
(3.2.7)

Ограничение на основные фонды (3.2.8):

$$b_{ij}X_{j}(t) = \Phi_{ij}(t+1) \qquad \left(i = \overline{i,k}; j = \overline{1,r}; t = \overline{1,T}\right)$$
(3.2.8)

Уравнение для расчета объемов незавершенного строительства на конец года (3.2.9):

$$N_{ij}(t) = N_{ij}(t-1) + \sum_{\tau=1}^{\theta_{ij}} K_{ij}(t,t+\tau) - \sum_{s=1}^{\theta_{ij}} K_{ij}(t-s,t)$$

$$\left(i = \overline{i,p}; j = \overline{1,r}; t = \overline{1,T}\right)$$
(3.2.9)

Ограничение на трудовые ресурсы (3.2.10):

$$L(t) = \sum_{j=1}^{r} c_j(t) X_j(t) \qquad \left(t = \overline{1, T}\right)$$
(3.2.10)

В уравнениях основного блока модели используются следующие обозначения параметров модели:

 $\theta_{ij}$  — длина инвестиционного лага (число лет) фонда вида i в отрасли j;

 $H_{i}$  – срок службы основных фондов вида i;

 $a_{ij}(t)$  – коэффициенты матрицы прямых материальных затрат;  $b_{ij}(t)$  – фондоемкость фондов вида i в отрасли j, рассчитываемая по формуле:

$$b_{ij}(t) = \Phi_{ij}(t+1)/X_{j}(t);$$

 $\xi_{ij}( au)$  — коэффициенты, показывающие среднюю долю ввода в действие основных фондов типа i в отрасли j в каждом году прогнозируемого периода за счет инвестиций, осуществленных au лет назад;

 $c_i(t)$  – трудоемкость в отрасли j в году t;

 $q_{\lambda i}$  — темп роста продукции i-й отрасли II подразделения по уровню шкалы  $\lambda$ .

Экзогенные переменные основного блока модели:

 $S_i(t)$  – чистый экспорт отрасли i в году t;

L(t) – число занятых в национальной экономике в году t;

 $B_{ij}(t)$  — ввод в действие основных фондов вида i в отрасли j в году t, определяемый по формуле:  $B_{ij}(t) = F_{ij}(t+1, 1)$ ;

Эндогенные переменные модели:

 $K_{ij}(t-s,t-s+ heta_{ij})$  — инвестиции на начальное строительство;

 $X_i(t)$  – валовой выпуск в отрасли i в году t;

 $F_{ij}(t,l)$  — объем основных фондов вида i в отрасли j на начало года t, введенных в действие l лет назад;

 $\Phi_{ij}(t)$  — объем основных фондов вида i в отрасли j на начало года t, определяемых по формуле:

$$\Phi_{ij}(t) = \sum_{l=1}^{H_i} F_{ij}(t,l);$$

 $N_{ij}(t)$  — объем незавершенного строительства основных фондов типа i в отрасли j на конец года t;

$$K_{ij}(t-s,t+ au)$$
 — объем инвестиций вида  $i$  в отрасли  $j$  в году

t-s, ввод в действие основных фондов за счет которых будет осуществлен в году t+ au

$$(\tau = \theta_{ij} - s).$$

Кроме того, существует экологический блок, описывающий материально-вещественные показатели экологических процессов. На основе величин произведенной продукции традиционных от-

раслей промышленности и народного хозяйства  $(X_i, i=1, r)$  с использованием коэффициентов образования загрязнителя h (h=1, l), приходящегося на производство единицы продукции отрасли i ( $w_{ih}$ ), определяется объем образования загрязнителя h непосредственно в процессе производства ( $v_h^o$ ):

$$V_h^o(t) = \sum_{i=1}^g w_{ih}(t) X_i(t) + D_{r+1,h}(t) \qquad (h = \overline{1,l}; t = \overline{1,T}), \quad (3.2.11),$$

где  $D_{r+1}$ , h(t) — выпуск загрязнителя h (объем загрязненного или уничтоженного природного ресурса) в домашнем хозяйстве в году t.

Существуют ограничения по объему загрязнителя h, поступающего в окружающую среду без очистки, или по объему уничтоженного, но невоспроизведенного природного ресурса  $(\vec{v_h})$ :

$$V_h^z(t) = V_h^O(t) - V_h^u(t)$$
  $(h = \overline{1, l}; t = \overline{1, T}),$  (3.2.12)

где  $V_h^u(t)$  — объем восстановленного природного ресурса (уничтоженного или уловленного загрязнителя) вида h в году t, определяемого по формуле:  $V_h^u(t) = \gamma_h(t) V_h^o(t)$ ,  $\gamma_h(t)$  — доля восстановления природного ресурса вида h в общем объеме его потери (или улавливания загрязнителя в общем объеме его образования в производственном процессе).

Результат деятельности отраслей, занимающихся охраной и воспроизводством природных ресурсов, представлен в ДММ с блоком ООС в двух формах: стоимостной, как объем произведенного продукта природоохранной отрасли, и натуральной, как объем улавливания загрязнений (восстановления уничтоженного или загрязненного природного ресурса). Связь между двумя формами результата природоохранной деятельности можно представить следующим образом:

$$X_{g+h}(t) = \omega_h(t)V_h^u(t) + \varepsilon_h(t) \quad (h=\overline{1,l}; t=\overline{1,T}), \quad (3.2.13)$$

- где  $\omega_h(t)$  текущие затраты на очистку (восстановление) единицы природного ресурса h (или на уничтожение единицы загрязнителя) в природоохранной отрасли (g+h) в году t;
- $\mathcal{E}_h(t)$  народнохозяйственный эффект в году t в результате восстановления природного ресурса h (уничтожения загрязнителя h).

Таким образом, лежащая в основе комплекса КАМИН межотраслевая модель также принадлежит к более сложным моделям леонтьевского типа, учитывающим не только натуральновещественные, но и стоимостные аспекты природоохранной деятельности. В отличие от практически используемых для прогнозирования современных леонтьевских моделей, где используются коэффициенты выбросов загрязняющих веществ на единицу выпуска продукции, в рассматриваемой версии леонтьевской модели задействованы коэффициенты образования загрязняющих веществ непосредственно в процессе производства, что позволяет моделировать отдельно производственные процессы, процессы улавливания загрязняющих атмосферу веществ и очистки загрязненных сточных вод.

Выше была изложена теоретическая версия модели, для ее практического использования были сделаны следующие упрощения:

- 1. Рассматриваются два элемента окружающей среды водные природные ресурсы и атмосферный воздух и, соответственно, две природоохранные отрасли: отрасль по очистке воды и отрасль, предотвращающая загрязнение воздушного бассейна. Не учитывается нематериальное природоохранное производство (т.е. в модели l=2, g+l=r).
- 2. В модели не учитывается загрязнение воды и атмосферы домашними хозяйствами, в частности загрязнение воздуха автомобильным транспортом, находящимся в собственности домашних хозяйств. Таким образом, данный вариант ДММ с экологическим блоком моделирует загрязнения, исходящие только от стационарных источников (т.е.  $D_{r+l,\;h}\left(t\right)=0$ ). Оценка автомобильных выбросов в прогнозных расчетах производится вне модельных расчетов путем экстраполяции существующих тенденций.
- 3. Природоохранное производство полностью отнесено нами к I подразделению.

4. При расчете валовой продукции природоохранных отраслей не учитывается народнохозяйственный эффект вследствие предотвращения ущерба от загрязнения данными отраслями, так как не существует достаточно эффективных методик его расчета (т.е.  $\varepsilon_h(t) = 0$ ).

В дальнейших исследованиях предполагается включить в экологический блок природоохранную деятельность, направленную на решение проблем, связанных с сокращением лесных массивов, загрязнением почв и образованием бытовых и производственных отходов.

Существуют два алгоритма расчетов по системе КАМИН с экологическим блоком.

По *первому алгоритму* согласно выбранным направлениям природоохранной политики (например, консервативная политика, проявляющаяся в сохранении существующих долей улавливания загрязнений  $\gamma_h(t)$ , или улучшение природоохранной деятельности, что вызывает необходимость увеличения затрат на экологию) определяются затраты на средозащитные цели. В основном блоке КАМИН происходит процесс моделирова-

В основном блоке КАМИН происходит процесс моделирования воспроизводства основных природоохранных фондов, необходимых для осуществления заданных экологических затрат. С использованием гипотез об экономическом развитии отраслей и возможностях экономики осуществлять природоохранные затраты осуществляется прогнозирование динамики производства в отраслях народного хозяйства. Основываясь на данной динамике, на удельных показателях образования загрязнений (коэффициентах образования загрязненных сточных вод на единицу выпускаемой продукции, коэффициентах образования загрязняющих атмосферу веществ на единицу выпускаемой продукции) и на величинах экологических затрат прогнозируются объемы образования загрязнений в народном хозяйстве, объемы улавливания и очистки загрязняющих веществ. Следовательно, мы получаем объемы сбросов загрязненных сточных вод в водоемы РФ и выбросов основных загрязняющих атмосферу веществ.

Согласно *второму алгоритму* задача может быть поставлена обратным образом. В соответствии с международными и национальными программными документами экологического направ-

ления устанавливаются ограничения на сбросы и выбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду.

По результатам прогнозных расчетов в основном блоке системы КАМИН определяются объемы образования загрязняющих веществ и величины текущих природоохранных затрат (соответственно и объемы улавливания загрязнений), которые обеспечат заданную нагрузку на окружающую природную среду. Далее происходит корректировка: перераспределение ресурсов в пользу природоохранной деятельности, что отразится на прогнозируемой динамике выпуска в отраслях народного хозяйства, и, следовательно, на объемах образования загрязнений в производственной сфере. На следующем этапе опять определяются необходимые объемы улавливания или уничтожения загрязнений и природоохранные затраты и так происходит до тех пор, пока не будет получен сбалансированный прогноз с целью выхода на заданные целевые экологические показатели. Таким образом, в результате прогноза определятся экологические затраты, обеспечивающие заданные объемы сбросов загрязненных сточных вод и выбросов основных загрязняющих атмосферу веществ.

### Литература к разделу 3.2

- 1. Тагаева Т.О. Математическое описание экологического блока с нечеткими параметрами и согласование результатов прогнозных расчетов по нему с моделями системы КАМИН-ФАЗЗИ // Исследование экономики России с использованием моделей с нечеткими параметрами / отв. ред. А.О. Баранов, В.Н. Павлов; Новосиб. гос. ун-т, ИЭОПП СО РАН. Новосибирск, 2009. Гл. 11.2. С. 218–221.
- 2. Баранов А.О., Павлов В.Н., Павлов А.В. Оптимизационная межотраслевая динамическая модель с нечеткими параметрами // Исследование экономики России с использованием моделей с нечеткими параметрами Исследование экономики России с использованием моделей с нечеткими параметрами / отв. ред. А.О. Баранов, В.Н. Павлов; Новосиб. гос. ун-т, ИЭОПП СО РАН. Новосибирск, 2009. Гл.3. С. 69—74.

## 3.3. Построение блока человеческого капитала в динамической межотраслевой модели

Человеческий капитал (ЧК) моделируется в динамической межотраслевой модели аналогично основному капиталу. Поэтому целесообразно оценивать объем накопленного ЧК по методу, основанному на учете инвестиций предыдущих лет. Здесь и далее под инвестициями в ЧК будем понимать государственные и частные затраты на образование, здравоохранение (к ним относятся также расходы на физкультуру и спорт) и культуру, формирующие совокупность знаний, навыков, способностей людей и обеспечивающие их здоровье.

Для расчета накопленного человеческого капитала используется модифицированный метод непрерывной инвентаризации. Объем накопленного ЧК (HC(t)) оценивается следующим образом. По формуле 3.3.1 определяется значение объема ЧК для первого исследуемого года. Для этого инвестиции года, предшествующего точке отсчета, умножаются на коэффициент, зависящий от темпа роста инвестиций в ЧК и коэффициента его выбытия:

$$HC(0) \approx IH(-1) \cdot (1 + g_{IH})/(g_{IH} + \widetilde{k}),$$
 (3.3.1)

где IH(-1) — инвестиции в ЧК в год, предшествующий начальной точке расчета объема ЧК HC(0);  $g_{IH}$  — темп прироста ввода в действие ЧК,  $\widetilde{k}$  — коэффициент выбытия человеческого капитала.

Коэффициент выбытия человеческого капитала рассчитывается на основе данных о среднем трудовом стаже человека. По данным пенсионного фонда РФ, он составляет около 35 лет. Тогда «норма выбытия» ЧК равна 2,9%, т.е. ежегодно выбывает из состава человеческого капитала примерно 3% его величины (100%/35=2,9%).

Объем ЧК в следующие годы рассчитывается рекуррентно по формуле 3.3.2:

$$HC(t) = BH(t) + HC(t-1) \cdot (1-\widetilde{k}), \tag{3.3.2}$$

где BH(t) – ввод в действие ЧК в стоимостном выражении.

Предложенный подход, в отличие от стандартного метода непрерывной инвентаризации, позволяет при наличии информации о стоимостной оценке ввода в действие ЧК рассчитать объем накопленного ЧК в каждом периоде без допущения о существовании инвестиционного лага в один год.

Оценка ввода в действие ЧК в стоимостном выражении по каждому виду инвестиций имеет свои особенности. Ввод в действие ЧК, сформированного за счет инвестиций в образование, оценивается на основе числа выпускников учреждений образования и соответствующих государственных и частных расходов с учетом разного уровня образования. В натуральном выражении будем считать вводом выпуск студентов вузов, выпуск студентов учреждений среднего профессионального образования (СПО), а также выпуск школьников, выступающих на работу после получения аттестата о среднем образовании. Согласно статистике последних лет, на работу устраиваются около 10% выпускников школ. Кроме того, из выпускников учреждений СПО в среднем 30% продолжают обучение в вузах. Это предопределило выбор соответствующих коэффициентов в уравнениях (3.3.3)–(3.3.6).

Для оценки ввода в действие ЧК в стоимостном выражении необходимо рассчитать средние расходы на одного обучающегося по соответствующим уровням образования. Лаг формирования ЧК в сфере образования довольно четко прослеживается по числу лет обучения для получения соответствующего уровня образования. Тогда ввод ЧК в году t, сформированный за счет инвестиций в образование, можно оценить по следующим формулам:

$$BHsc(t) = 0.1 \cdot Nsc \sum_{s=0}^{10} IHsc(t-s),$$
 (3.3.3)

$$BHspr(t) = 0.7 \cdot Nspr\left[\sum_{s=0}^{2} IHspr(t-s) + \sum_{s=3}^{12} IHsc(t-s)\right], \quad (3.3.4)$$

$$BHtr(t) = Ntr \cdot [0,3\{\sum_{s=0}^{4} IHtr(t-s) + \sum_{s=5}^{7} IHspr(t-s) + \sum_{s=5}^{17} IHsc(t-s)\} + 0,7\{\sum_{s=0}^{4} IHtr(t-s) + \sum_{s=5}^{15} IHsc(t-s)\} ],$$
(3.3.5)

$$BHe(t) = BHsc(t) + BHspr(t) + BHtr(t), \qquad (3.3.6)$$

где: BHe(t) — ввод в действие ЧК, сформированный за счет расходов на образование; BHsc(t), BHspr(t), BHtr(t) — ввод в действие ЧК, сформированный за счет расходов на среднее образование, среднее профессиональное образование и высшее образование соответственно; IHsc, IHspr, IHtr — соответствующие расходы по уровням образования; Nsc, Nspr, Ntr — число выпускников школ, учреждений СПО и вузов соответственно.

В отраслях здравоохранения и культуры однозначно выделить в натуральном или стоимостном выражении ввод в действие ЧК, как и лаг формирования ЧК, невозможно. Расходы на культуру могут оказывать длительное воздействие на формирование особенностей менталитета, традиций в обществе, которые в свою очередь будут влиять на производственную культуру, следовательно, и на производительность труда. Лаг формирования ЧК в этом случае может достигать десятилетий. Тем не менее, принимая во внимание безусловную важность этих затрат, будем основываться на предположении, что результат таких расходов представляет собой накопленный эффект, который проявляет себя постепенно. Поэтому вводом ЧК в году t, сформированного за счет инвестиций в культуру, будем считать весь объем государственных и частных расходов на культуру в году t.

В области здравоохранения лаги могут сильно разными. Однако напрямую оценить численность людей, прошедших лечение и улучшивших или восстановивших свою производительность труда, невозможно. Оценка влияния инвестиций в ЧК в сфере здравоохранения на динамику основных показателей в этой сфере экономики показывает, что зачастую в эконометрических расчетах оказывается значимым инвестиционный лаг в один год. Важно также учесть, что значительная часть расходов на здравоохранение приходится на неработающих пенсионеров, которые

не формируют ввод в действие нового ЧК. Чтобы учесть эти расходы в модели, среднедушевые государственные и частные расходы на здравоохранение в каждом году умножаются на численность неработающих пенсионеров.

Таким образом, будем считать вводом в действие ЧК в году t, сформированным за счет расходов на здравоохранение, весь объем расходов на здравоохранение предыдущего года за вычетом расходов на неработающих пенсионеров.

Общий ввод человеческого капитала определяется по формуле:

$$BH(t) = BHe(t) + IHh(t-1) + IHc(t), \qquad (3.3.7)$$

где: BH(t) — ввод ЧК, IHh(t-1) — расходы на здравоохранение предыдущего года за вычетом расходов на неработающих пенсионеров, IHc(t) — расходы на культуру текущего года.

Для распределения ЧК, накопленного по отраслям, использовалась статистика численности занятых, имеющих определенный уровень образования. Согласно данным Росстата, распределение занятого населения по видам экономической деятельности в последние годы меняется незначительно. В расчетах были использованы доли занятых по видам экономической деятельности с различным уровнем образования в 2019 г.

Человеческий капитал, сформированный за счет расходов на образование, был разделен по уровням образования в соответствии с аналогичной структурой ввода. Далее был рассчитан объем ЧК, накопленного за счет инвестиций в высшее образование, в расчете на одного занятого, имеющего высшее образование (в целом по экономике), ЧК, накопленный за счет расходов на СПО, в расчете на одного занятого, имеющего СПО, а также оставшийся объем ЧК в расчете на одного занятого, имеющего среднее образование.

Человеческий капитал, накопленный за счет расходов на здравоохранение и культуру, был разделен на три части; его доли соответствуют структуре ввода в действие ЧК, сформированного за счет расходов на образование. Каждая из выделенных частей ЧК была поделена на численность занятых в экономике, имеющих соответствующий уровень образования. Полученный объем человеческого капитала в расчете на одного занятого с соответствующим уровнем образования показан в табл. 3.3.1.

Таблииа 3.3.1 Удельный объем человеческого капитала на одного занятого

с соответствующим уровнем образования, млн. руб.

	Занятые			
Показатель	с высшим образова- нием	со средним профессиональным образованием	со средним образованием и без образования	
ЧК, сформированный за счет				
расходов: на образование	1,75	0,49	0,11	
на здравоохранение и культуру	1,87	0,52	0,11	

Источник: расчет авторов.

Для каждого вида экономической деятельности численность занятых, имеющих определенный уровень образования, умножается на соответствующий удельный объем человеческого капитала. Суммирование объемов ЧК, рассчитанных по каждому уровню образования, дает показатели накопленного человеческого капитала по видам экономической деятельности.

Для встраивания блока человеческого капитала в динамическую межотраслевую модель необходимо уравнение, связывающее показатели производительности труда и человеческого капитала. Для этого используется регрессионное уравнение, где в качестве зависимой переменной рассматривается темп роста производительности труда в экономике России, а в качестве объясняющих - темпы роста инвестиций в основной и человеческий капитал. В модели обе объясняющие переменные оказались статистически значимыми.

Зависимость между темпом роста производительности труда и темпами роста инвестиций в основной капитал и инвестиций в человеческий капитал может быть описана следующим уравнением:

$$p = 54.5 + 0.098 \cdot ih + 0.365 \cdot ik \,, \tag{3.3.8}$$

где p — темп роста производительности труда, ik — темп роста инвестиций в основной капитал, ih – темп роста инвестиций в человеческий капитал. На основе этого уравнения высчитывается изменение коэффициентов трудоемкости, используемых в модели.

Кроме вышеперечисленных уравнений в модель добавляется дополнительное ограничение по человеческому капиталу вида:

$$\sum_{j=1}^{n} h_{ij}(t) \cdot x_{j}(t) \le HC_{i}(t), i = k+1, ..., \tilde{l};$$

$$j = 1, ..., n,$$
(3.3.9)

где  $h_{ij}(t)$  — коэффициенты фондоемкости валового выпуска по отрасли j по человеческому капиталу вида i (в соответствии с видом инвестиций, лежащих в его основе),  $x_j(t)$  — произведенный валовой выпуск отрасли j в период t;  $HC_{ij}(t)$  — величина человеческого капитала вида i в j-й отрасли на конец года t.

С учетом вышеописанных уравнений и ограничений базовой динамической межотраслевой модели и ограничений (3.3.1) — (3.3.9) формируется оптимизационная задача, аналогичная задаче из базовой динамической межотраслевой модели:

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{j=1}^{n} f_j(t) x_j(t) \Rightarrow max, x \in \Omega$$

где  $f_j(t)$  — взвешивающие коэффициенты продукции j-й отрасли в целевом функционале экономической системы.

# 3.4. Динамические мультипликативные эффекты инвестиций в межотраслевой модели

Динамические мультипликативные эффекты, связанные с осуществлением различных затрат в экономике, в рамках межотраслевой модели были впервые описаны В. Леонтьевым в его работе «Динамическая обратная матрица» [28]. Динамические межотраслевые модели развиваются в разных направлениях (см. выше). Однако, по нашему мнению, должное внимание не уделяется оценке динамических мультипликативных эффектов от инвестиций, увязанных с формированием вводов в действие основных фондов с учетом распределенных во времени временных лагов. В связи с этим в рамках данной работы авторы поставили перед собой цель — теоретически описать

динамические мультипликативные эффекты, возникающие в связи с инвестициями в основной капитал, с учетом распределенных во времени инвестиционных лагов в рамках ДММ, в которой эти лаги в явном виде учтены.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

- 1. Проанализировать исследования отечественных и зарубежных авторов по определению с использованием межотраслевых моделей мультипликативных эффектов, связанных с увеличением различных расходов, в том числе государственных, в экономике.
- 2. Разработать формулы расчета динамических мультипликаторов в рамках динамической межотраслевой модели, учитывающей инвестиционные лаги.
- 3. Разработать схемы действия динамических мультипликативных эффектов в экономике с учетом межотраслевых связей.

Опишем в математической форме влияние инвестиций в основной капитал, осуществленных в фиксированном году  $t_0$ , на инвестиции в последующие годы, а также на динамику производства в фондосоздающих, нефондосоздающих отраслях и во втором подразделении национальной экономики в той мере, в какой она находится под влиянием инвестиционного импульса года  $t_0$ . Описание прироста производства во всех трех типах отраслей национальной экономики (фондосоздающих, нефондосоздающих отраслях и во втором подразделении) позволяет вычислить инвестиционные мультипликаторы для периода, определяемого длительностью инвестиционного лага. Следовательно, приведенное ниже описание дает характеристику динамического мультипликативного процесса, возникающего в результате инвестиций в основной капитал в определенном году.

В приводимом ниже описании динамического мультипликативного процесса не отображена часть мультипликативного процесса, связанная с дополнительным поступлением налогов в бюджет, обусловленным увеличением объемов производства, связанным с инвестициями.

# 3.4.1. Математическое описание действия динамического мультипликатора инвестиционных расходов в ДММ-КАМИН

Введем необходимые обозначения:

 $i=1,...,k_-$  фондосоздающие отрасли (І подразделение, производство средств труда);

 $i=k+1,...,m_-$  не фондосоздающие (сырьевые) отрасли (І подразделение, производство предметов труда и промежуточных услуг);

 $i=m+1,...,n_-$  отрасли II подразделения — производство предметов потребления и услуг, формирующих конечное потребление домашних хозяйств;

$$t = 1,...,T$$
 – период времени;

 $heta_{ij}$  – величина инвестиционного лага для инвестиций вида i в отрасли j.

 $\Delta x_i^{fs}(t)$  – прирост произведенного валового выпуска фондосоздающей отрасли i в момент времени t, (i = 1,...,k);

 $\Delta x_i^{nf}(t)$  — прирост произведенного валового выпуска не фондосоздающей отрасли i в момент времени t (i=k+1,...,m);

 $\Delta x_i^{II}(t)$  – прирост произведенного валового выпуска отрасли II подразделения i в момент времени t (i=m+1,...,n);

 $\Delta x_{ij}(t+l;t+ au)$  – прирост произведенного валового выпуска фондосоздающей отрасли i в момент времени t+l, обеспечивающий материально-вещественное наполнение инвестиций j-го вида, формирующих ввод в действие основного капитала в отрасли j в момент времени t+ au;

 $\Delta {
m Im}_{ij}(t+l;t+ au)_-$  прирост импорта продукции фондосоздающей отрасли i в момент времени t+l, обеспечивающий материально-вещественное наполнение инвестиций j-го вида, формирующих ввод в действие основного капитала в отрасли j в момент времени t+ au;

- $\Delta x(t)$  прирост суммарного валового выпуска в национальной экономике за весь прогнозный период, обусловленный инвестициями года t;
- $\hat{K}_{ij}(t_0)_-$  общий объем инвестиций в основной капитал вида i в отрасли j в периоды от 0 до  $\theta_{ij}-1$ , связанный с инвестициями в момент времени  $t_0$ ;
- $\hat{K}(t)$  общий объем инвестиций в основной капитал в национальной экономике в периоды от 1 до  $\theta_{ij}$ , связанных с инвестициями в момент времени t;
- $K_{ij}(t+l;t+ au)$  инвестиции вида i в отрасли j в году t+l, направленные в объекты, которые будут введены в действие в момент времени t+ au;
- $\mathcal{C}_{fs}$  прибыль и заработная плата, используемая на обеспечение потребления домашних хозяйств работников и собственников бизнеса в фондосоздающих отраслях как доля суммарного прироста валового выпуска фондосоздающих отраслей;
- $\mathcal{C}_{nf}$  прибыль и заработная плата, используемая на обеспечение потребления домашних хозяйств работников и собственников бизнеса в нефондосоздающих отраслях как доля суммарного прироста валового выпуска нефондосоздающих отраслей;
- $\mathcal{C}_H$  прибыль и заработная плата, используемая на обеспечение потребления домашних хозяйств работников и собственников бизнеса в отраслях II подразделения как доля суммарного прироста валового выпуска отраслей II-го подразделения;
- $m^{fs}(t)$  мультипликатор в фондосоздающих отраслях в момент времени t;
- $m^{nf}\left(t
  ight)$  мультипликатор в не фондосоздающих отраслях в момент времени t;
- $m^{II}(t)$  мультипликатор в отраслях II подразделения в момент времени t;

m(t) – суммарный мультипликатор во всех трёх типах отраслей экономики в момент времени t.

Уравнение, характеризующее суммарные инвестиции и суммарный прирост продукции фондосоздающих отраслей, связанные с инвестициями вида i в период  $t_0$  в отрасли j:

$$\hat{K}_{ij}(t_0) = \sum_{l=0}^{\theta_j-1} \sum_{\tau=l}^{\theta_j-1} K_{ij}(t_0+l;t_0+\tau) = \sum_{l=0}^{\theta_j-1} \sum_{\tau=l}^{\theta_j-1} \Delta x_{ij}(t_0+l;t_0+\tau) + \sum_{l=0}^{\theta_j-1} \sum_{\tau=l}^{\theta_j-1} \Delta \operatorname{Im}_{ij}(t_0+l;t_0+\tau), \ (j=\overline{1;n},i=\overline{1;k})$$
(3.4.1)

Предполагается, что затраты на инвестиции в основной капитал направляются на приобретение продукции фондосоздающих отраслей машиностроения и строительства, произведенной в данной стране, а также на приобретение импортной продукции, которая не оказывает влияние на формирование мультипликативного эффекта от инвестиций в данной стране. В данных уравнениях мы абстрагируемся от не фондообразующей части инвестиций в основной капитал, например, списаний инвестиций.

Уравнение общего объема инвестиций в основной капитал всех видов в национальной экономике, связанных с инвестициями в году  $t_0$ :

$$\hat{K}(t_0) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \hat{K}_{ij}(t_0)$$
(3.4.2)

Уравнение прироста суммарного выпуска фондосоздающей отрасли i, связанного с инвестициями данного вида во всех отраслях национальной экономики:

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{l=0}^{\theta_{ij}-1} \sum_{\tau=l}^{\theta_{ij}-1} \Delta x_{ij} \left( t_0 + l; t_0 + \tau \right) = \Delta \chi_i^{fs} (t_0), \ (i = \overline{1;k})$$
 (3.4.3)

Уравнение прироста суммарного выпуска всех фондосоздающих отраслей, связанного с инвестициями во всех отраслях национальной экономики в году  $t_0$  за весь прогнозный период:

$$\sum_{i=1}^{k} \Delta x_i^{fs}(t_0) = \Delta x^{fs}(t_0)$$
(3.4.4)

Уравнение прироста выпуска не фондосоздающей отрасли j, связанного с приростом выпуска фондосоздающей отрасли i, обусловленного инвестициями соответствующего вида в году  $t_0$ :

$$\Delta x_{ij}^{nf}(t_0) = \sum_{l=0}^{\theta_0 - 1} \sum_{\tau = l}^{\theta_0 - 1} a_{ij}(t_0 + l) \times \Delta x_i(t_0 + l; t_0 + \tau), \ (j = \overline{m + 1; n}, \ i = \overline{1; k}, \ t = \overline{1, T})$$
(3.4.5)

Уравнение общего прироста выпуска продукции нефондосоздающих отраслей, связанного с инвестициями в году  $t_0$  за весь прогнозный период:

$$\Delta x^{nf}(t_0) = \sum_{j=k+1}^{m} \sum_{i=1}^{k} \Delta x_{ij}^{nf}(t_0)$$
(3.4.6)

Уравнение прироста суммарного выпуска отраслей II подразделения:

$$\Delta x^{II}(t_0) = c_{fs} \times \Delta x^{fs}(t_0) + c_{nf} \times \Delta x^{nf}(t_0) + c_{II} \times \Delta x^{II}(t_0)$$
(3.4.7)

Уравнение прироста суммарного валового выпуска, связанного с инвестициями года  $t_0$  за весь прогнозный период:

$$\Delta x(t_0) = \Delta x^{fs}(t_0) + \Delta x^{nf}(t_0) + \Delta x^{II}(t_0)$$
 (3.4.8)

Мультипликатор валового выпуска фондосоздающих отраслей, связанный с суммарными инвестициями в основной капитал во всех отраслях национальной экономики в году  $t_0$ :

$$m^{fs}(t_0) = \frac{\Delta x^{fs}(t_0)}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{k} \sum_{\tau=0}^{\theta_{ij}} K_{ij}(t_0, t_0 + \tau)}$$
(3.4.9)

Мультипликатор валового выпуска нефондосоздающих отраслей, связанный с суммарными инвестициями в основной капитал во всех отраслях национальной экономики в году  $t_0$ :

$$m^{nf}(t_0) = \frac{\Delta x^{nf}(t_0)}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{k} \sum_{\tau=0}^{\theta_{ij}} K_{ij}(t_0, t_0 + \tau)}$$
(3.4.10)

Мультипликатор валового выпуска отраслей II подразделения, связанный с суммарными инвестициями в основной капитал во всех отраслях национальной экономики в году  $t_0$ :

$$m^{II}(t_0) = \frac{\Delta x^{II}(t_0)}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{k} \sum_{\tau=0}^{\theta_{ij}} K_{ij}(t_0, t_0 + \tau)}$$
(3.4.11)

Суммарный мультипликатор, связанный с суммарными инвестициями в основной капитал во всех отраслях национальной экономики в году  $t_0$ :

$$m(t_0) = \frac{\Delta x(t_0)}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{k} \sum_{\tau=0}^{\theta_{ij}} K_{ij}(t_0, t_0 + \tau)}$$
(3.4.12)

Описанные в уравнениях (3.4.1)–(3.4.12) мультипликативные эффекты отображаются в расчетах по ДММ-КАМИН (описание последней версии модели см. выше раздел 3.1). По результатам этих расчетов могут быть определены соответствующие мультипликаторы.

# 3.4.2. Схема распределения во времени инвестиций и формирования вводов в действие основных фондов

В схеме описан процесс того, как инвестиции в основные фонды в момент времени от t+0 оказывают влияние на вводы в действие основных фондов в этом же периоде и в последующие моменты времени. Схема отражает также то обстоятельство, что инвестиции в момент t+0 порождают инвестиции в последующие моменты времени, связанные с необходимостью продолжения и завершения сооружения объектов, строительство которых начато в году t+0.

На схеме показано, какие инвестиции в основные фонды связаны с продолжением и окончанием строительства ранее начатых объектов, а какие инвестиции в основные фонды связаны с началом строительства новых основных фондов в каждый момент времени, с учетом лагов строительства.

На основе схемы «Распределения инвестиций и вводов в действие основных производственных фондов» можно определить, за счет каких инвестиций в основные производственные фонды формируются вводы в действие основных производственных фондов в каждый момент времени. Например, вводы в действие основных производственных фондов в момент времени t+0 сформированы только за счет инвестиций в основные производственные фонды в момент времени t+0 с лагом строительства 0 лет, а вводы в действие основных производственных фондов в момент времени  $t+\theta_{ij}-1$  сформированы за счет инвестиций в основные производственные фонды в момент времени от t+0 до  $t+\theta_{ij}-1$  с лагом строительства  $\theta_{ij}-1$  лет.

Все обозначения, используемые для описания данной схемы, описаны в разделе 3.1.

Для простоты были рассмотрены основные производственные фонды со строительным лагом от 0, 1,  $\theta_{ij}-2$  и  $\theta_{ij}-1$ , т.е. вводы основных производственных фондов и инвестиции представлены только в моменты времени t+0, t+1, ...,  $t+\theta_{ij}-2$  и  $t+\theta_{ij}-1$  (рис. 3.4.1).

ΔB <sub>ij</sub> (t+0)	$K_{ij}(t+0;t+0)$ начало и завершение строительства				
ΔB <sub>ij</sub> (t+1)	$K_{ij}(t{+}0;t{+}1)$ начало строительства	$K_{ij}(t+1;t+1)$ завершение строительства			
			::		
$\Delta B_{ij}(t{+}\theta_{ij}{-}2)$	$K_{ij}(t+0;t+ heta_{ij}-2)$ начало строительства	$K_{ij}(t+1;t+ heta_{ij}-2)$ продолжение строительства		$K_{ij}(t+\theta_{ij}-2;t+\theta_{ij}-2)$ завершение строительства	
$\Delta B_{ij}(t{+}\theta_{ij}{-}1)$	$K_{ij}(t+0;t+ heta_{ij}-1)$ начало строительства	$K_{ij}(t+1;t+\theta_{ij}-1)$ продолжение строительства		$K_{ij}(t+\theta_{ij}-2;t+\theta_{ij}-1)$ продолжение строительства	$K_{ij}(t+\theta_{ij}-1;t+\theta_{ij}-1)$ завершение строительства
	K^ <sub>ij</sub> (t+0)	$\mathrm{K}^{\wedge}_{ij}(t+1)$		$K^{\wedge}_{ij}(t+\theta_{ij}-2)$	$K^{\wedge}_{ij}(t\!+\!\theta_{ij}\text{-}1)$

Puc. 3.4.1. Схема «Взаимосвязь инвестиций и вводов в действие основных фондов»

По горизонтали выделены вводы основных фондов:  $\Delta B_{ij}(t+0), \ \Delta B_{ij}(t+1), \ \Delta B_{ij}(t+\theta_{ij}-2), \ \Delta B_{ij}(t+\theta_{ij}-1)$ . По вертикали выделены инвестиции в основные фонды:  $\hat{K}_{ij}(t+0), \ \hat{K}_{ij}(t+1), \ \hat{K}_{ij}(t+\theta_{ij}-2), \ \hat{K}_{ij}(t+\theta_{ij}-1)$ .

На пересечении  $\Delta B_{ij}(t+0)$  и  $\hat{K}_{ij}(t+0)$  представлена часть инвестиций момента времени t+0 ( $K_{ij}(t+0;t+0)$ ), которая увеличит вводы основных фондов в момент времени t+0, т.е. лаг строительства данных вложений составит 0 лет. На пересечении  $\Delta B_{ij}(t+1)$  и  $\hat{K}_{ij}(t+0)$  представлена часть инвестиций момента времени t+0, которая увеличит вводы основных фондов в момент времени t+1 ( $K_{ij}(t+0;t+1)$ ), т.е. лаг строительства данных вложений составит 1 год, и для завершения начатого строительства потребуются инвестиции в момент времени t+1. На пересечении  $\Delta B_{ij}(t+\theta_{ij}-2)$  и  $\hat{K}_{ij}(t+0)$  представлена часть инвестиций момента времени t+1 ( $K_{ij}(t+0;t+\theta_{ij}-2)$ ), которая

увеличит вводы основных фондов в момент времени  $t+\theta_{ij}-2$ , т.е. лаг строительства данных вложений составит  $\theta_{ij}-2$  лет, и для продолжения начатого строительства потребуются инвестиции в моменты времени от t+1 до  $t+\theta_{ij}-2$ . На пересечении  $\Delta B_{ij}(t+\theta_{ij}-1)$  и  $\hat{K}_{ij}(t+0)$  представлена часть инвестиций года t+0 ( $K_{ij}(t+0;t+\theta_{ij}-1)$ ), которая увеличит вводы основных фондов в момент времени  $t+\theta_{ij}-1$ , т.е. лаг строительства данных вложений составит  $\theta_{ij}-1$  лет, и для продолжения начатого строительства потребуются инвестиции в моменты времени от t+1 до  $t+\theta_{ij}-1$ .

На пересечении  $\Delta B_{ij}(t+1)$  и  $\hat{K}_{ij}(t+1)$  представлена часть инвестиций момента времени t+1 ( $K_{ij}(t+1;t+1)$ ), которая увеличит вводы основных фондов в момент времени t+1. Часть инвестиций из этого пересечения направляется на завершение строительства основных фондов, начатых в момент времени t+0 с лагом строительства 1 год, а часть инвестиций из этого пересечения направляется на строительство основных фондов, лаг строительства которых составляет 0 лет, т.е. эти инвестиции будут введены в момент времени t+1.

На пересечении  $\Delta B_{ij}(t+\theta_{ij}-2)$  и  $\hat{K}_{ij}(t+1)$  представлена часть инвестиций момента времени t+1 ( $K_{ij}(t+1;t+\theta_{ij}-2)$ ), которая увеличит вводы основных фондов в момент времени  $t+\theta_{ij}-2$ . Часть инвестиций из этого пересечения направляется на продолжение строительства основных фондов, начатых в моменты времени ранее момент времени t+0 с лагом строительства  $\theta_{ij}-2$ , часть инвестиций из этого пересечения направляется на начало строительства основных фондов, которые будут введены в действие в момент времени  $t+\theta_{ij}-2$ .

На пересечении  $\Delta B_{ij}(t+\theta_{ij}-1)$  и  $\hat{K}_{ij}(t+1)$  представлена часть инвестиций момента времени t+1 ( $K_{ij}(t+1;t+\theta_{ij}-1)$ ), которая увеличит вводы основных фондов в момент времени  $t+\theta_{ij}-1$ . Часть инвестиций из этого пересечения направляется на продолжение строительства основных фондов, начатых в мо-

мент времени t+0 с лагом строительства  $\theta_{ij}-1$  лет, часть инвестиций из этого пересечения направляется на начало строительства основных фондов, которые будут введены в действие в момент времени  $t+\theta_{ij}-1$ .

На пересечении  $\Delta B_{ii}(t+\theta_{ii}-2)$  и  $\hat{K}_{ii}(t+\theta_{ii}-2)$  представлена инвестиций момента времени  $(K_{ii}(t+\theta_{ii}-2;t+\theta_{ii}-2)),$  которая увеличит вводы основных фондов в момент времени  $t + \theta_{ij} - 2$ , все эти инвестиции будут направлены на заверение строительства основных фондов, начатых в момент времени от t+0 до  $t+\theta_{ij}-2$  На пересечении  $\Delta B_{ii}(t+ heta_{ii}-1)$  и  $\hat{K}_{ij}(t+ heta_{ij}-2)$  представлена часть инвестиций момента времени  $t+\theta_{ij}-2$  (  $K_{ij}(t+\theta_{ij}-2;t+\theta_{ij}-1)$  ), которая увеличит вводы основных фондов в момент времени  $t + \theta_{ij} - 1$ . Часть инвестиций из этого пересечения направляется на продолжение строительства основных фондов, начатых в моменты времени от t+0 до  $t+\theta_{ij}-3$  с соответствующем лагом строительства. Часть инвестиций из этого пересечения направляется на начало строительство основных фондов, начатых в момент времени  $t + \theta_{ij} - 2$  с лагом строительства 1 год.

На пересечении  $\Delta B_{ij}(t+\theta_{ij}-1)$  и  $\hat{K}_{ij}(t+\theta_{ij}-1)$  представлены все инвестиции момента времени  $t+\theta_{ij}-1$  ( $K_{ij}(t+\theta_{ij}-1;t+\theta_{ij}-1)$ ), которые увеличат вводы основных производственных фондов в момент времени  $t+\theta_{ij}-1$ . Часть инвестиций из этого пересечения направляется на завершение строительства основных фондов, начатых в моменты времени от t+0 до  $t+\theta_{ij}-2$  с соответствующем лагом строительства. Часть инвестиций из этого пересечения направляется на строительство основных фондов, начатых в момент времени  $t+\theta_{ij}-1$  с лагом строительства 0 лет.

Ключевым результатом рассмотрения данной схемы является разграничение и определение — из инвестиций каких лет были сформированы вводы основных фондов соответствующего года.

# 3.4.3. Схематическое описание формирования мультипликативных эффектов от инвестиций в основной капитал в экономике в рамках динамической межотраслевой модели

Схематическое представление формирования мультипликативных эффектов представляет собой описание механизма распространения динамического мультипликативного эффекта в экономике, возникающего в результате инвестиций в основной капитал

При составлении приведенной ниже схемы приняты следующие упрощения:

- 1. Приросты запасов, потери, экспорт и импорт остаются не-изменными.
- 2. В данных схемах прирост вводов основных фондов формируется только за счет инвестиций в основной капитал. Прирост иных инвестиционных вложений (затрат на объекты интеллектуальной собственности, прочие инвестиции и затраты) не рассматривается.
- 3. Аналогичное упрощение (см. пункт 2) используется при описании механизма формирования прироста стоимости основных фондов и незавершенного строительства.

В данной схеме рассмотрено экзогенное увеличение инвестиций в трех типах отраслей, которые оказывают мультипликативный эффект на элементы ДММ. Схема состоит из четырех составных частей:

- схема распространения мультипликативного эффекта в экономике за счет роста инвестиций в фондосоздающую отрасль в ДММ;
- схема распространения мультипликативного эффекта в экономике за счет роста инвестиций в не фондосоздающую отрасль (отрасли, производящие сырье, материалы, полуфабрикаты и т.д.) в ДММ;
- схема распространения мультипликативного эффекта в экономике за счет роста инвестиций в отрасль ІІ подразделения (отрасли, производящие предметы потребления и услуги, формирующие конечное потребления домашних хозяйств) в ДММ;

схема оценки общего мультипликативного эффекта в экономике от реализации инвестиций одновременно в фондосоздающую, не фондосоздающую отрасль и отрасль II подразделения в ДММ.

Важно отметить, что инвестиции в схеме оказывают поэлементное влияние на составляющие части валового выпуска, которые описываются в рамках ДММ-КАМИН в разные моменты времени, приводящие к изменению объемов производства в отраслях — как в текущий момент времени, так и в последующие периоды времени. Соотношение изменения произведенного валового выпуска в отрасли к приросту инвестиций мы называем мультипликатором. Его значение меняется во времени. Иначе говоря, в приведенных ниже схемах и системе уравнений описывается динамический мультипликативный эффект, связанный с увеличением инвестиций в основной капитал в различных типах отраслей национальной экономики.

Описание схемы распространения мультипликативного эффекта в экономике за счет роста инвестиций в фондосоздающую отрасль в динамической межотраслевой модели 1

На первом этапе осуществляются инвестиции вида i фондосоздающей отрасли j за весь период прогнозирования модели, которые представляют собой сумму инвестиций ( $\widehat{K}_{ij}(t)$ ) вида i фондосоздающей отрасли j в моменты времени от t до  $t+\theta_{ij}-1$  со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-1$ , которые будут вводиться в действие в составе основных производственных фондов в моменты времени от t до  $t+\theta_{ij}-1$  (блок 1), в динамической межотраслевой модели (ДММ). Блок 1 по смыслу является экзогенным увеличением показателя инвестиций в модели, что является отправной точкой распространения мультипликативного эффекта в ДММ (рис. 3.4.2.). Этот блок содержит две важные составные части:

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Авторами разработаны также схемы распространения мультипликативного эффекта в экономике за счет роста инвестиций в нефондосоздающую отрасль и отрасль, производящую потребительские товары и услуги, в динамической межотраслевой модели. В силу ограниченности объема публикации эти схемы и их описание в статье не приводятся.

- 1) инвестиционные вложения вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 2), т.е. инвестиционные вложения, направленные в этом же году  $(\sum_{i=1}^{\theta_{g-1}} K_{ij}(t+0;t+\tau));$
- 2) сумму инвестиционных вложений вида i фондосоздающей отрасли j с момента времени t+1 (  $\sum_{t=1}^{\theta_{ij}-1} K_{ij}(t+1;t+\tau)$ ) до момента времени  $t+\theta_{ij}-1$  (  $K_{ij}(t+\theta_{ij}-1;t+\theta_{ij}-1)$ ) (блок 3), т.е. эти инвестиционные вложения должны быть сделаны в будущих периодах, и в момент начала реализации инвестиционных вложений (в момент времени t) нужно понимать, что эти вложения потребуются и окажут прямое влияние на экономику в будущем это увеличение инвестиционных вложений от момента времени t+1 до момента времени  $t+\theta_{ij}-1$  для продолжения и завершения строительства основных производственных фондов.

Далее инвестиционные вложения  $(\sum_{\tau=0}^{v_{ij}-1}K_{ij}(t+0;t+\tau))$  вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 2) влияют на произведенный выпуск  $(x_i(t))$  фондосоздающей отрасли i в момент времени t (блок 4). Произведенный выпуск включает в себя инвестиции, которые будут участвовать во вводах от момента времени t ( $K_{ij}(t+0;t+0)$ ) до момента времени  $t+\theta_{ij}-1$  ( $K_{ij}(t+0;t+\theta_{ij}-1)$ ).

Произведенный выпуск  $(x_i(t))$  фондосоздающей отрасли i в году t (блок 4) влияет на инвестиции  $(\sum_{r=0}^{\theta_j-1} K_{ij}(t+0;t+\tau))$  вида i в фондосоздающую отрасль j в момент времени t со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 6), так как произведенный валовой выпуск фондосоздающей отрасли (наряду с импортом) является материально-вещественным наполнением инвестиций. По сути, инвестиционные вложения (блок 2) и инвестиции (блок 6) являются одной и той же величиной, но инвестиции осуществляются в фондосоздающей отрасли j, а материальновещественное наполнение инвестиций формируется в фондосоздающей отрасли i.

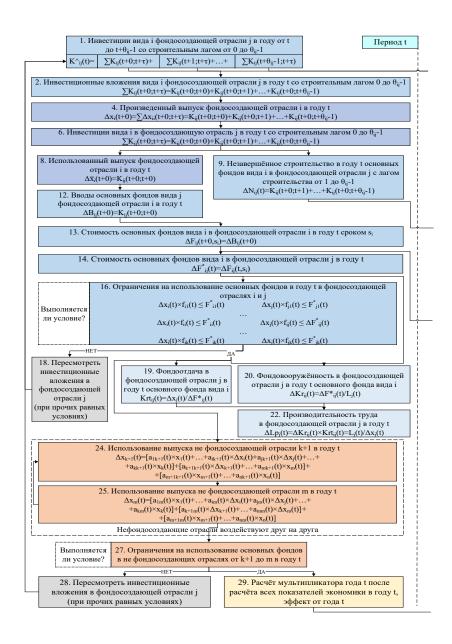
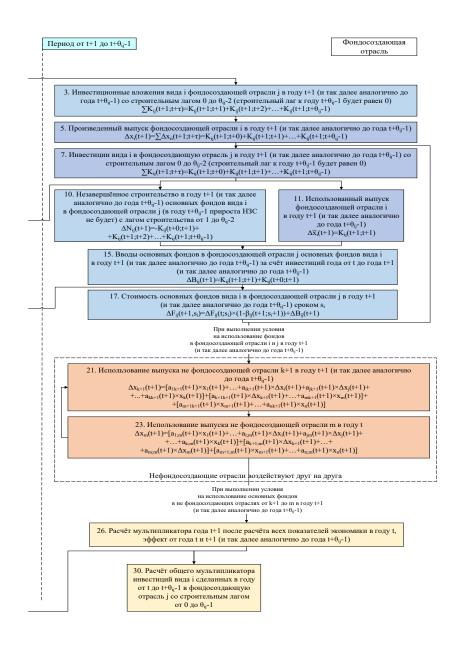


Рис. 3.4.2. Схема динамического мультипликативного эффекта



от инвестиций в основной капитал в фондосоздающей отрасли

Нвестиции  $(\sum_{\tau=0}^{e_0-1} K_{ij}(t+0;t+\tau))$  вида i в фондосоздающую отрасль j в момент времени t со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 6) оказывают свое влияние на два показателя:

- 1) на использованный выпуск  $(\overline{x_i}(t+0))$  фондосоздающей отрасли i в момент времени t (блок 8), на использованный выпуск влияют только инвестиции, лаг строительства которых равен 0;
- 2) на незавершенное строительство  $(N_{ij}(t))$  в момент времени t основных фондов вида i в фондосоздающей отрасли j с лагом строительства от 1 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 9) что является приростом незавершенного строительства только за счет инвестиций, описанных в данной схеме.

Незавершенное строительство  $(N_{ij}(t))$  в момент времени t основных фондов вида i в фондосоздающей отрасли j с лагом строительства от 1 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 9) оказывает влияние только на показатели следующих периодов от момента времени t+1 до момента времени  $t+\theta_{ij}-1$ : незавершенного строительства  $(N_{ij}(t+1))$  в момент времени t+1, (и так далее аналогично  $(N_{ij}(t+\theta_{ij}-1))$  до момента времени  $t+\theta_{ij}-1$ ) основных фондов вида i в фондосоздающей отрасли j.

Использованный выпуск  $(\overline{x_i}(t))$  фондосоздающей отрасли i в момент времени t (блок 8) влияет на вводы основных фондов  $(B_{ij}(t))$  вида i в фондосоздающей отрасли j в момент времени t (блок 12), прирост которых формируется только за счет инвестиций момента времени t, описанных в данной схеме.

Вводы основных фондов ( $B_{ij}(t)$ ) вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t (блок 12) увеличивают стоимость основных фондов ( $F_{ij}(t;s_i)$ ) вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t с максимальным сроком службы  $s_i$  (блок 13).

Стоимость основных фондов  $(F_{ij}(t;s_i))$  вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t со сроком эксплуатации  $s_i$  (блок 13) оказывает влияние на два показателя:

- 1) на стоимость основных фондов  $(F_{ij}^*(t))$  вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t (блок 14);
- 2) на стоимость основных фондов  $(F_{ij}(t+1;s_i))$  вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t+1 со сроком эксплуатации  $s_i$  (блок 17).

Стоимость основных фондов  $(F_{ij}^*(t))$  вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t (блок 14) влияет на показатели:

- $\Diamond$  ограничения на использование основных фондов в момент времени t в фондосоздающих отраслях i и j (блок 16);
- $\Diamond$  фондовооруженности ( $Kr_{ij}(t)$ ) в фондосоздающей отрасли j в момент времени t основного производственного фонда вида i (блок 20);
- $\Diamond$  фондооотдачи ( $Krt_{ij}(t)$ ) в фондосоздающей отрасли j в момент времени t основного производственного фонда вида i (блок 19) остается неизменной, так как фондоотдача является обратно пропорциональной величине фондоемкости, которая остается неизменной и участвует в проверке ограничений на использование основных фондов в году t в фондосоздающей отраслей i и j (блок 16). По сути, в этом самом месте и создается дополнительный произведенный выпуск фондосоздающей отрасли j в году t.

При проверке ограничений на использование основных фондов в момент времени t в фондосоздающих отраслях i и j (блок 16) ставится вопрос: «Выполняется ли условие?». Если «нет» (условие не выполняется), тогда требуется пересмотреть инвестиции в фондосоздающей отрасли j (при прочих равных условиях) (блок 18), и как следствие — инвестиции ( $\hat{K}_{ij}(t)$ ) вида i фондосоздающей отрасли j в моменты времени от t до  $t+\theta_{ij}-1$  со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 1). Если «да» (условие выполняется), тогда можно оценить влияние процесса, описанного ранее, на использование выпуска ( $x_{k+1}(t), x_m(t)$ ) не фондосоздающих отраслей k+1 и m в момент времени t (блок 24 и 25 соответственно). Стоит отметить, что на схеме пунктирной линией изображен блок не фондосоздающих отраслей и их воздействие друг на друга. В данном случае речь идет не только о не фондосоздающих отраслях k+1 и m в момент времени t, но и об остальных не фондосоз-

дающих отраслях (k+1,...,m). Они также воздействуют друг на друга (на не фондосоздающие отрасли) через технологические коэффициенты прямых материальных затрат. Отрасли k+1 и m изображены в качестве иллюстративного примера.

На фондоотдачу ( $Krt_{ij}(t)$ ) в фондосоздающей отрасли j в момент времени t основного фонда вида i (блок 19) влияет, помимо стоимости основных фондов ( $F_{ij}^*(t)$ ) вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t (блок 14), ограничения на использование основных фондов в момент времени t в фондосоздающей отрасли j (блок 16). Учитывая то обстоятельство, что целевую функцию будут максимизировать и произведенный выпуск будет с положительным знаком входить в целевую функцию, можно предположить, что ограничения будут выполняться, как равенства. Следовательно, зная прирост стоимости основных фондов и коэффициент фондоемкости, можно рассчитать прирост произведенного выпуска в фондосоздающей отрасли j.

На производительность труда ( $Lp_j(t)$ ) в фондосоздающей отрасли j в момент времени t (блок 22) повлияли фондооотдача ( $Krt_{ij}(t)$ ) в фондосоздающей отрасли j в момент времени t основного производственного фонда вида i (блок 19), но она остается неизменной, а также фондовооруженность ( $Kr_{ij}(t)$ ) в фондосоздающей отрасли j в момент времени t основного производственного фонда вида i (блок 20).

После использования выпуска не фондосоздающих отраслей k+1 и m в момент времени t (блок 24 и 25 соответственно) производится проверка ограничений на использование основных фондов в не фондосоздающих отраслях от k+1 до отрасли m в момент времени t (блок 27). Аналогично блоку 16 в блоке 27 ставится вопрос: «Выполняется ли условие?». Если «нет» (условие не выполняется), тогда требуется пересмотреть инвестиции в фондосоздающей отрасли j (при прочих равных условиях) (блок 28), и как следствие — инвестиции вида i фондосоздающей отрасли j в моменты времени от t до  $t+\theta_{ij}-1$  со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 1). Если «да» (условие выполняется), тогда можно приступить к оценке мультипликатора момента времени t после расчета всех показателей экономики в момент времени t после расчета всех показателей экономики в момент времени t

мени t, таким образом будет оценен эффект только от момента времени t (блок 29).

Рассуждения, описывающие взаимосвязь экономических показателей для момента времени t+1, будут аналогичны для всех последующих моментов времени до момента времени  $t+\theta_{ij}-1$ . В момент времени  $t+\theta_{ij}-1$  строительный лаг будет равен 0.

Показатель инвестиционные вложения  $(\sum_{\tau=1}^{\theta_g-1} K_{ij}(t+1;t+\tau))$  вида j фондосоздающей отрасли i в момент времени t+1 со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-2$  (блок 3), сформированный за счет показателя инвестиции  $(\hat{K}_{ij}(t))$  вида i фондосоздающей отрасли j в моменты времени от t до  $t+\theta_{ij}-1$  со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 1).

Показатель «инвестиционные вложения»  $(\sum_{t=1}^{\theta_{y}-1}K_{ij}(t+1;t+\tau))$  вида i фондосоздающей отрасли i в момент времени t+1 со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-2$  (блок 3) окажет влияние на произведенный выпуск  $(x_i(t+1))$  фондосоздающей отрасли i в момент времени t+1 (блок 5).

Произведенный выпуск  $(x_i(t+1))$  фондосоздающей отрасли i в момент времени t+1 (блок 5) оказывает влияние на инвести-

ции  $(\sum_{r=1}^{\theta_{ij}-1}K_{ij}(t+1;t+\tau))$  вида i в фондосоздающую отрасль j в момент времени t+1 с лагом строительства от 0 до  $\theta_{ij}-2$  (блок 7). Стоит отметить, что в моменте времени t+1 с нулевым лагом есть два типа инвестиций:

- 1) связанных с началом строительства основных фондов, которые будут введены в этот же момент времени t+1, и завершения строительства основных производственных фондов, начатых в момент времени t ( $K_{ij}(t+1;t+1)$ );
- 2) связанный с началом строительства основных фондов, которые будут введены в моменты времени, следующие за моментом времени t+1, а также с продолжением и завершением строительства, которое было начато в момент времени t+1 ( $K_{ij}(t+1;t+2)+...+K_{ij}(t+1;t+\theta_{ij}-1)$ ).

Инвестиции (  $\sum_{\tau=1}^{\theta_{ij}-1} K_{ij}(t+1;t+\tau)$ ) вида i в фондосоздающую отрасль j в момент времени t+1 с лагом строительства от 0 до  $\theta_{ij}-2$  (блок 7) влияют:

- на незавершённое строительство  $(N_{ij}(t+1))$  в момент времени t+1 основных фондов вида i в фондосоздающей отрасли j с лагом строительства от 1 до  $\theta_{ij}-2$  (блок 10);
- на использованный выпуск  $(\overline{x_i}(t+1))$  фондосоздающей отрасли i в момент времени t+1 (блок 11).

Вводы основных фондов  $(B_{ij}(t+1))$  вида i фондосоздающей отрасли j в году t+1 (блок 15) формируются за счет использованного выпуска  $(\overline{x_i}(t+1))$  фондосоздающей отрасли i в момент времени t+1 (блок 11) и незавершенного строительства  $(N_{ij}(t+1))$  в момент времени t+1 основных фондов вида i в фондосоздающей отрасли j с лагом строительства от 1 до  $\theta_{ij}-2$  (блок 10). В данном случае вводы сформированы за счет инвестиций, связанных с завершением строительства, начатого в момент времени t и лагом строительства — 1 период, а также началом строительства, начатого в момент времени t+1 и лагом строительства — 0 периодов.

Вводы основных фондов  $(B_{ij}(t+1))$  вида i в фондосоздающей отрасли j в момент времени t+1 (блок 15) влияет на показатель стоимости основных фондов  $(F_{ij}(t+1;s_i))$  вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t+1 (блок 17). На данный показатель влияет стоимость основных фондов  $(F_{ij}(t;s_i))$  вида i фондосоздающей отрасли j в момент времени t, так как прирост стоимости основных фондов в момент времени t+1 связан с существующим приростом основных фондов в момент времени t.



Puc. 3.4.3. Схема оценки общего мультипликатора инвестиций, сделанных во все три вида отрасли.

Далее проверяется условие, аналогичное условию из блока 16, только в момент времени t+1. Если выполняется условие, то показатели блока 15 и 17 влияют на показатели использованный выпуск ( $x_{k+1}(t+1)$ ,  $x_m(t+1)$ ) не фондосоздающих отраслях k+1 и m в момент времени t+1 (блок 21 и 23 соответственно). Стоит отметить, что на графике пунктирной линией изображен блок не фондосоздающих отраслей и их воздействие друг на друга. В данном случае речь идет не только о не фондосоздающих отраслях k+1 и m в момент времени t, но и об остальных не фондосоздающих отраслях, они также воздействуют друг на друга (на не фондосоздающие отрасли) через технологические коэффициенты прямых материальных затрат. Отрасли k+1 и m изображены в качестве иллюстративного примера.

После использованного выпуска  $(x_{k+1}(t+1), x_m(t+1))$  не фондосоздающих отраслей k+1 и m в момент времени t+1 (блок 21 и 23 соответственно) производится проверка ограничений на использование основных фондов в не фондосоздающих отраслях от k+1 до отрасли m в момент времени t+1 аналогично блоку 27. Если выполняются условия, тогда можно приступить к оценке мультипликатора момента времени t+1 после расчета всех показателей экономики в момент времени t+1, таким образом будет оценен эффект от моментов времени t+1 (блок 26).

После оценки мультипликаторов во всех моментах времени от t и  $t+\theta_{ij}-1$  рассчитывается общий мультипликатор инвестиции вида i в фондосоздающую отрасль j в моменты времени от t до  $t+\theta_{ij}-1$  со строительным лагом от 0 до  $\theta_{ij}-1$  (блок 30).

После оценки мультипликаторов в фондосоздающей отрасли, в нефондосоздающей отрасли и отрасли II оценивается общий мультипликатор инвестиций, сделанных во все три вида отраслей (рис 3.4.3).

Представленные схемы и математическое описание мультипликаторов дает возможность дифференцировать влияние инвестиционных вложений на валовый выпуск в различные моменты времени, что позволит оценивать эффекты от инвестиционных вложений в динамике.

### Литература к разделу 3.4

- Баранов А.О., Павлов В.Н., Слепенкова Ю.М. Разработка динамической межотраслевой модели с блоком человеческого капитала // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17. № 1. С. 14–25.
- Claus E., Claus I. New Zealand's economic reforms and changing production structure // Australian National University, Centre for Applied Macroeconomic Analysis Working Paper. 2005. 43 p. DOI:10.1080/17487870902872938.
- 3. Munjal P. Structural Changes in Indian Economy: An Input-Output Analysis // Indian Economic Review. 2007. № 42(1). Pp. 77–95.
- 4. Zheng H., Zhou J., Gao X., Xi X., Liu D., Zhao Y. Global impacts of the topological structure of industrial driving networks on energy intensity // Energy. 2021. № 225. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2021.120192.
- 5. Reyes F.A., Mendoza M.A.M. Demand-Driven and Supply-Sided Input—Output Models // Journal of Quantitative Economics. 2021. № 19. Pp. 251–267. DOI:10.1007/S40953-020-00229-5.
- 6. Guerra A.-I., Ferran S. An operational, nonlinear input—output system // Economic Modelling. 2014. № 41. Pp. 99–108. DOI: 10.1016/j.econmod.2014.04.027.
- Guerra A.-I., Ferran S. Budget constrained expenditure multipliers //
  Unitat de Fonaments de l'Analisi Economica (UAB) and Institut
  d'Analisi Economica (CSIC) Working Papers. 2010. 9 p.
  DOI:10.1080/13504851.2010.532101.

- Dobos I., Floriska A. The Efficiency of Remanufacturing in a Dynamic Input-Output Model // Central Europ J Oper Res. – 2008. – № 16. – Pp. 317–328. DOI:10.1007/s10100-008-0060-4.
- 9. Leung D., Secrieru O. Real-Financial Linkages in the Canadian Economy: An Input-Output Approach // Bank of Canada, Working Papers. 2011. 42 p. DOI:10.2139/ssrn.1864152.
- 10. Selerio E., Maglasang R. Minimizing production loss consequent to disasters using a subsidy optimization model: a pandemic case // Structural Change and Economic Dynamics. 2021. № 58. Pp. 112–124. DOI: 10.1016/J.STRUECO.2021.05.002.
- 11. Levay P.Z., Vanhille J., Goedeme T., Verbist G. The association between the carbon footprint and the socio-economic characteristics of Belgian households // Ecological Economics. 2021. № 186. DOI: 10.1016/J.ECOLECON.2021.107065.
- 12. Patandianan M.V., Shibusawa H. Evaluating the spatial spillover effects of tourism demand in Shizuoka Prefecture, Japan: an inter-regional input–output model // Asia-Pacific Journal of Regional Science. 2020. № 4. Pp. 73–90. DOI:10.1007/S41685-019-00111-0.
- 13. Duchin, F., Steenge A.E. Mathematical Models in Input-Output Economics // Rensselaer Polytechnic Institute, Department of Economics, Rensselaer Working Papers in Economics. 2007. 33 p.
- 14. Okamoto N. Extended input–output model for urbanization: an empirical test using Chinese data // Economic Structures. 2021. № 10. Pp. 3–27. DOI:10.1186/s40008-021-00233-9.
- 15. Gunter S., Riera-Crichton D., Vegh G.A., Vuletin G. Non-linear effects of tax changes on output: The role of the initial level of taxation // Journal of International Economics. 2021. № 131. DOI: 10.1596/1813-9450-8668.
- Torres-Pruñonosa J., Raya J.M., Dopeso-Fernández R. The Economic and Social Value of Science and Technology Parks. The Case of Tecnocampus. – 2020. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.632600.
- 17. Shan Y., Ou J., Wang D., Zeng Z., Zhang S., Guan D., Hubacek K. Impacts of COVID-19 and fiscal stimuli on global emissions and the Paris Agreement // Nature Climate Change. 2021. № 11. Pp. 200–206. DOI: 10.1038/s41558-020-00977-5.
- 18. Boehm C.E. Government consumption and investment: Does the composition of purchases affect the multiplier? // Journal of Monetary Economics. 2020. № 115. Pp. 80–93. DOI: 10.1016/J.JMONECO.2019.05.003.
- 19. Van der Wielen W. The macroeconomic effects of tax changes: Evidence using real-time data For the European Union // EconomicModelling. 2020. № 90. Pp. 302–321.

- 20. Ganelli G., Tervala J. Welfare Multiplier of Public Investment // IMF Economic Review. 2020. № 68. Pp. 390–420. DOI: 10.1016/j.econmod.2020.03.007.
- 21. Kim J., Wang M., Park D. Fiscal policy and economic growth: some evidence from China // Review of World Economics. 2021. Published online. DOI: 10.1007/s10290-021-00414-5.
- 22. Ксенофонтов М.Ю., Широв А.А., Ползиков Д.А., Янтовский А.А. Оценка мультипликативных эффектов в российской экономике на основе таблиц «затраты-выпуск» // Проблемы прогнозирования. 2018. № 2 (167). С. 3—13. DOI: 10.32609/0042-8736-2021-4-32-57.
- 23. Широв А.А., Янтовский А.А. Оценка мультипликативных эффектов в экономике. Возможности и ограничения // ЭКО. 2011. № 2 (440). С. 40–58. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2011-2-40-58.
- 24. Баранов А. О., Павлов В. Н., Тагаева Т. О., Слепенкова Ю. М. Опыт построения и использования межотраслевых региональных моделей эколого-экономического развития // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20. № 3. С. 27—47. DOI: 10.25205/2542-0429-2020-20-3-27-47.
- 25. Крюков В.А., Баранов А.О., Павлов В.Н. Макроэкономическая оценка влияния проекта увеличения добычи крупной нефтедобывающей компанией на развитие экономики России // Георесурсы. 2020. Спецвыпуск. С. 10—16. DOI: 10.18599/grs.2020.SI.19—27.
- 26. Дырхеев К. П., Хишектуева И.-Х. Д. Модель сбалансированного роста межотраслевой экономики региона // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2020. № 1. С. 54—66. DOI: 10.18101/2304-5728-2020-1-54-66.
- 27. Джурка Н. Г., Дёмина О. В. Оценка последствий формирования газоперерабатывающего комплекса на Дальнем Востоке // Экономика региона. 2018. Т. 1. Вып. 2. С. 450-462. DOI: 10.17059/2018-2-9.
- 28. Леонтьев В. Динамическая обратная матрица // Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. Пер. с англ. М.: Политиздат. 1990. С. 294–318.

#### Глава 4

## ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ И АЗИАТСКОЙ ЧАСТЕЙ РОССИИ

Улучшение качества экономических прогнозов требует обеспечения согласованности прогнозируемых макроэкономических показателей с прогнозами развития отдельных отраслей экономики и промышленности (видов экономической деятельности). В свою очередь, и для макроэкономических, и для отраслевых прогнозов необходима их пространственная разверстка, позволяющая определить перспективные возможности развития каждого крупного региона страны и обеспечить непротиворечивость совокупности отраслевых прогнозов не только на народнохозяйственном, но и на региональных уровнях. Поэтому при разработке согласованных макроэкономических, отраслевых и региональных прогнозов нами используется подход последовательной детализации, который реализует принцип (от «точки» к пространству), в соответствии с которым осуществлен переход от автономной оптимизационной модели взаимодействия Европейской и Азиатской части России модельно-программному комплексу (OMBEAP) К OMBEAP).

Использование этого принципа основано на принятии гипотезы большей достоверности сводной народнохозяйственной информации по сравнению с региональной. Кроме того, часть экономической информации имеется только в целом для страны, региональный разрез в официальной статистике отсутствует, и необходимые для наполнения моделей показатели приходится определять расчетным путем, по косвенным данным. Поэтому для таких отраслей представляется целесообразным проблемы моделирования на долгосрочную перспективу вначале отрабатывать с помощью «точечной» модели (без деления страны на регионы), которая является упрощенным аналогом многорегиональной межотраслевой модели.

Важнейшее необходимое условие разработки качественных прогнозов развития региональных экономик — это их обязательное согласование с общенациональными прогнозами, поскольку

именно народнохозяйственные условия и предпосылки оказывают более значительное воздействие на развитие региональных экономик, чем совокупность всех региональных факторов и политика местных администраций. Для подавляющего большинства регионов динамика внешнего спроса на их товары и услуги является более значимым фактором развития, чем динамика спроса на региональном рынке. Более того, платежеспособный спрос на региональных рынках также определяется преимущественно общенациональными факторами, влияющими на динамику денежной массы и ее территориальное распределение.

Предложенная методическая схема построения сценария прогноза — это четыре этапа, которые соответствуют последовательности измерений в системе основных показателей:

- а) оценка показателей базового года страны в целом в отраслевом разрезе;
- б) определение темпов изменения этих показателей в прогнозном периоде;
- в) определение пространственного разреза показателей и уточнение объемов межрегиональных перевозок в базовом году;
- г) построение прогнозных показателей в региональном разрезе.

На каждом из этих этапов используется особая модель. Общая схема модельно-методического комплекса ОМВЕАР—2035 приведена на рис. 4.1. На первом этапе используется точечная статическая межотраслевая модель страны в целом для базового года, на втором — точечная полудинамическая межотраслевая модель страны в целом, аналогичная ОМВЕАР по способу учета динамики, на третьем — статическая ОМВЕАР базового года, на четвертом — ОМВЕАР в полудинамической постановке.

Ниже в развернутом виде приводится описание формальных постановок моделей, определяющих современный состав используемого модельно-программного комплекса.

Одним из наиболее существенных отличий от всех предшест-

Одним из наиболее существенных отличий от всех предшествующих постановок моделей стал учет фактора различий между объемами выпуска и объемами производимых ресурсов ранее объемы выпуска "хозяйственных отраслей" использовались в качестве объемов выпуска "чистых" отраслей. Для большинства

видов экономической деятельности относительная погрешность была малой, но в отдельных случаях различия между выпуском и отечественными ресурсами были заметными.



Рис. 4.1. Общая структура и схема работы модельного комплекса

Другим новым элементом используемой системы моделей стала экспериментальная постановка пространственной межотраслевой модели, включающей в себя стандартные ограничения модели межрегионального межотраслевого баланса по отдельным видам деятельности — тем услугам, для которых имеет место несовпадение месторасположения производителя этих услуг и получателя, оплачивающего эти услуги. Такие сквозные ограничения были введены для торговли, информационных и коммуникационных технологий, финансовой деятельности и деятельности профессиональной, научной и технической. Такой подход позволяет более адекватно отобразить роль, в частности, Центрального федерального округа, потребителями ряда видов услуг которого являются и все другие федеральные округа.

## 4.1. Формальная постановка статической межотраслевой модели базового года

Статическая межотраслевая модель представляет собой задачу линейного программирования, который включает следующие балансовые условии и ограничении:

Балансовые условия по производству и распределению продукции по видам деятельности:

$$\sum_{j=1}^{n} k_{ij} x_{j} - \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{j} - \alpha_{i} z - v_{i} + w_{i} \ge Q_{i}; i = 1, ..., n;$$
 (4.1.1)

Соответствующие ограничения для транспортной отрасли  $(i = \tau)$ :

$$\sum_{j=1}^{n} \mathbf{k}_{\tau j} x_{j} - \sum_{j=1}^{n} \mathbf{a}_{\tau j} x_{j} - \mathbf{\alpha}_{\tau} z - \sum_{j=1}^{n'} c^{\nu}_{\tau j} v_{j} - \sum_{j=1}^{n'} c^{w}_{\tau j} w_{j} \ge \mathbf{Q}_{\tau};$$

$$\tau \in GT$$
(4.1.2)

Балансовые ограничения по трудовым ресурсам:

$$\sum_{j=1}^{n} l_j x_j \le L; \tag{4.1.3}$$

Ограничения на объемы выпуска продукции:

$$0 \le x_i \le N_i; j = 1, ..., n;$$
 (4.1.4)

Ограничения неотрицательности переменных экспорта и импорта:

$$v_i, w_i \ge 0; j = 1, ..., n;$$
 (4.1.5)

Целевая функция:

$$z \to max;$$
 (4.1.6)

#### Обозначения:

Константы:

n — количество отраслей;

n' — количество транспортабельных отраслей;

Индексы:

 $j \in \{1,...,n\}$  — индекс отрасли (транспортабельные и нетранспортабельные обозначаются одним индексом);

- $\tau \in GT$  индекс транспортных отраслей;
- GT номера транспортных отраслей;

## Переменные:

- $x_i$  объем выпуска товаров (услуг) по видам деятельности i;
- z максимизируемый объем конечного потребления;
- $v_i$  объем экспорта товаров (услуг) по виду деятельности i;
- $w_i$  объем импорта товаров (услуг) по виду деятельности i;  $\Pi$ араметры:
- $k_{ij}$  доля выпуска i —го продукта в хозяйственной отрасли j;
- $a_{ij}$  коэффициенты текущих материальных затрат (расхода продукции отрасли i на единицу выпуска в отрасли j);
- $\alpha_i$  доля продукции -й отрасли в максимизируемой части конечного продукта;  $(\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1)$ ;
- $c_{\tau j}^{v}$  дополнительные удельные затраты транспорта на экспорт продукции j из страны;
- $c_{\tau j}^{w}$  удельные затраты транспорта на импорт продукции j в страну;
  - $l_i$  удельная трудоемкость выпуска продукции j;
- $Q_i$  фиксированная часть конечного продукта i-й отрасли (в основном это валовое накопление основного капитала);
- $N_j$  ограничения на значения переменных объемов выпуска отрасли j;
  - L лимит численности занятых.

## 4.2. Формальная постановка полудинамической межотраслевой модели

В математическом смысле оптимизационная динамическая межотраслевая модель является также задачей линейного или сепарабельного программирования, решение которой определяет состояние экономики страны на последний год некоторого прогнозного периода. В этих моделях базовым годом является 0-й год, и может быть предусмотрено от одного до несколько прогнозных периодов. Рассмотрим формальную постановку модели с одним прогнозным периодом.

Балансовые условия по производству и распределению товаров и услуг:

$$\sum_{j=1}^{n} k_{ij}^{0} x_{j}^{0} + \sum_{j=1}^{n} k_{ij}^{1} \Delta x_{j}^{1} - \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{0} x_{j}^{0} - \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{1} \Delta x_{j}^{1} - \alpha_{i}^{1} z^{1} - v_{i}^{1} + w_{i}^{1} \ge Q_{i}^{1};$$

$$i = 1, \dots, n$$

$$(4.2.1)$$

Соответствующие ограничения для капиталобразующих отраслей (i=g):

$$\begin{split} \sum_{j=1}^{n} k_{gj}^{0} x_{j}^{0} + \sum_{j=1}^{n} k_{gj}^{1} \Delta x_{j}^{1} - \sum_{j=1}^{n} a_{gj}^{0} x_{j}^{0} - \sum_{j=1}^{n} a_{gj}^{1} \Delta x_{j}^{1} - u_{g}^{1} - a_{g}^{1} z^{1} - v_{g}^{1} + w_{g}^{1} &\geq Q_{g}^{1}; \\ g \in G; \end{split} \tag{4.2.2}$$

Соответствующие ограничения для транспортной отрасли ( $i = \tau$ ):

$$\begin{split} \sum_{j=1}^{n'} k_{\tau j}^0 x_j^0 + \sum_{j=1}^{n'} k_{\tau j}^1 \Delta x_j^1 - \sum_{j=1}^{n'} a_{\tau j}^0 x_j^0 - \sum_{j=1}^{n'} a_{\tau j}^1 \Delta x_j^1 - \alpha_{\tau}^1 z^1 - \sum_{j=1}^{n'} c_{\tau j}^{\nu} v_j^1 - \sum_{j=1}^{n'} c_{\tau j}^{w} w_j^1 &\geq Q_{\tau}^1; \\ \tau \in \mathsf{GT} \end{split} \tag{4.2.3}$$

Балансовые ограничения по трудовым ресурсам:

$$\sum_{j=1}^{n} l_j^0 x_j^0 + \sum_{j=1}^{n} l_j^1 \Delta x_j^1 \le L^1; \tag{4.2.4}$$

Балансовые ограничения по инвестициям:

$$\sum_{j=1}^{n} \gamma_{gj}^{0} x_{j}^{0} + \sum_{j=1}^{n} \gamma_{gj}^{1} \Delta x_{j}^{1} - f_{1}(u_{g}^{0}, u_{g}^{1}) \leq 0; \ g \in G; \ \ (4.2.5)$$

Ограничения на внешнеторговое сальдо:

$$\sum_{j=1}^{n} p_{j}^{v} v_{j}^{1} - \sum_{j=1}^{n} p_{j}^{w} w_{j}^{1} \ge Q^{1}; \tag{4.2.6}$$

Ограничения на объемы выпуска и приросты объемов выпуска:

$$x_j^0 \le N_j^0; \Delta x_j^1 \le \Delta N_j^1; \ j = 1, ..., n;$$
 (4.2.7)

Ограничения на максимально и минимально допустимые объемы экспорта и импорта:

$$\underline{V_j^1} \le v_j^1 \le \overline{V_j^1}; \underline{W_j^1} \le w_j^1 \le \overline{W_j^1}; j = 1, ..., n;$$
 (4.2.8)

Целевая функция:

$$z^1 \to max \tag{4.2.9}$$

#### Обозначения:

Константы:

n — количество отраслей;

n' — количество транспортабельных отраслей;

Индексы:

 $j \in \{1,...,n\}$  — индекс отрасли (транспортабельные и нетраспортабельные обозначаются одним индексом);

 $\tau \in GT$  — индекс транспортных отраслей;

*GT* — номера транспортных отраслей;

 $g \in G$  — индекс капиталообразующих отраслей;

*G* — номера капиталообразующих отраслей;

Переменные:

 $x_i^0$  — базовый (достигнутый в 0-м году объем выпуска по видам деятельности i;

 $\Delta x_i^1$  — прирост выпуска по видам деятельности i за период;

- $z^1$  объем максимизируемой части конечного потребления в последнем году периода;
- $v_i^1$  объем экспорта продукции по видам деятельности i в последнем году периода;
- $w_i^1$  объем импорта продукции по видам деятельности i в последнем году периода;
- $u_g^1$  валовые инвестиции в основной капитал (в части капиталообразующей отрасли g);
- $z^1$  максимизируемый объем конечного потребления по стране;

Параметры:

 $k_{ij}^{0}$  — доля выпуска i—го продукта, не превышающего базовый (0-й год) объем в хозяйственной отрасли j;

 $k_{ij}^1$  — доля выпуска i—го продукта, необходимого для обеспечения прироста объема выпуска за период в хозяйственной отрасли j;

- $a_{ij}^0$  коэффициенты текущих материальных затрат (расхода продукции отрасли і на единицу выпуска в отрасли ј), необходимых для обеспечения объема выпуска в конце периода, не превышающего базовый (0 года) объем выпуска в отрасли ј;
- $a_{ij}^1$  коэффициенты текущих материальных затрат, необходимых для обеспечения прироста объема выпуска за период;
- $\alpha_i^1$  доля продукции і-й отрасли в максимизируемой части конечного продукта  $(\sum_{i=1}^n \alpha_i^1 = 1)$ ;
- $c^{v}_{ au j}$  транспортные затраты на экспорт единицы продукции отрасли j;
- $c_{ au j}^{w}$  транспортные затраты на импорт единицы продукции отрасли j;
- $l_j^0$  коэффициенты затрат труда, необходимых для обеспечения объема выпуска в конце периода, не превышающего базовый (0 года) объем выпуска в отрасли j;
- $l_j^1$  коэффициенты затрат труда, необходимых для обеспечения прироста выпуска отрасли ј за период;
- $\gamma_{gj}^0$  коэффициенты капитальных затрат, необходимых для поддержания объема выпуска продукции отрасли ј в течение периода на уровне, достигнутом в базовом году (в части затрат, приходящихся на долю капиталообразующей отрасли g);
- $\gamma_{gj}^1$  коэффициенты капитальных затрат, необходимых для увеличения объема выпуска продукции отрасли i за период (в части затрат, приходящихся на долю фондообразующей отрасли g);
- $u_g^0$  базовый объем инвестиций в части затрат продукции фондообразующей отрасли g;
- $f_1(u_g^0, u_g^1)$  функция зависимости суммарных инвестиций в основной капитал за период от значений базового их объема и достигнутого в последнем году первого периода (для заданного закона их роста);
- $p_j^{\nu}$  коэффициенты перевода внутренних рублевых основных цен во внешнеторговые рыночные цены (выраженные в долларах) для продукции отрасли i, экспортируемой в последнем году периода;

- $p_j^w$  коэффициенты перевода внутренних рублевых основных цен во внешнеторговые рыночные цены (выраженные в долларах) для продукции отрасли i, импортируемой в последнем году периода;
- $Q_i^1$  фиксированная часть конечного продукта i-й отрасли в последнем году периода;
- $N_j^0, \Delta N_j^1$  ограничения на значения переменных объемов выпуска отрасли j (приростов объемов выпуска);
- $Q^1$  ограничения на величину сальдо торгового баланса в последнем году периода;
- $L^1$  ограничения на численность трудовых ресурсов в последнем году периода;
- $V_j^1, \overline{V_j^1}$  максимально и минимально допустимые объемы экспорта продукции отрасли i в последнем году периода;
- $W_j^1$ ,  $\overline{W_j^1}$  максимально и минимально допустимые объемы импорта продукции отрасли i в последнем году периода;

## Комментарии

1. Об ограничениях на отдельные переменные. Фактическое количество ограничений на переменные многократно меньше того полного списка, который представлен в формальной постановке модели. Потребность в их введении появляется в ходе реализации конкретной задачи при достижении отдельными переменными значений, которые не могут быть признаны реалистичными. В первоначальных постановках количество таких ограничений минимально (как правило, устанавливаются только пределы увеличения объемов выпуска для тех добывающих производств, где они объективно определяются наличными природными ресурсами).

В фактически реализуемых постановках модели разделение на переменные и параметры может измениться, и это зависит прежде всего от характера взаимосвязей между показателями производства, экспорта и импорта, присущих отдельным отраслям. Так, для нефтедобывающей или газовой промышленности фактических внешних ограничений на экспорт нет (при реали-

стичных ограничениях на показатели прироста добычи), в то время как, например, для продукции машиностроения ограниченный спрос внешнего рынка является одним из существенных ограничений на рост производства. Далее, ограничения на приросты выпуска в ходе реализации модели могут быть преобразованы в эквивалентные, (т.е. не изменяющие решения прямой задачи) ограничения на объемы экспорта или импорта (что соответствует введению квот или равных по воздействию на объемы экспорта (импорта) пошлин), и эта модификация модели открывает возможности экономической интерпретации двойственных переменных для таких ограничений.

2. Специфика моделирования инвестиционного процесса. В реализованной постановке модели имеются две группы переменных по выпуску продукции – производство на мощностях, существовавших в базовом году и приросты производства за рассматриваемый период. Разделение общего объема выпуска на две группы имеет значение прежде всего для адекватного представления балансов валовых инвестиций. Коэффициенты капиталоемкости для первой группы переменных показывают те удельные инвестиции, которые необходимы для того, чтобы поддерживать производство на уровне, достигнутом в базовом году (физически мощности, естественно, обновляются). Коэффициенты капиталоемкости для второй группы переменных показывают инвестиции, необходимые для обеспечения прироста выпуска и поддержания «новых мощностей» в течение рассматриваемого периода.

Ограничение (4.2.5) устанавливает связь между валовыми инвестициями за период (которые и определяют возможности прироста производства) и их значениями за базовый год и в последний год рассматриваемого периода. Эта связь определяется однозначно для любого заданного закона роста инвестиций. Наиболее простым является линейный закон роста (характеризующийся равенством погодовых значений прироста и, следовательно, снижающимися во времени темпами прироста). При принятии такой гипотезы переменная  $u_g^1$  заменяется на  $u_g^0 + \Delta u_g^1$ , где  $\Delta u_g^1$  – абсолютный прирост инвестиций за период (параметр  $u_g^0$  включается в задачу как переменная с фиксированным значе-

нием либо выносится в правую часть с противоположным знаком), а значение суммарных за -годы инвестиций (T — количество лет за рассматриваемый период) находится как

$$f_1(u_g^0, u_g^1) = Tu_g^0 + \frac{(T+1)}{2} \Delta u_g^1.$$

В реализованной задаче принималась гипотеза не о линейном, а об экспоненциальном законе роста валовых инвестиций. Экспоненциальный закон роста (ежегодные внутри каждого из периодов темпы роста неизменны) отличается следующей очень важной особенностью, позволяющей осуществлять линеаризацию нелинейной функции с любой степенью точности — чем выше среднегодовые темпы роста инвестиций, тем выше доля последнего года в суммарных за весь период инвестициях.

В модели с гипотезой экспоненциального роста инвестиций искомая переменная  $u_g^1$  выражается через целую группу переменных:  $u_g^1 = u_g^0 + \Delta u_g^0(1) + \Delta u_g^0(2) + \ldots + \Delta u_g^0(K)$ , где (если линеаризация осуществляется с точностью до 1% среднегодовых темпов прироста)  $\Delta u_g^0(1)$  — прирост валовых инвестиций за первый период в случае, если ежегодные темпы прироста составят 1%;  $\Delta u_g^0(2)$  — дополнительный прирост валовых инвестиций в случае, если ежегодные темпы прироста возрастут с 1% до 2% и т.д., K — предельно мыслимый среднегодовой темп прироста инвестиций. Фактически значения  $\Delta u_g^0(k)$  — не переменные, а параметры, переменной (искомой) величиной является число слагаемых в выражении, определяющем значение  $u_g^1$ . Очевидно, что

$$\Delta u_g^0(1) = (1,01^T-1)u_g^0, \ \Delta u_g^0(2) = (1,02^T-1,01^T-1)u_g^0,...,$$
  $\Delta u_g^0(k) = (1+0,01k)^T-(1+0,01(k-1))^T-1)u_g^0$  и т.д.

Для каждого из значений среднегодовых темпов прироста инвестиций однозначно определяются суммарные за весь период инвестиции. Так, если речь идет о балансе суммарных инвестиций за период, то при среднегодовом темпе прироста, равном 0%, суммарные за Т-лет инвестиции составят  $Tu_g^0$  при увеличении среднегодового темпа прироста до 1% дополнительный прирост инвестиций за весь период составит  $(1,01+1,01^2+1,01^3+..+1,01^T-T)u_g^0$ , если

среднегодовой темп прироста возрастет до 2%, то дополнительный прирост за период –  $(1,02+1,02^2+1,02^3+..+1,02^T-1,01-1,01^2-1,01^3-..-1,01^T-T)u_g^0$  и т.д. Эти числа и будут стоять в качестве коэффициентов при переменных  $\Delta u_g^0(k)$  в балансах валовых инвестиций в целом за период.

В качестве переменных линеаризации экспоненциального инвестиций можно использовать непосредственно  $\Delta u_g^0(k)$ . В этом случае в качестве ограничений сверху на значения используется 1, а сумма искомых значений  $\Delta u_q^0(k)$ , полученная при реализации задачи покажет соответствующий полученному решению среднегодовой темп прироста инвестиций (в части капиталообразующей отрасли g). Если все  $\Delta u_a^0(k)$ примут значения 1 или 0, то сумма  $\Delta u_a^0(k)$  в точности совпадет со среднегодовым темпом, рассчитанным исходя из соотношений  $u_g^1$  и  $u_g^0$ . В противном случае (когда последняя из вошедших в оптимальный базис переменная  $\Delta u_g^0(k)$  не достигла значения 1) может обнаружиться незначительное расхождение между суммой  $\Delta u_q^0(k)$  и среднегодовым темпом, рассчитанным исходя из соотношений  $u_g^1$  и  $u_g^0$ . Практического значения эта погрешность может не иметь, но если она будет признана значимой, то можно сколь угодно повысить точность линеаризации экспоненциального закона роста путем уменьшения шага (c 1% до 0,5% или даже до 0,1%).

В реализованной постановке модели применялась нормировка переменных  $\Delta u_g^0(k)$ , т.е. в качестве коэффициентов в балансах производства и распределения продукции капиталоообразующих отраслей использовались не сами значения  $\Delta u_g^0(k)$ , а единицы, а значения  $\Delta u_g^0(k)$  служили в качестве верхних ограничений. В результате ограничения (4.2.2) принимали следующий вид:

$$\sum_{j=1}^{n} \mathbf{k}_{gj}^{0} x_{j}^{0} + \sum_{j=1}^{n} \mathbf{k}_{gj}^{1} \Delta x_{j}^{1} - \sum_{j=1}^{n} \mathbf{a}_{gj}^{0} x_{j}^{0} - \sum_{j=1}^{n} \mathbf{a}_{gj}^{1} \Delta x_{j}^{1} - u_{g}^{0} - \sum_{k=1}^{K} \Delta u_{g}^{k} - \mathbf{a}_{g}^{1} z^{1} - v_{g}^{1} + w_{g}^{1} \ge \mathbf{Q}_{g}^{1};$$

$$g \in G;$$

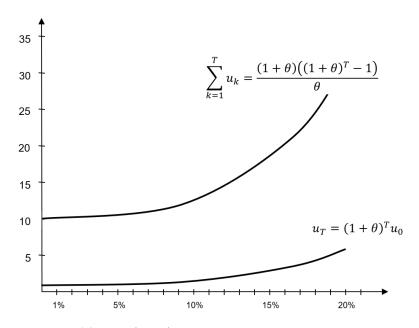
На значения  $\Delta u_g^k$  вводились ограничения сверху:  $\Delta u_g^k \leq \Delta u_g^0(k)$ .

В балансах инвестиций за период в качестве коэффициентов после нормировки выступали исходные их значения, деленные на соответствующие  $\Delta u_{_{\sigma}}^{\,0}(k)$ :

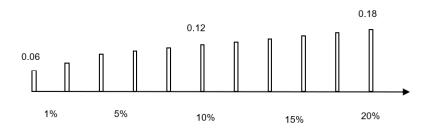
$$(1,01+1,01^2+1,01^3+..+1,01^T-T)u_g^0/\Delta u_g^0(1),$$
 
$$(1,02+1,02^2+1,02^3+..+1,02^T-1,01-1,01^2-1,01^3-1,01^T-T)u_g^0/\Delta u_g^0(2)$$
 и т.д.

Следует отметить, что требование неизменности сохранения ежегодных темпов прироста инвестиций не является жестким. Ежегодные темпы прироста могут варьироваться, но если доля инвестиций последнего года периода в суммарных за весь период инвестициях остается неизменной, то постановка модели адекватно отражает особенности инвестиционных процессов. Более того, закон роста инвестиций не обязательно должен быть экспоненциальным - можно предположить и возможность ускорения темпов их роста (в этом случае необходимо будет задать параметр ускорения - например, ежегодное повышение темпа прироста на 1 п.п.), и даже возможность понижения темпов роста инвестиций, но в таких рамках, чтобы оставалось неизменным главное условие, позволяющее осуществлять линеаризацию нелинейных функций - при увеличении среднегодовых темпов роста инвестиций доля последнего года в суммарных за весь период инвестициях должна повышаться.

На рис. 4.2.1 линейные графики иллюстрируют зависимость инвестиций на последний год периода от среднегодового темпа инвестиций для десятилетнего периода и зависимость суммарных инвестиций за период от того же аргумента. Диаграмма на рис. 4.2.2 демонстрирует, что с возрастанием среднегодового темпа прироста инвестиций отношение второго показателя к первому возрастает.



Puc.~4.2.1.~ Графики функций зависимости инвестиций на последний год  $u_T$  и суммарных за весь период инвестиций  $\sum_{k=1}^T u_k$  от среднегодового темпа прироста инвестиций



*Puc*. 4.2.2. Отношение инвестиций последнего года к суммарным инвестициям за весь период (для T=16)

**3. Решение** двойственной задачи. Помимо возможности разработки сбалансированных в межотраслевом разрезе вариантов экономических прогнозов, модели рассматриваемого класса дают возможность одновременного решения двойственных задач, переменные которых имеют прозрачную экономическую интерпретацию.

Оценки балансовых условий по производству и распределению продукции. Их значения фактически показывают отклонения существующих основных цен от суммарных полных реальных затрат на производство (реальными затратами являются трудовые, текущие материальные и капитальные материальные затраты). Оценки ограничений на используемые трудовые ресурсы показывают предельные эффекты (измеряемые приростом максимизируемой части конечного продукта) от вовлечения в экономику одного дополнительного занятого.

Наибольший интерес представляет интерпретация *оценок ограничений на экспорт и импорт* (экспортных и импортных квот). Так, оценку ограничения  $v_j^1 \leq \overline{V_j^1}$  можно интерпретировать как значение экспортной таможенной пошлины, установление которой при снятии квоты на экспорт позволяет получить в реальности примерно такой же оптимальный объем экспорта, как и при наличии квоты (естественно, полностью выбираемой, соответствующей решению, в котором записанное выше ограничение выполняется как равенство). Оценка ограничения  $w_j^1 \leq \overline{W_j^1}$  интерпретируется как значение импортной таможенной пошлины, установление которой эквивалентно по своему воздействию на масштабы импорта тому воздействию, которое оказывает импортная квота.

Естественно, в рамках агрегированной модели эти оценки (и соответственно их интерпретация), имеют усредненный характер, что не дает возможности такого прямого их толкования, как введение одинаковых размеров пошлин для всей номенклатуры товаров, производимых той или иной отраслью. Кроме того, полученные оценки можно интерпретировать как «оптимальные» значения экспортных и импортных пошлин (в процентах от внутренних рублевых основных цен) лишь в условиях пропорциональности основных цен полным реальным за-

тратам на производство. Поскольку это условие в реальной экономике не выполняется (в составе себестоимости продукции отдельных отраслей значительна доля налогов, кроме того, велика межотраслевая дифференциация заработной платы), расчет прикладных значений пошлин требует соответствующих корректировок. С другой стороны, получаемые при реализации модели оценки продукции (балансов производства и распределения продукции) полностью включают в себя и инвестиционную составляющую, в то время как в реальности она включается в производственные затраты лишь частично — в размере амортизационных отчислений.

Оценка ограничения на сальдо внешнеторгового баланса  $\sum_{j=1}^n p_j^v v_j^1 - \sum_{j=1}^n p_j^w w_j^1 \geq Q^1$  показывает «ценность» одной единицы мировой валюты (доллара США) и всегда оказывается ниже ее рыночного курса (закупленный импортный товар необходимо еще доставить до потребителя, т.е. понести транспортные и торговые издержки). Оценки ограничений на сальдо внешнеторгового баланса можно интерпретировать как «реальную ценность» доллара с учетом специфики постановки модели (прежде всего использования в расчетах неизменных среднегодовых цен базового года). Интерпретация этих оценок в условиях фактической или прогнозируемой динамики цен (а точнее, соотношения динамики внутренних и мировых цен) требует соответствующей корректировки — умножения полученных оценок на соотношение индексов роста внутренних (рублевых) и внешних (долларовых) цен.

Общая структура матрицы полудинамической межотраслевой модели представлена на рис. 4.2.3.

атови кваваП кинэиинвато								
Конечное потребление $(z^1)$								
Внешнеторговые связи	$W_{i}$ $(w_{i}^{1})$							
	Экспорт ( <i>v</i> <sub>i</sub> )							
Переменные инвестиций в основной капитал	$\begin{array}{c c} \text{Послед-} & \text{Приросты} \\ \text{Hero roda} & \text{за период} \\ \begin{pmatrix} u_g^1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} Au_g^k \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} v_i^1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} w_i^1 \end{pmatrix} \end{array}$							
	Послед- него года $\binom{u_s^1}{u_g}$						$f(u_g^{r0}, u_g^{r1})$	
	Базового года $\begin{pmatrix} u_g^0 \end{pmatrix}$							
Переменные выпуска товаров и услуг	Базовог Прирост Базового Послед- Приросты о года за период года него года за период $(x_i^0)$ $(x_g^1)$ $(u_g^1)$ $(u_g^1)$ $(u_g^1)$							
дэмоН кинэчиня дло		4.2.1	4.2.2	4.4.3	4.2.4		4.4.5	4.4.6
		Балансовые ограничения по производству и распределению товаров и услуг			Ограничения по труду	Ограничения по инвестициям	Связь между инвестициями базового и последнего года за период	Ограничения на внешнеторговое 4.4.6 сальдо региона

 $Puc.\ 4.2.3.\$ Структура полудинамической межотраслевой модели экономики

## 4.3. Формальная постановка статической межрегиональной межотраслевой модели

В оптимизационных статических межрегиональных межотраслевых моделях региональные межотраслевые модели объединяются с помощью способов межрегиональных связей товаров и услуг и условий выравнивания региональных уровней потребления населения и государства (скаляризирующих вектор региональных целей) в линейно-программные конструкции.

По своему экономическому содержанию эти модели являются инструментом получения системы взаимосвязанных непротиворечивых межотраслевых балансов регионов и оптимизации их совокупности по выбранному критерию (как правило, это максимизация используемого конечного продукта или конечного потребления в заданной отраслевой и территориальной структуре). Оптимальное решение модели представляет собой фиксированное состояние рынка, на котором достигнуто равновесие между спросом и предложением на взаимосвязанных рынках товаров и услуг.

Региональные балансы производства и распределения продукции по видам деятельности:

$$\sum_{j=1}^{n} \mathbf{k}_{ij}^{r} x_{j}^{r} - \sum_{j=1}^{n} \mathbf{a}_{ij}^{r} x_{j}^{r} - \mathbf{a}_{i}^{r} z^{r} - \sum_{s \neq r} x_{i}^{rs} + \sum_{s \neq r} x_{i}^{sr} - v_{i}^{r} + w_{i}^{r} \ge \mathbf{Q}_{i}^{r};$$

$$i = 1, ..., n; \ r = 1, ..., R;$$

$$(4.3.1)$$

Соответствующие ограничения для отраслей услуг (i = f):

$$\begin{split} &\sum_{j=1}^{n} k_{fj}^{r} x_{j}^{r} - \sum_{j=1}^{n} a_{fj}^{r} x_{j}^{r} - \alpha_{f}^{r} z^{r} - \sum_{s \neq r} x_{f}^{rs} + \sum_{s \neq r} x_{f}^{sr} - v_{f}^{r} + w_{f}^{r} \geq Q_{f}^{r}; \\ &f \in \mathbb{F}; \ r = 1, R; \end{split} \tag{4.3.2}$$

Соответствующие ограничения для транспортных отраслей (i= au):

$$\begin{split} & \sum_{j=1}^{n} k_{\tau j}^{r} x_{j}^{r} - \sum_{j=1}^{n} a_{\tau j}^{r} x_{j}^{r} - \alpha_{\tau}^{r} z^{r} - \sum_{s \neq r} \sum_{j=1}^{n'} c_{r\tau j}^{rs} x_{j}^{rs} - \sum_{s \neq r} \sum_{j=1}^{n'} c_{r\tau j}^{sr} x_{j}^{sr} - \sum_{s \neq r} \sum_{j=1}^{n'} c_{r\tau j}^{sr} x_{j}^{sr} - \sum_{j=1}^{n'} c_{r\tau j}^{w} w_{j}^{r} \geq Q_{\tau}^{r}; \ \tau \in \text{GT}; \ r = 1, R; \end{split}$$

Региональные ограничения на численность занятых в экономике:

$$\sum_{i=1}^{n} l_i^r x_i^r \le L^r; r = 1, \dots, R; \tag{4.3.4}$$

Ограничения на пространственную структуру конечного потребления:

$$-z^r + \lambda^r z \le 0; r = 1, \dots, R$$
 (4.3.5)

Региональные ограничения на объемы выпуска продукции:

$$0 \le x_i^r \le N_i^r; j = 1, ..., n; r = 1, ..., R$$
(4.3.6)

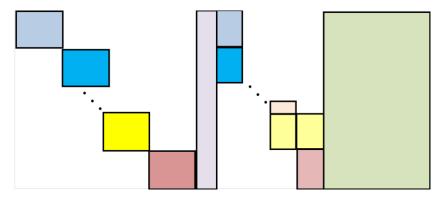
Ограничения неотрицательности переменных:

$$x_i^{rs}, x_i^{sr}, v_i^r, w_i^r \ge 0 ; i = 1, ..., n; r = 1, ..., R$$
 (4.3.7)

Целевая функция:

$$z \to max$$
 (4.3.8)

Макроструктура межрегиональной межотраслевой модели приведена на рис. 4.3.1. Модель имеет блочно-диагональную структуру (на диагонали — региональные блоки, не связанные друг с другом переменными-столбцами), связывается общим столбцом параметров территориальной структуры общесистемного целевого показателя, столбцами переменных вывоза-ввоза, а также объемами межрегиональных услуг.



Puc. 4.3.1. Макроструктура межрегиональной межотраслевой модели

#### Обозначения:

Константы:

n — количество отраслей;

R — количество регионов;

n' — количество транспортабельных отраслей;

Индексы:

 $j \in \{1,...,n\}$  — индекс отрасли (транспортабельные и нетранспортабельные обозначаются одним индексом);

 $s, r ∈ \{1, ..., R\}$  — индексы регионов;

 $\tau \in GT$  — индекс транспортных отраслей;

GT — номера транспортных отраслей;

 $f \in F$  — индекс отраслей услуг;

F — номера отраслей услуг;

Переменные:

 $x_i^r$  – объем выпуска товаров по видам деятельности i в регионе r;

 $x_f^r$  — объем отраслей услуг в регионе r;

 $x_{\tau}^{r}$  — объем транспортных услуг в регионе r;

 $x_i^{rs}$  — объем поставок товаров по виду деятельности i из региона r в регион s;

 $x_f^{rs}$  — объем работ отраслей услуг региона r, оказываемый для региона s;

 $v_i^r$  — объем экспорта товаров (услуг) по виду деятельности i из региона r;

 $w_i^r$  — объем импорта товаров (услуг) по виду деятельности i в регион r;

 $v_f^r$  — объем экспорта услуг из региона r;

 $w_f^r$  — объем импорта услуг в регион r;

 $z^{r}$  — объем конечного потребления в регионе r;

z — максимизируемый объем конечного потребления в целом по стране;

Параметры:

 $k_{ij}^r$  — доля выпуска *i*-го продукта в хозяйственной отрасли *j* в регионе r;

 $a_{ij}^r$  — удельные текущие затраты продукции i на выпуск продукции j в регионе r;

- $a_{fj}^{r}$  удельные текущие затраты отрасли услуг на выпуск продукции j в регионе r;
- $a_{\tau j}^{r}$  удельные затраты транспорта на внутрирегиональные перевозки продукции j в регионе r;
- $c_{r\tau j}^{rs}$  дополнительные удельные затраты транспорта региона r на вывоз продукции j из региона r в регион s;
- ${\sf c}_{r au j}^{sr}$  удельные затраты транспорта региона r на ввоз продукции j из региона s;
- $c_{r\tau j}^{v}$  дополнительные удельные затраты транспорта региона r на экспорт продукции j из региона r;
- $c_{r\tau j}^w$  удельные затраты транспорта региона r на импорт продукции j;
- $lpha_i^r$  доля продукции i в суммарном конечном потреблении в регионе  $r\left(\sum_{i=1}^n lpha_i^r = 1\right);$
- $\lambda^r$  доля региона r в суммарном конечном потреблении страны;

$$(\sum_{r=1}^{R} \lambda^r = 1);$$

- $l_i^r$  удельная трудоемкость выпуска продукции j в регионе r;
- $Q_i^r$  объем конечного продукта в части продукции i в регионе r, не входящий в состав максимизируемой части конечного потребления (в основном это валовое накопление основного капитала);
- $L^r$  лимит (численность занятых) трудовых ресурсов в регионе r;
- $N_j^r$  ограничения сверху на объем выпуска продукции j в регионе r.

# 4.4. Формальная постановка полудинамической межотраслевой межрегиональной модели

Прогноз пространственного развития экономики и оценка влияния изменений пространственной структуры на динамику макроэкономических показателей проводятся на основе оптимизационной модели взаимодействий Европейской и Азиатской части России (ОМВЕАР). В этих моделях синтезированы идеи динамических (полудинамических) межотраслевых моделей «inputoutput» и транспортных задач. Структурно они представляют со-

бой объединение полудинамических межотраслевых региональных моделей. В математическом смысле ОМВЕАР является также задачей линейного (сепарабельного) программирования, решение которой определяет состояние экономики региона на последний год некоторого прогнозного периода

#### Региональные блоки модели

Балансовые ограничения по производству и распределению товаров:

$$\sum_{j=1}^{n} \mathbf{k}_{ij}^{0r} x_{j}^{0r} + \sum_{j=1}^{n} \mathbf{k}_{ij}^{1r} \Delta x_{j}^{1r} - \sum_{j=1}^{n} \mathbf{a}_{ij}^{0r} x_{j}^{0r} - \sum_{j=1}^{n} \mathbf{a}_{ij}^{1r} \Delta x_{j}^{1r} - \mathbf{a}_{i}^{1r} z^{1r} - \sum_{s \neq r} x_{i}^{rs} + \sum_{s \neq r} x_{i}^{sr} - v_{i}^{1r} + w_{i}^{1r} \ge \mathbf{Q}_{i}^{1r}; i = 1, ..., n; r = 1, R$$

$$(4.4.1)$$

Соответствующие ограничения для отраслей услуг (i = f):

$$\sum_{j=1}^{n} k_{fj}^{0r} x_j^{0r} + \sum_{j=1}^{n} k_{fj}^{1r} \Delta x_j^{1r} - \sum_{j=1}^{n} a_{fj}^{0r} x_j^{0r} - \sum_{j=1}^{n} a_{fj}^{1r} \Delta x_j^{r1} - a_{fj}^{1r} \Delta x_j^{r1} - \sum_{s \neq r} x_f^{rs} + \sum_{s \neq r} x_f^{sr} - v_f^{1r} + w_f^{1r} \ge Q_f^{1r}; f \in F; r = 1, R$$

$$(4.4.2)$$

Соответствующие ограничения для капиталообразующих отраслей (i=g):

$$\begin{split} & \sum_{j=1}^{n} k_{gj}^{0r} x_{j}^{0r} + \sum_{j=1}^{n} k_{gj}^{1r} \Delta x_{j}^{1r} - \sum_{j=1}^{n} a_{gj}^{0r} x_{j}^{0r} - \sum_{j=1}^{n} a_{gj}^{1r} \Delta x_{j}^{1r} - \\ & u_{g}^{1r} - \alpha_{g}^{1r} z^{1r} - \sum_{s \neq r} x_{g}^{rs} + \sum_{s \neq r} x_{g}^{sr} - v_{g}^{1r} + w_{g}^{1r} \geq Q_{g}^{1r}; g \in \\ & G; r = 1, R \end{split} \tag{4.4.3}$$

Соответствующие ограничения для транспортных отраслей (i= au):

$$\begin{split} & \sum_{j=1}^{n} k_{\tau j}^{0r} x_{j}^{0r} + \sum_{j=1}^{n} k_{\tau j}^{1r} x_{j}^{1r} - \sum_{j=1}^{n} a_{\tau j}^{0r} x_{j}^{0r} - \sum_{j=1}^{n} a_{\tau j}^{1r} x_{j}^{1r} - \\ & \alpha_{\tau}^{1r} z^{1r} - \sum_{j=1}^{n} c_{r\tau j}^{rs} x_{j}^{rs} - \sum_{j=1}^{n'} c_{r\tau j}^{sr} x_{j}^{sr} - \sum_{j=1}^{n'} c_{r\tau j}^{v} v_{j}^{1r} - \\ & \sum_{j=1}^{n'} c_{r\tau j}^{w} w_{j}^{1r} \geq Q_{\tau}^{1r}; \ \tau \in GT; \ r = 1, R \end{split}$$

Балансовые ограничения по трудовым ресурсам:

$$\sum_{j=1}^{n} l_{j}^{0r} x_{j}^{0r} + \sum_{j=1}^{n} l_{j}^{1r} x_{j}^{1r} \le L^{1r}; r = 1, R$$
(4.4.5)

Балансовые ограничения по инвестициям:

$$\sum_{j=1}^{n} \gamma_{gj}^{0r} x_{j}^{0r} + \sum_{j=1}^{n} \gamma_{ji}^{1r} x_{i}^{1r} - f_{1}(u_{g}^{0r}, u_{g}^{1r}) \leq 0; \ g \in G; r = 1, R \eqno(4.4.6)$$

Ограничения на региональное внешнеторговое сальдо:

$$\sum_{j=1}^{n} p_{j}^{v} v_{j}^{1r} - \sum_{j=1}^{n} p_{j}^{w} w_{j}^{1r} \ge Q^{1r}; r = 1, R$$

$$(4.4.7)$$

Ограничения на объемы выпуска и приросты объемов выпуска:

$$x_i^{0r} \le N_i^{0r}; \ x_i^{1r} \le N_i^{1r}; \ j = 1, ..., n; \ r = 1, R$$
 (4.4.8)

Ограничения на максимально и минимально допустимые объемы экспорта и импорта (экспортно-импортные квоты):

$$\underline{V_j^{1r}} \leq v_j^{1r} \leq \overline{V_j^{1r}}; \ \underline{W_j^{1r}} \leq w_j^{1r} \leq \overline{W_j^{1r}}; \ j=1,\dots,n; \ \ r=1,R. \eqno(4.4.9)$$

## Общесистемные ограничения

Ограничения на территориальную структуру конечного потребления населения:

$$z^{1r} - \alpha^{1r} z^1 \ge 0; \ r = 1, ..., R \tag{4.4.10}$$

Ограничения на максимально и минимально допустимые объемы экспорта и импорта (экспортно-импортные квоты):

$$\underline{V_{j}^{1}} \leq \sum_{r} v_{j}^{1r} \leq \overline{V_{j}^{1}}; \ \underline{W_{j}^{1}} \leq \sum_{r} w_{j}^{1r} \leq \overline{W_{j}^{1}}; \ j = 1, \dots, n; \tag{4.4.11}$$

Ограничения внешнеторгового баланса:

$$\sum_{r=1}^{R} \sum_{i=1}^{n} p_{i}^{v} v_{i}^{1r} - \sum_{r=1}^{R} \sum_{i=1}^{n} p_{i}^{w} w_{i}^{1r} \ge Q^{1}$$

$$(4.4.12)$$

## Целевая функция

$$z^1 \to max \tag{4.4.13}$$

#### Обозначения:

Константы:

n — количество отраслей;

n' – количество транспортабельных отраслей;

R — количество регионов.

Индексы:

 $j \in \{1,...,n\}$  — индекс отрасли (транспортабельные и нетраспортабельные обозначаются одним индексом);

 $s, r ∈ \{1,...,R\}$  — индексы регионов;

 $\tau \in GT$  — индекс транспортных отраслей;

*GT* — номера транспортных отраслей;

 $g \in G$  — индекс капиталообразующих отраслей;

G — номера капиталообразующих отраслей.

Переменные:

 $x_i^{0r}$  — базовый (достигнутый в 0-м году) объем выпуска по видам деятельности i в регионе r;

 $\Delta x_i^{1r}$  — прирост выпуска по видам деятельности i за период в регионе r;

 $x_i^{rs}$  — объем поставок товаров по виду деятельности i из региона r в регион s;

 $x_f^{rs}$  — объем работ отраслей услуг региона r, оказываемый для региона s;

 $v_i^{1r}$  — объем экспорта продукции по видам деятельности i в последнем году периода из региона r;

 $w_i^{1r}$  — объем импорта продукции по видам деятельности i в последнем году периода в регион r;

 $v_f^r$  — объем экспорта услуг из региона r в последнем году периода;

 $w_f^r$  — объем импорта услуг в регион r в последнем году периода;

 $u_g^{1r}$  — валовые инвестиции в основной капитал в регионе r (в части капиталообразующей отрасли g) в последнем году периода;

 $z^{1r}$  — объем максимизируемой части конечного потребления в последнем году периода для региона r;

 $z^1$  — максимизируемый объем конечного потребления в целом по стране в последнем году периода.

Параметры:

 $k_{ij}^{0r}$  — доля выпуска i—го продукта, не превышающего базовый (0 года) объем в хозяйственной отрасли j в регионе r;

 $k_{ij}^{1r}$  — доля выпуска *i*-го продукта, необходимого для обеспечения прироста объема выпуска за период в хозяйственной отрасли *j* в регионе *r*;

- $a_{ij}^{0r}$  удельные текущие затраты продукции i на выпуск продукции j в регионе r, необходимые для обеспечения объема выпуска в конце периода, не превышающего базовый (0 года) объем выпуска в отрасли j;
- $a_{ij}^{1r}$  удельные текущие затраты продукции i на выпуск продукции j в регионе r, необходимые для обеспечения прироста объема выпуска за период;
- $c_{r\tau j}^{rs}$  дополнительные удельные затраты транспорта региона r на вывоз продукции j из региона r в регион s;
- $c_{r\tau j}^{sr}$  удельные затраты транспорта региона r на ввоз продукции j из региона s;
- $c_{r\tau j}^{v}$  дополнительные удельные затраты транспорта региона r на экспорт продукции j из региона r;
- $c_{r\tau j}^w$  удельные затраты транспорта региона r на импорт продукции j;
- $\alpha_i^{1r}$  доля продукции i в суммарном конечном потреблении в регионе  $r(\sum_{i=1}^n \alpha_i^{1r} = 1);$
- $l_j^{0r}$  удельная трудоемкость выпуска продукции j в регионе r, необходимой для обеспечения объема выпуска в конце периода, не превышающего базовый (0 года) объем выпуска в отрасли j;
- $l_j^{1r}$  удельная трудоемкость выпуска продукции j в регионе r, необходимой для обеспечения прироста выпуска отрасли j за период;
- $\gamma_{gj}^{0r}$  коэффициенты капитальных затрат в регионе r, необходимых для поддержания объема выпуска продукции отрасли j в течение периода на уровне, достигнутом в базовом году (в части затрат, приходящихся на долю капиталоообразующей отрасли g);
- $\gamma_{gj}^{1r}$  коэффициенты капитальных затрат в регионе r, необходимых для увеличения объема выпуска продукции отрасли i за период (в части затрат, приходящихся на долю фондообразующей отрасли g);
- $u_g^{0r}$  базовый объем инвестиций в части затрат продукции фондообразующей отрасли g в регионе r;
- $f_1(u_g^0,u_g^1)$  функция зависимости суммарных инвестиций в основной капитал за период от значений базового их объема

и достигнутого в последнем году первого периода (для заданного закона их роста);

 $\lambda^{1r}$  — доля региона r в суммарном конечном потреблении страны;

$$(\sum_{r=1}^R \lambda^{1r} = 1);$$

- $p_j^{\nu}$  коэффициенты перевода внутренних рублевых основных цен во внешнеторговые рыночные цены (выраженные в долларах) для продукции отрасли i, экспортируемой в последнем году периода;
- $p_j^w$  коэффициенты перевода внутренних рублевых основных цен во внешнеторговые рыночные цены (выраженные в долларах) для продукции отрасли i, импортируемой в последнем году периода;
- $Q_i^{1r}$  фиксированная часть конечного продукта i-й отрасли региона r в последнем году периода;
- $N_j^{0r}$ ,  $\Delta N_j^{1r}$  ограничения на значения переменных объемов выпуска отрасли j (приростов объемов выпуска) в регионе r;
- $Q^{1r}$  ограничения на величину сальдо торгового баланса в регионе r в последнем году периода;
- $Q^1$  ограничение на величину сальдо торгового баланса страны в последнем году периода;
- $L^{1r}$  ограничения на численность трудовых ресурсов в последнем году периода в регионе r;
- $\underline{V_j^{1r}}$ ,  $\overline{V_j^{1r}}$  максимально и минимально допустимые объемы экспорта продукции отрасли i из региона r в последнем году периода;
- $\underline{W_j^{1r}}$ ,  $\overline{W_j^{1r}}$  максимально и минимально допустимые объемы импорта продукции отрасли i в регион r в последнем году периода;
- $V_j^1$ ,  $\overline{V_j^1}$  максимально и минимально допустимые объемы экспорта продукции отрасли i из страны в целом в последнем году периода;

 $W_j^{1r}$ ,  $\overline{W_j^{1r}}$  — максимально и минимально допустимые объемы импорта продукции отрасли i страны в целом в последнем году периода;

Структура регионального блока модели представлена на рис. 4.4.1. Развернутая структура матрицы межрегиональной модели представлена на рис. 4.4.2 для трехзональной сетки. На схеме упрощенно представлены три региональных блока, состоящих из ограничений (4.4.1) — (4.4.9). Связи между районами описываются переменными перевозок товаров и услуг  $x^{(12)}$ ,  $x^{(21)}$ ,  $x^{(23)}$ ,  $x^{(32)}$ ,  $x^{(31)}$ . Региональные сальдо внешней торговли в сумме ограничены величиной внешнеторгового баланса национальной экономики. Ограничения, накладываемые на территориальную структуру конечного потребления населения, представляют собой способ скаляризации задачи векторной оптимизации, в которой максимизируются объемы конечного потребления каждого региона.

### Комментарии

1. Двойственные переменные или оптимальные оценки ограничений межрегиональной межотраслевой модели. К межрегиональной межотраслевой модели также может быть построена двойственная задача, переменные которой, как уже отмечали ранее, называются двойственными или оптимальными оценками. Формально значения этих двойственных переменных показывают, насколько вырастет целевая функция при ослаблении одного из ограничений на единицу, например, при добавлении единицы ресурса. Это позволяет трактовать, как уже было отмечено выше, оптимальные оценки как аналоги цен, которые характеризуют степень дефицитности ограниченных ресурсов, которую необходимо учитывать для оптимального использования ресурсов. Так, оценки балансовых ограничений производства и использования продукции интерпретируются как равновесные цены внутреннего рынка (точнее индексы этих цен по отношению к текущим основным ценам продукции, в которых измерена исходная информация). Двойственные переменные, соответствующие региональным балансам производства и распределения продукции, выражают региональные индексы цен на соответствующую продукцию.

	кинэчина	Перем выпуска и у	Переменные выпуска товаров и услуг	Перем	Переменные инвестиций в основной капитал	Конечное	Межрегиона связи	нальные	Межрегиональные Внешнегорговые связи	рговые	
	Номер огра	Базового года $(x_i^{0r})$	Прирост В за период $(\Delta x_i^{1r})$	Базового года $\begin{pmatrix} u_g^{0r} \end{pmatrix}$	Базового Прирост Базового Последнего Приросты года алериод $(x_i^{0r})$ $(\Delta x_i^{1r})$ $(u_g^{0r})$ $(u_g^{1r})$ $(u_g^{1r})$ $(\Delta u_g^{1r})$	потреоление $(z^{1r})$	Вывоз (x <sub>i</sub> <sup>rs</sup> )	BB03 (x <sub>i</sub> <sup>sr</sup> )	Экспорт $(v_i^{1r})$ $(w_i^{1r})$	Импорт $(w_i^{1r})$	квавqП инвqто
7. TO 11.00	4.4.1										
ограничения по	4.4.2										
распределению	4.4.3										
товаров и услуг	4.4.4										
Ограничения по труду	4.4.5										
Ограничения по инвестициям											
Связь между инвестициями базового и последнего года за период	4.4.6				$f(u_g^{r0}, u_g^{r1})$						
Ограничения на внешнеторговое сальдо региона	4.4.7										

Puc. 4.4.1. Структура регионального блока модели

arc RN	ыг квава∏ нэчинвqगо						
	Z.1						
	(E)						
	W (3)						
он 3	v (3)						
Регион 3	x (32)						
	$\chi^{(31)}$						
	$x^{(1)}  x^{(12)}  x^{(13)}  v^{(1)}  w^{(1)}  z^{(1)}  x^{(2)}  x^{(21)}  x^{(23)}  v^{(1)}  w^{(2)}  z^{(2)}  x^{(3)}  x^{(31)}  x^{(32)}  v^{(3)}$						
	z(2)						
	w <sup>(2)</sup>						
Регион 2	v <sup>(1)</sup>						
Реги	x (23)						
	$\chi^{(21)}$						
	$x^{(2)}$						
	Z <sup>(1)</sup>						
	w <sup>(1)</sup>						
Регион 1	v(1)						
Peri	x (13)						
	x <sup>(12)</sup>						
	$x^{(1)}$						
ви:	Номер Номер	4.4.1-9	4.4.1-9	4.4.1-9	4.4.10	4.4.11-12	4.4.13
		Регион 1	Регион 2	Регион 3	Ограничения на герригориальную сгруктуру погребления населения	Ограничения внешнеторгового баланса	Функционал

Puc. 4.4.2. Межрегиональная межотраслевая модель в полудинамической постановке (на примере трех регионов)

Анализ двойственных оценок позволяет изучать влияние изменения цен и уровней добавленной стоимости в одних отраслях на уровни цен и добавленной стоимости в других отраслях. На экономику региона сильное влияние оказывают цены внешнего рынка (российского и мирового); часть цен формируется на внутрирегиональном рынке. Если вследствие изменения соотношений цен в регионе возникают убыточные или сверхрентабельные производства, то возникает необходимость регулирования отраслевой структуры региона, ее адаптации к ценостным соотношениям внешнего и внутреннего рынка. Адаптация может затрудняться избыточным налоговым бременем на производителей в конкретном регионе. При анализе региональной дифференциации налоговой нагрузки могут помочь двойственные оценки верхних границ на объемы производства.

Оценка сальдо регионального внешнеторгового баланса по-казывает, насколько вырастет конечное потребление региона в результате нарушения на единицу требования о равенстве экспорта и импорта. Эта оценка интерпретируется как валютный курс, выражающий стоимость доллара в рублях. Наличие в модели региональных ограничений на сальдо торгового баланса приводит к тому, что курс мировой валюты имеет региональную компоненту и поэтому дифференцирован по регионам: в разных регионах мировая валюта стоит разное количество единиц национальной валюты. Этот курс тем выше, чем жестче региональное ограничение торгового баланса, т.е. чем выше обязательства региона перед мировым сообществом.

Изменение внешних цен в разной степени влияет на регионы с разной структурой производства и потребления. Соответственно, регионы нуждаются в разной степени протекционизма. Оценки региональных экспортно-импортных ограничений позволяют определить необходимую степень дифференциации протекционистских мер, так как выражают оптимальные для данного региона уровни экспортно-импортных таможенных тарифов в национальной валюте на единицу стоимости в мировой валюте по разным видам продукции. Оценки верхних границ на экспорт (экспортные пошлины) показывают, насколько внутренние цены ниже мировых, а оценки верхних границ на импорт (импортные пошлины) показывающие, насколько мировые цены ниже внутренних.

Из условий двойственной задачи следует, что введение экспортных тарифов должно снизить внутренние цены на экспортируемые продукты и девальвировать национальную валюту (поскольку вырастут оптимальные оценки региональных внешнеторговых балансов), и, наоборот, введение импортных тарифов увеличивает внутренние цены на импортируемые продукты и укрепляет национальную валюту.

2. Возможности модели для анализа межрегиональных экономических отношений. Используемая модель предоставляет возможность определять степень экономической взаимозависимости регионов и эффекты межрегиональной интеграции. Взаимодействия регионов в модели исследуются с помощью ключевых понятий теории межрегиональных экономических отношений: оптимум по Парето, ядро системы, экономическое равновесие.

Оптимум по Парето. Парето-множество. Каждый регион в пределах предоставленных ему возможностей определяет свои отношения с остальными регионами так, чтобы его целевой показатель достигал максимума. Общее решение для совокупности взаимодействующих регионов является в таком случае Парето-оптимальным или оптимальным по Парето: ни один регион или любая коалиция регионов не может увеличить свой целевой показатель, не снижая при этом целевой показатель хотя бы одного из других регионов. Если какой-то регион может увеличить свой целевой показатель, не затрагивая интересы других регионов, то он это делает и тем самым переводит состояние системы в Парето-оптимальное.

Множество состояний, оптимальных по Парето, образует Парето-множество и является достаточно широким. Разные точки этого множества в различной степени выгодны разным регионам и их коалициям. В крайних точках Парето-множества одни регионы «работают» на другие регионы. Последние в этом случае получают односторонние преимущества, а сложившуюся систему межрегиональных отношений следует характеризовать как дискриминационную. Модель дает принципиальную возможность найти и построить механизмы достижения таких состояний в Парето-множестве, которые, в определенных смыслах, приемлемы

для всех регионов системы, и в которых достигается разумный компромисс региональных интересов.

Ядро системы и взаимовыгодный обмен.

Регионы являются субъектами контрактного рынка. Они могут заключать контракты между собой, вступая в различные коалиции и договариваясь о структуре и объемах межрегиональных связей. Каждый контракт оптимален по Парето, а положение региона при этом определяется уровнем достигнутого целевого показателя. Поскольку регионы свободны в заключении контрактов, то они выбирают те коалиции (контракты), в которых их целевые показатели максимальны.

Для любой коалиции регионов существует широкое множество возможных структур межрегиональных связей (множество возможных контрактов), при которых суммарный целевой показатель системы выше суммы целевых показателей регионов до вступления их в коалицию. Это превышение — общий эффект межрегиональных взаимодействий. Этот эффект оказывается положительным за счет того, что в отличие от отдельного региона система регионов обладает возможностями межрегионального обмена продукцией.

Общий эффект взаимодействия в разных контрактах может по-разному делиться между регионами коалиции. Всегда существует множество контрактов, приводящих к взаимовыгодным дележам, к взаимовыгодным межрегиональным связям. Это договорное множество коалиции, являющееся частью Паретомножества коалиции, называется ядром коалиции. В нем каждый регион имеет положительный (точнее, неотрицательный) эффект по сравнению с взаимодействием внутри любой подкоалиции. Поэтому каждый регион в отдельности должен быть заинтересован в увеличении количества взаимодействующих регионов вплоть до всей системы регионов (полной коалиции), поскольку любая коалиция является подкоалицией более широкой совокупности регионов. Договорное множество для системы в целом называется ядром системы.

Если дележ не принадлежит ядру коалиции, т.е. межрегиональные отношения носят дискриминационный характер в пользу каких-то регионов или подкоалиций, возникают дезинтеграционные тенденции. Регионы, имеющие в этом случае отрицательные эффекты взаимодействия, будут объективно заинтересованы в «выходе» из этой коалиции, что приведет к росту их целевых показателей (если, конечно, по каким-то причинам не удается перезаключить контракт и перевести его в область ядра).

Экономическое равновесие и эквивалентный обмен.

Регионы можно рассматривать как субъекты товарноденежного рынка. Каждый регион в отдельности формирует наиболее предпочтительный для себя вариант связей с остальными регионами системы (вывоз – предложение региона, ввоз – спрос региона). Этот вариант максимизирует целевой показатель региона при бюджетном ограничении, которое заключается в том, что суммарная выручка от вывоза во все остальные регионы в сложившихся ценах межрегионального обмена должна быть не меньше, чем суммарные затраты на закупку всей ввозимой в него продукции. Планируемые, например, *r*-м регионом объемы вывоза определенного продукта в *s*-й регион (предложение) и планируемые *s*-м регионом объемы ввоза этого продукта из *r*-го региона (спрос) в общем случае не будут совпадать, т.е. система не будет находиться в равновесии.

Тогда включаются рыночные механизмы действия закона спроса и предложения: цена обмена между *r*-м и *s*-м регионами по этому продукту возрастет, если спрос превышает предложение, и сократится в противном случае. После такого изменения цен по всем продуктам и направлениям межрегионального обмена изменятся требования бюджетных ограничений регионов, и последние пересмотрят свои планы вывоза-ввоза продукции (опять же с позиции максимизации своих целевых показателей). В результате различия между спросом и предложением сократятся, и после нескольких итераций система придет в равновесие.

Факт достижимости равновесия, т.е. сходимости рыночного процесса, доказывается при достаточно жестких предположениях относительно характера внутри- и межрегиональных отношений. Тем не менее при определенных условиях рынок в состоянии автоматически поддерживать равновесие в многорегиональной системе.

В равновесии имеет место эквивалентный межрегиональный обмен продукцией, формальным признаком которого является равенство нулю итоговых сальдо вывоза-ввоза (сальдо бюджетов, торговых балансов) по регионам. Однако определяющим эквива-

лентность обмена является не столько равенство нулю региональных сальдо вывоза-ввоза (можно «придумать» много систем цен, при которых это требование выполняется), сколько использование «правильных» цен. Другими словами, важно то, что существуют такие цены, при которых регионы, ориентируясь только на свои интересы, приходят в состояние равновесия в условиях равенства нулю своих итоговых сальдо вывоза-ввоза продукции.

Равновесие принадлежит ядру системы, т.е. эквивалентный межрегиональный обмен является к тому же и взаимовыгодным.

Экономическое равновесие может иметь и более широкую трактовку. В соответствии с ней каждое Парето-оптимальное состояние многорегиональной системы является равновесным. В таком состоянии также согласуются спрос и предложение, выработанные каждым регионом самостоятельно, исходя из собственных интересов. Но сальдо их бюджетных (торговых) балансов не равны нулю. Регионы приходят в такое состояние под действием тех же рыночных механизмов, но, решая свои экстремальные задачи, они фиксируют в бюджетных балансах определенную невязку текущих доходов и расходов. Сумма этих невязок — сальдо бюджетных балансов — по всем регионам равна нулю.

Такие точки можно называть равновесными, но они не являются состояниями эквивалентного межрегионального обмена. Степень неэквивалентности обмена тем выше, чем больше по абсолютной величине сальдо региональных бюджетов. Если эти сальдо относительно невелики, то система все еще остается в ядре, и обмен продолжает быть взаимовыгодным. Вариацией этих сальдо в региональных задачах максимизации целевых показателей можно получить все Парето-оптимальные точки. В частности, если сальдо бюджета некоторого региона отрицательно и велико по абсолютной величине, то межрегиональные отношения в экономическом равновесии могут оказаться дискриминированными в пользу этого региона.

Математический анализ предложенной модели показывает, что любое (почти любое) ее решение выражает состояние, в которое экономическую систему приводит действие рыночных механизмов при тех или иных условиях, т.е. эти решения выражают рыночные равновесия. В данном случае — равновесия на 396 (44 отраслей в 9 регионах) взаимосвязанных рынках.

# 4.5. Описание структуры базового модельно-программного комплекса ОМВЕАР

Базовая версия модельно-программного комплекса ОМВЕАР, в котором интегрированы точечная и пространственная модели «затраты-выпуск», реализует два принципа разработки региональных экономических прогнозов: 1) учет условий и предпосылок народнохозяйственных прогнозов и 2) взаимная увязка региональных прогнозов. Модельно-программный комплекс (МПК) позволяет критически анализировать и корректировать первоначальные гипотезы, закладываемые в перспективные параметры модели по федеральным округам.

Подготовка входных данных и обработка выходных наборов данных для моделей, используемых в прикладных исследованиях пространственных и отраслевых систем, — весьма трудоемкие процессы. Балансировка исходной информации для модели и анализ получаемых оптимальных планов подразумевают проведение разнообразных вычислений и структурных преобразований информации, что вызывает необходимость автоматизации данных работ. Требуемая автоматизация невозможна без разработки специального программного обеспечения.

Разработанный модельно-программный комплекс представляет совокупность моделей, банков информации, операций и алгоритмов, что позволяет работать с широким классом моделей и системами выполнения разнообразных итеративных расчетов. МПК включает в себя:

- систему управления базами данных;
- средства подготовки входных данных и обработки выходных наборов данных для стандартных пакетов оптимизации;
- средства по преобразованию информации (вычислений, структурной перестройки массивов).

Ядром модельно-программного комплекса выступает специально разработанный язык программирования высокого уровня «КОМБИ—2000» — аналога языка КОМБИ (комплекс обработки матричных блоков информации), разработанного более 30 лет назад В.И. Сусловом применительно к ЭВМ серии ЕС, адаптированный к среде Excel, дающий средства описания пред- и послеоптимизационных вычислений, средства связи со стандартными

пакетами оптимизации, и отражающий базу данных в достаточно упрощенной структуре.

Созданный программный комплекс реализован с помощью языка Visual Basic 6.0 на базе Microsoft Office Excel. Пакет Microsoft Office Excel выбран не случайно. Электронная таблица Excel:

- дает возможность работать с моделью широкому кругу пользователей;
- может хранить достаточно большое количество «листов», что позволяет легко структурировать данные в одном файле;
- наглядно представляет таблицы данных;
- содержит в своем приложении достаточно большое количество встроенных функций для облегчения работы с данными.

Аппаратные требования разработанного МПК ОМММ не превышают требований операционной системы Microsoft Windows.

Экономико-математические модели, используемые в прикладных исследованиях пространственных и отраслевых систем, как уже отмечалась ранее, в математическом отношении являются задачами линейного программирования, которые представляет собой системы линейных ограничений, дополненных условиями неотрицательности всех или некоторых переменных и линейной целевой функцией, значение которой надо максимизировать. Для решения таких задач применяются стандартные пакеты программ оптимизации. Входные данные для этих оптимизационных пакетов должны иметь строгий формат. Они обязательно должны содержать следующие файлы:

- *MPS*-файл, в котором описывается матрица исходных данных задачи, целевая функция и векторы верхних и нижних границ на переменные и ограничения модели;
- **SPECS**-файл, в котором задается информация о типе и размерности решаемой оптимизационной задачи, требуемой точности решения и различных алгоритмических опциях, которые следует использовать для решения;
- *BASIS*-файл, который содержит начальные значения переменных модели базис.

Средствами оптимизационных пакетов осуществляется запись получаемого оптимального плана в выходные наборы данных, которые также имеют строгий формат.

Общая схема функционирования комплекса представлена на рис. 4.5.1.

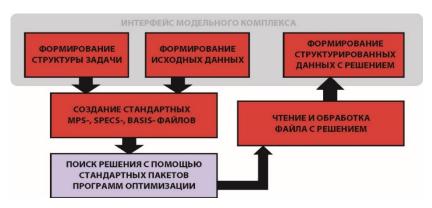


Рис. 4.5.1. Общая схема функционирования МПК

После того, как файлы с входными данными подготовлены и задана структура модели, пользователь может запустить вычисление решения. На этом шаге программа создает стандартные входные данные для пакетов оптимизации (MPS, SPECS, BASIS файлы) и запускает решение. После того, как пакетом будет найдено решение, выходной файл обрабатывается специальным модулем комплекса, который преобразует данные в удобный для пользователя структурированный вид.

### Onucanue SPECS – файла

SPECS-файл содержит описание параметров и опций задачи. Этот файл состоит из записей длиной до 80 символов и имеет следующую структуру:

begin <произвольный текст> <список ключевых слов и значений> end <произвольный текст>

Слова begin и end располагаются начиная с первой позиции записи. Остальные строки файла содержат описания параметров и опций задачи. В каждой строке может быть задано значение только одного параметра. Порядок следования строк в файле произвольный.

Каждый параметр идентифицируется своими ключевыми словами (одним или двумя). Первое ключевое слово каждого параметра распознается по первым трем символам, а второе (если оно есть) — по первым четырем символам. Затем следует значение параметра, которое должно занимать не более 8 последовательных позиций. Второе слово для некоторых параметров не обязательно. Исключение из этого правила возникает в случае задания имени какого-либо файла DOS. В этом случае второе слово обязательно file, а третье слово может содержать до 32 символов, каждый из которых является значащим (имена файлов могут задаваться с указанием полного пути). Ключевые слова и значение параметра отделяются друг от друга, по крайней мере, одним пробелом или знаком равенства (=).

После ключевых слов и значений параметра строка может содержать произвольный текст-комментарий. Строка, у которой первый отличный от пробела символ является звездочкой (\*), вся воспринимается как комментарий.

вся воспринимается как комментарий.

Ниже приведен в качестве примера один из вариантов SPECS-файла, который использовался в спецификации задачи для оптимизационной межрегиональный модели:

begin	
columns	5674
rows	26
elements	28370
mps file	ommm.mps
maximize	
oldbasis	ommm.bas
newbasis	ommm.bas
solution	no
solution file	sol
iteration	10000
end	

С помощью ключевого слова columns в данном файле задается верхняя оценка числа столбцов матрицы ограничений задачи (т.е. числа переменных). Логические столбцы не учитываются. По умолчанию число столбцов полагается равным 3\*M, где M- верхняя оценка числа строк, специфицированная параметром rows.

Ключевое слово *elements* указывает верхнюю оценку числа ненулевых элементов матрицы ограничений задачи, включая строку целевой функции. По умолчанию эта оценка полагается равной 5\*N, где N — оценка числа столбцов, специфицированная параметром *columns*.

Запись *mps file ommm.mps* указывает на имя файла DOS (в данном случае ommm.mps), из которого будет считываться MPS-файл. Имя файла может быть задано с указанием полного пути, но не более, чем из 32 символов.

Строка *maximize* указывает, что задача решается на максимум целевой функции. Для минимизации необходима запись *minimize*.

oldbasis ommm.bas означает, что начальный базис вводится в ВІТМАР-формате из файла ommm.bas.

newbasis ommm.bas означает, что текущий базис выводится в ВІТМАР-формате в файл ommm.bas.

Строка solution no означает, что таблицу полученного решения не следует выводить в файл протокола. Для вывода необходимо вместо параметра no указать параметр yes.

Строка solution file sol указывает на то, что таблицу полученного решения независимо от исхода следует выводить в файл с именем sol.

Таблица 4.5.1 Параметры SPECS-файла

Параметр	Значение по умолчанию	Примечание
1	2	3
аіј <вещест- венный>	1.E-10	При вводе элементы матрицы ограничений задачи, меньшие данного значения (по абсолютной величине), игнорируются.
Check <целый>	25	Число итераций алгоритма, который вычисляет невязки ограничений. Если невязки окажутся слишком велики, разложение базиса будет сделано заново.

Продолжение таблицы 4.5.1

1	2	3
invert <целый>	50	Число итераций операции повторения, т.е. пере- построения разложения базисной матрицы.
feasibility <веще- ственный>	1.E-4	Допуск на нарушение переменными своих верхних и нижних границ. Если эти нарушения меньше введенного значения, решение считается допустимым.
log < целый>	1	Задается частота выведения хода решения. Спустив данное число итераций в файл вывода, выводится строка, содержащая: номер итерации; норму приведенного градиента; номера переменных, участвующих в базисной замене на данной итерации; значение ведущего элемента; число элементов в L и U — мультипликаторах; число переменных, не удовлетворяющих прямым ограничениям; значение целевой функции или сумму нарушений ограничений при недопустимом решении и другую информацию. Чтобы отменить эту опцию, нужно задать частоту вывода, равную 0
Lower <вещественный>	0.0	Стандартное значение для нижних границ структурных переменных. Это значение устанавливается для нижних границ всех переменных, которым в секции BOUNDS MPS-файла не были заданы индивидуальные нижние границы.
Upper <вещест- венный>	1/E+10	Стандартное значение для верхних границ структурных переменных.
save < целый>	100	Число итераций, спустя которое осуществляется вывод текущего решения в базисный файл. Данная опция служит для защиты от сбоев компьютеров. В случае сбоя безвозвратно теряется только то время, которое прошло после последнего сохранения.
objective <имя>		Имя строки, выбираемой в качестве целевой функции. По умолчанию выбирается свободная строка, встретившаяся первой в разделе ROWS

Слово *iterations* задает максимальное число итераций, которое разрешается сделать пакету. Если заданное число итераций окажется недостаточным для решения задачи, пакет прервет процесс решения и выведет соответствующее сообщение. Некоторые другие параметры SPECS-файла приведены в табл. 4.5.1

### Onucaние MPS – файла

Формат MPS получил свое название от старого продукта фирмы IBM и сейчас является стандартом де-факто среди большинства коммерческих пакетов линейного программирования. Практически все коммерческие пакеты понимают этот формат.

Главное, что необходимо знать о формате MPS — то, что он является "колонко-ориентированным" (в отличие от записи модели в виде уравнений и неравенств), и все переменные и ограничения получают имена.

MPS — очень старый формат, и в нем все напоминает о временах, когда широко использовались перфокарты; т.е. это "несвободный", жесткий формат. Поля должны начинаться с колонок 1, 5, 15, 25, 40 и 50. Секции файла в формате MPS маркируются так называемыми заголовочными картами (заголовки), которые определяются тем, что начинаются с первой позиции в строке. Хотя принято использовать символы верхнего регистра, многие программы, работающие с форматом MPS, понимают символы любого регистра для всего, за исключением заголовочных карт. Некоторые программы позволяют использовать символы любого регистра везде. Имена, которые выбирает пользователь для отдельных ограничений или переменных, не являются важными для оптимизатора; пользователю необходимо выбирать имена, несущие смысл для человека.

Все записи MPS-файла (кроме заголовков секций) соответствуют следующему формату:

Поле 1 2-3	Поле 2	Поле 3	Поле 4	Поле 5	Поле 6
	5-12	15-22	25-36	40-47	50-61
код	имя	имя	число	имя	число

(здесь цифрами обозначены позиции полей записи).

MPS-файл состоит из следующих частей (секций):

NAME ROWS COLUM NS RHS BOUND Секция **NAME** состоит из одной записи, в которой в позициях 1-4 записывается слово NAME, а в позициях 15-18 — имя оптимизационной задачи.

В секции **ROWS** задаются типы и имена основных ограничений задачи. Первая запись секции — заголовок, она должна содержать слово ROWS в позициях 1—4 и больше ничего. Каждая из последующих записей специфицирует одну строку ограничений, в позиции 2 или 3 должен содержаться код типа ограничения (поле 1), а в поле 2 — имя данной строки ограничений. Код типа ограничения может быть одним из следующих:

N – не учитывать данное ограничение.

Е – ограничение имеет знак равенства,

G – больше или равно,

L – меньше или равно.

Строка линейной целевой функции, если она есть, помечается типом N. Кроме того, могут быть и другие строки типа N. Имена строк могут быть произвольными, но все они должны быть разными.

В секции **COLUMNS** задаются элементы матрицы ограничений. Она начинается записью, содержащей слово COLUMNS в позициях 1–7.

Каждая следующая запись задает 1 или 2 элемента матрицы: в поле 2 – имя столбца (переменной); в поле 3 – имя строки ограничений; в поле 4 – вещественное значение элемента данного столбца и данной строки матрицы; в полях 5 и 6 – имя строки ограничений и значение следующего элемента данного столбца (поля 5 и 6 могут не заполняться). Здесь достаточно перечислить только ненулевые элементы матрицы ограничений. Каждому столбцу должна соответствовать одна или несколько записей. Все записи секции должны быть упорядочены по столбцам, а имена столбцов должны быть разными.

Секция **RHS** задает значения ненулевых элементов правой части основных ограничений. Она начинается заголовком RHS в 1–3 позициях первой записи, после которой следуют описания элементов правой части ограничений. В поле 2 должно содержаться имя столбца правой части, в поле 3 – имя строки ограничений, в поле 4 – значение элемента правой части в этой строке. Если задается одна правая часть и она вся нулевая, то вся секция может состоять из единственной записи, содержащей заголовок RHS.

В секции **BOUNDS** задаются верхние и нижние границы изменения переменных. Секция начинается заголовком BOUNDS в 1–6 позициях первой записи. Далее следуют записи, каждая из которых определяет одну границу для одной переменной. Формат этих записей должен быть таким: в поле 1 — код типа границы, в поле 2 — имя варианта набора границ, в поле 3 — имя переменной (соответствующего столбца) и в поле 4 — значение границы. Код типа границы может быть одним из следующих:

FR — переменная неограниченна, в данном случае значение в поле 4 игнорируется (в таблице данных, отвечающих за код типа границ, коду FR соответствует число «один»),

LO – нижняя граница (в таблице данных – число «два»),

UP – верхняя граница (в таблице данных – число «три»),

FX — переменная имеет фиксированное значение, заданное в поле 4, т.е. нижняя и верхняя границы равны (в таблице данных — число «четыре»).

Секция **ENDATA** состоит из одной записи, содержащей слово ENDATA в позициях 1–6, и означает конец MPS-файла.

# Onucaние BASIS – файла

Решение трудоемких задач можно значительно ускорить, если задать начальные значения переменных (базис). Начальные значения переменных задачи могут быть заданы в базисном файле. Используемый пакет может получить начальные решения из базисного файла (опция oldbasis в SPECS-файле), из файла данных (опция crash). Для ввода начального решения будет выбран только один из имеющихся способов. Способы ввода начального решения перечислены выше в порядке старшинства. Если входной базисный файл не специфицирован, будет действовать crash-опция, которая определяет алгоритм построения начального базиса.

Ключевой параметр **oldbasis** служит для задания имени базисного файла, из которого должна вводиться информация о начальном базисном решении, оформленная в **BITMAP**-формате. Первая строка этого файла содержит имя задачи, номер итерации, на которой этот файл создан, сообщение о текущем состоянии процесса, значение целевой функции. При вводе эта строка не обрабатывается. Из второй строки берется

число всех уравнений задачи и число всех переменных. Далее следует строки, содержащих признаки статуса переменных. Статус переменной может быть таким:

- 0 переменная небазисная, ее значение на нижней границе,
- 1 переменная небазисная, ее значение на верхней границе,
- 3 переменная базисная.

Последняя строка файла содержит ноль в 8-й позиции и пробелы во всех остальных.

Базисный файл редко готовится вручную, обычно используются файлы, созданные пакетом при предыдущих попытках решения данной или мало отличающейся от данной задачи.

Программный комплекс создает файл решения в BITMAP-формате, если он специфицирован опцией **newbasis** в SPECS-файле. Решения больших задач можно организовать за несколько прогонов, кроме того, **newbasis** может использоваться для сохранения текущего решения через каждые К итераций на случай аварии электропитания. Частота сохранения задается SPECS-параметром save.

## Схема работы МПК ОМВЕАР

На данный момент исходный базовый МПК *ОМВЕАР* состоит из четырех оптимизационных моделей в разрезе 44 видов экономической деятельности (рис. 4.5.2):

- статическая межотраслевая модель базового года (2019 г.)
- статическая (2019 г.) межрегиональная модель в разрезе федеральных округов с выделением Тюменской области;
- полудинамическая межотраслевая модель на период до 2035 г.;
- межотраслевая межрегиональная модель на период до 2035 г. Последовательность работы с Модельно-Программным Комплексом включает следующие пункты:
- 1) ручное описание структуры ОМММ (модели);
- 2) ручная подготовка входных данных в виде числовых таблиц;
- 3) программное формирование входного файла (MPS) для оптимизатора;
- 4) программное решение задачи линейного программирования (оптимизация);
- 5) программное чтение выходного файла оптимизатора;
- 6) программный вывод результатов в виде числовых таблиц;
- 7) ручной анализ решения.

Перед началом работы рекомендуется загрузить среду GUSEK по ссылке на сайте, распаковать архив (установка не требуется) и найти в нем программу glpsol, которая также загружает в текущую директорию следующие файлы:

- 1. OMBEAP ieie.xlsx
- 2. ДанныeTM2019.xlsx; OMTM\_2019.xlsx; PeшениeTM2019.xls
  - 3. Данные2019.xlsx; OMMM2019.xlsx; Решение2019.xls
- 4. ДанныеTM2035.xlsx; OMTM\_2035.xlsx; PeпieниeTM2035.xls
  - 5. Данные2035.xlsx; OMMM2035.xlsx; Решение2035.xls

При загрузке файла OMBEAP\_ieie.xlsx открывается рабочая книга Excel с главным меню модельно-программного комплекса, связывающим все используемые модели и управляющим базой данных. Данная книга имеет следующую структуру:

Лист 1. «Главное меню»

Лист 2. «Межотраслевая модель 2019»

Лист 3. «Межрегиональная межотраслевая модель 2019»

Лист 4. «Полудинамическая межотраслевая модель 2035»

Лист 5. «Полудинамическая межрегиональная межотраслевая модель 2035»

Лист 6. «Справка»

Из главного меню (рис. 4.5.2) можно попасть в лист 2 — меню управления статической межотраслевой моделью базового года (рис. 4.5.3), в лист 3 — меню управления оптимизационной межрегиональной моделью для 2019 года (рис. 4.5.4), в лист 4 — меню управления полудинамической межотраслевой моделью для 2035 года (рис. 4.5.5) и в лист 5 — меню управления полудинамической пространственной моделью 2035 года (рис. 4.5.6).

### МПК ОМВЕАР-2035



ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ

И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА



Рис. 4.5.2. Вид главного меню МПК ОМВЕАР



Рис. 4.5.3. Меню оптимизационной межотраслевой точечной модели

# МПК ОМВЕАР-2035



экономики

И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА



*Рис.* 4.5.4. Меню оптимизационной межотраслевой межрегиональной модели для 2019 года



Puc. 4.5.5. Меню оптимизационной полудинамической межотраслевой модели для 2035 года

### МПК ОМВЕАР-2035





*Puc.* 4.5.6. Меню оптимизационной полудинамической межотраслевой межрегиональной модели

В каждом меню управления оптимизационной модели для соответствующей задачи можно: а) формировать и корректировать файлы исходных данных (клавиша «Данные»); б) формировать структуру оптимизационной задачи (клавиша «Структура задачи»); в) просматривать решение модели (клавиша «Решение»).

### Формирование исходных данных

При нажатии клавиши «Данные» в меню управления открывается книга с массивами исходных данных для соответствующих задач, а также появляется окно для навигации по разделам этой книги. Лист «Меню» содержит названия последующих листов книги и имена массивов данных, которые в них содержатся (рис. 4.5.7). Нажав Ctrl-L на имя листа или массива, можно попасть в соответствующий лист книги. Клавиша «Главное меню» на листе «Данные» позволяет вернуться в первый лист «главную меню» книги ОМВЕАР\_ieie.xlsx, а клавиша «Меню» на листе «Данные» позволяет вернуться в меню управления соответствующей оптимизационной модели.

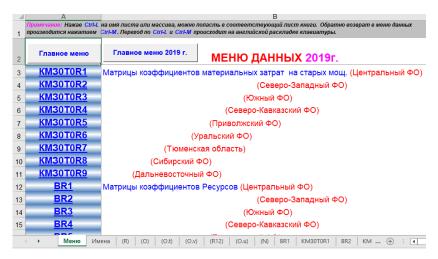


Рис. 4.5.7. Вид главного меню книги «Данные»

Выбрав интересующий массив данных (рис. 4.5.8), в нем можно работать как в обычной электронной таблице Microsoft Office Excel, изменяя значения, вставляя дополнительные формулы, изменяя названия переменных.

В массивах данных можно корректировать сразу всю строку, или весь столбец, или весь массив (матрицу), проставив в столбце или строке «Коэффициенты вариации» повышающий или понижающий коэффициенты вместо исходного коэффициента «1». Возврат в Главное меню данных производится нажатием **Ctrl-M**.

### Формирование структуры задачи

Сформировать структуру задачи означает определить количество и вид переменных, количество и вид балансовых ограничений, вид целевой функции для конкретной задачи линейного программирования.

Переход к формированию задачи осуществляется нажатием на кнопку «Структура задачи» из меню управления соответствующей модели.

Нажав клавишу «Структура задачи», пользователь попадает в лист «Модель» той же книги, в которой формируется структура соответствующей модели.

1												[		Þ	
×					Производ ство готовых металличе ских изделий	21	U. 00038C	0.000248	0.000010	0.000163	0.000000	1.00000			•
W					Цветная металлург ия	20	U.000257	0.000385	0.000074	0.000341	0.000000	1.00000 1.00000 1.00000			
^					Черная Цветная металлург металлург ия	19	U.000254	0.000200	0.000013	0.000010	0.00000	1.00000			
n					Прочие промическая неметалличе ская неметалличе ность минеральны е продукты	18	U. UUUZBU	0.000246 0.000200 0.000385 0.00024	0.000005 0.000013 0.000074 0.00001	0.000086 0.000010 0.000341 0.000163	0.00000 0.000000 0.000000 0.000000	1.00000			
_						17	り. ひひひろなめ	0.000248	0.000005	0.000155	0.000000	1.00000			
S					Производ ство нефтепро дуктов	16	U.00010Z	0.000055	0.00000	0.000157	0.00000	1.00000			
<b>~</b>					Производ ство кокса	15	1.0000.0	0.000107 0.000101 0.000055	0.000000 0.000000 0.000000	0.000524 0.000000 0.000157	0.000000 0.000000 0.000000	1.00000 1.00000			···
ø					целлюлоз но- бумажная промышле копирование ство кокса в нностъ	14	U.UUUZZU	0.000107	0.000000	0.000524	0.000000	1.00000			ŧ
۵					Целлюлоз но- бумажная промышле нность	13	U.UUUUDZ3	0.000473	0.000000	0.000236	0.000000	1.00000			BR2 KM30T0R2 BR3 KM30
0					Легкая промышле работка г	12	U.UUUUZ17   U.UUU0Z3	41 0.000170 0.000310 0.000473	42 0.000009 0.000001 0.000000	43 0.000038 0.000032 0.000236	44 0.000000 0.000000 0.000000	1.00000 1.00000 1.00000			KM30T0R1 BR2
Z					Легкая промышле нность	1	U.000112	0.000170	0.00000	0.000038	0.00000	1.00000			BR1
O		ξ			иповато демоН		40	41	42	43	44				Z
		I Te	8					изупа						-	(0.u)
		eHT <sub>b</sub>	ЫЙС	19	U\$98			и соцус	ocyr,		ишних	иации			(R12)
В		ИЦИ	ЛЬН	-од-50	#\$D\$55:\$AU\$98			нение г	торт, дс 1	ы услуг	гь дома	гы варі			(0:0)
		Коэффициенты текуц	Центральный ФО	Базовый год-2019	\$Q\$#			Здравоохранение и соцуслуги	Культура, спорт, досуг, развлечения	Прочие виды услуг	Деятельность домашних хозяйств	Козффиценты вариации			(0.0
		Š	Ē	<b>Б</b> а30				Здраг	Куль развл	Ноф⊔	Деятельн хозяйств	Козф			(R)
	HPIX														
A	Дан													-	Меню Имена
	Меню данных		Регион	_											Me
-	Σ		3 Per	4 Год		-	4	N.	(C)	_	00	66	100	-	
	_	2	ന	4	ro	9	מכ	95	96	97	86	တိ	5	101	

Puc. 4.5.8. Фрагмент листа книги «Данные»

Структура оптимизационной модели на языке КОМБИ-2000 (рис. 4.5.9) требует определения:

- 1) имен переменных и ограничений
- 2) целевой функции и типа оптимизации (максимум/минимум)
- 3) коэффициентов матрицы задачи линейного программирования
- 4) границ изменений переменных
- 5) знаков (равно/меньше/больше) и правых частей ограничений. Серым на рисунке обозначены метаданные, зеленым входные параметры модели, розовым решение.

	ИМЕНА ПЕРЕМЕННЫХ	тип. огр.	ГРАНИЦА	РЕШЕНИЕ	ОЦЕНКА
именд ограничений	БЛОКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ МАТРИЦЫ ЗАДАЧИ	знаки ограничений	правые части ограничений	ОПТИМАЛЬНЫЕ ЛЕВЫЕ ЧАСТИ ОГРАНИЧЕНИЙ	ДВОЙСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ОГРАНИЧЕНИЙ
>=	ВЕРХНИЕ ГРАНИЦЫ ПЕРЕМЕННЫХ				
<=	нижние границы переменных				
ФИКСАЦИЯ	ФИКСИРОВАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ				
РЕШЕНИЕ	ОПТИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ				
ОЦЕНКА	двойственные оценки переменных				

Рис. 4.5.9. Общая схема записи задачи линейного программирования

Подобный способ представления оптимизационных моделей позволяет описать задачу линейного программирования произвольного размера в наглядном и достаточно компактном виде (рис. 4.5.10).

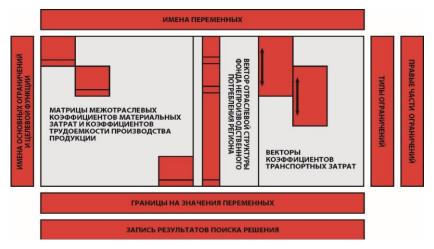


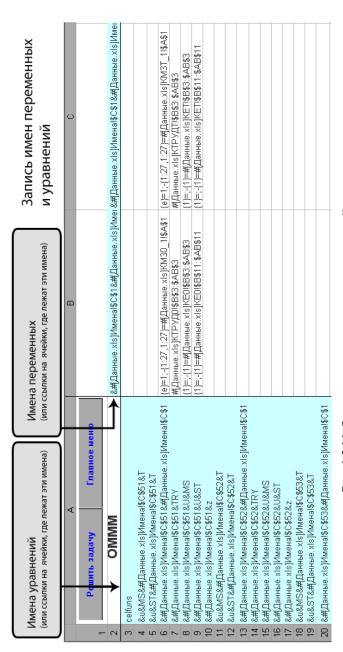
Рис. 4.5.10. Внутренняя структура блока коэффициентов

Запись имен переменных и уравнений

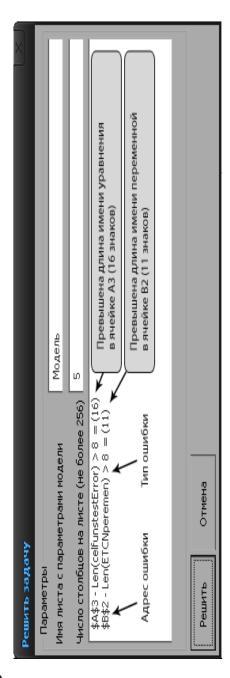
В крайнюю верхнюю значащую строку (рис. 4.5.11) электронной таблицы заносятся непосредственно имена переменных или ссылки на ячейку (т.е. координаты, определяющие расположение ячейки), где лежат эти имена или тексты задания на языке КОМБИ для формирования имен переменных. В крайнем левом столбце (см. рис. 4.5.11) содержатся имена уравнений или ссылки на ячейки, где лежат эти имена или тексты заданий на языке КОМБИ для формирования имен уравнений.

Конечные имена переменных и уравнений не должны превышать 8 знаков. В случае ошибки при формировании имен переменных и уравнений, в командном окне указывается адрес массива с указанием ошибки (рис. 4.5.12). Ячейку с именем, содержащим ошибку, программа выделяет желтым цветом. Нажав на строку диагностического сообщения, пользователь попадает в соответствующую ячейку.

Имена последних пяти строк столбца **A** текущей электронной таблицы: *«верхние», «нижние», «фиксация», «решение»* и *«оценка»* всегда должны замыкать список имен уравнений, и этот порядок изменять нельзя. Имена последних четырех столбцов строки 2: *«тип огр.», «граница», «решение»* и *«оценка»* всегда должны замыкать список имен переменных (рис. 4.5.13).



Puc. 4.5.11. Запись имен переменных и уравнений



Puc. 4.5.12. Примеры диагностических сообщений

	A		亩	2	台	OF
-	Решить задачу					
2	OMMM	&l&#Данные.xls]Имена!\$D\$1&#Данные.xls]Иментип огр.</th><th>ип огр.</th><th>граница</th><th>решение</th><th>оценка</th></tr><tr><th>55</th><th>8.#Данные.хіs]Именаі\$С\$588.#Данные.хіs]Именаі\$4(е)=1;{20,19}=1;{23,20}=1;{19,19}=;{20,20}=;{21}=:√3</th><th> e =1;(20,19 =1;(23,20 =1;(19,19 =;(20,20 =;(21 =;= </th><th>II.</th><th>#Данные.хIs]ПЧ</th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Данные.хIs]ПЧ #Решение.х#Решение.хIs]ОгОценкаI\$I\$З</th></tr><tr><th>99</th><th>&#[Данные.xls]Имена!\$С\$58&ТRY</th><th></th><th>1</th><th>3407000</th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Решение.х#[Решение.хІѕ]ОгОценкаі\$І\$З0</th></tr><tr><th>2/2</th><th>&#[Данные.xls]Имена!\$С\$58&U&MS</th><th></th><th><u> </u></th><th>0</th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Решение.х#[Решение.хІѕ]ОгОценкаі\$І\$З1</th></tr><tr><th>88</th><th>8#Данные.xls]Именаl\$C\$58&U&ST</th><th></th><th>II</th><th>0</th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Решение.х#[Решение.хІs]ОгОценка!\$I\$32</th></tr><tr><th>99</th><th>&#[Данные.xls]Имена!\$С\$58&z</th><th></th><th>11</th><th>0</th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Решение.х#[Решение.хІѕ]ОгОценкаі\$І\$ЗЗ</th></tr><tr><th>8</th><th>&#[Данные.xls]Имена!\$С\$51&RTB</th><th></th><th></th><th></th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Решение.х#[Решение.х s]ОгОценка!\$В\$34</th></tr><tr><th>6</th><th>8#Данные.xls]Имена!\$С\$52&RTB</th><th></th><th></th><th></th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Решение.х#Решение.хls]ОгОценка!\$С\$34</th></tr><tr><th>62</th><td>&#[Данные.xls]Именаl\$C\$53&RTB</td><td></td><td></td><td></td><td><b>#</b>Решение.></td><td>#Решение.х#[Решение.хІѕ]ОгОценкаі\$D\$34</td></tr><tr><th>8</th><td>&#[Данные.xls]Имена!\$С\$54&RTB</td><td></td><td></td><td></td><td><b>#</b>Решение.></td><td>#Решение.х#Решение.хIs]ОгОценка!\$Е\$34</td></tr><tr><th>64</th><th>&#[Данные.xls]Имена!\$С\$55&RTB</th><th></th><th></th><th></th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Решение.х#[Решение.хІѕ]ОгОценкаі\$F\$34</th></tr><tr><th>8</th><th>&#[Данные.хіs]Именаі\$С\$56&RTB</th><th></th><th></th><th></th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Решение.х#Решение.хIs]ОгОценкаі\$G\$34</th></tr><tr><th>88</th><th>&#Данные.хIs]Имена!\$С\$57&RTB</th><th></th><th></th><th></th><th>#Гешение.></th><th>#Решение.х#Решение.хIs]ОгОценка!\$Н\$34</th></tr><tr><th>8 29</th><th>&#Данные.хIs]Имена!\$С\$58&RTB</th><th>(1)=;-{1}=#Данные.хIs]ТКИ!\$В\$10:\$U\$10</th><th></th><th></th><th><b>#</b>Решение.></th><th>#Решение.х#Решение.хIs]ОгОценка!\$I\$З4</th></tr><tr><th>89</th><th>верхние</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr><tr><th>69</th><th>нижние</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr><tr><th>20 02</th><th>фиксация</th><th>#[Данные.xls]OrM!\$B\$10:\$U\$10</th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr><tr><th>71</th><th>решение</th><th>#[Решение.хIs]ОпИI\$В\$10</th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr><tr><th>72</th><th>оценка</th><th>#Решение.хIs]ОпИ!\$В\$28</th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr><tr><th>73</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr></tbody></table>				

*Puc.* 4.5.13. Завершение записи имен

### Запись целевой функции

Все параметры целевой функции обязательно должны содержаться в 3-й строке электронной таблицы. В ячейке А3 находится имя целевой функции. На пересечении имени целевой функции и имен переменных указаны коэффициенты (значения, ссылка на значения или на имена содержащих их массивов), с которыми данные переменные входят в целевую функцию модели. Чтобы максимизировать значение целевой функции, необходимо ввести в ячейку, находящуюся на перенесении 3-й строки электронной таблицы и столбца «тип огр.» слово «тах», чтобы минимизировать значение целевой функции — слово «тах» (рис. 4.5.14).

Запись элементов матрицы ограничений задачи

На пересечении названий уравнений и переменных в электронной таблице указаны коэффициенты (число, ссылка на ячейку, ее имя или тексты заданий на языке КОМБИ), с которыми данные переменные входят в данные ограничения. Началом координат элементов матрицы ограничений является ячейка **В3** таблицы. Количество ограничений в задаче может быть любым (рис. 4.5.15).

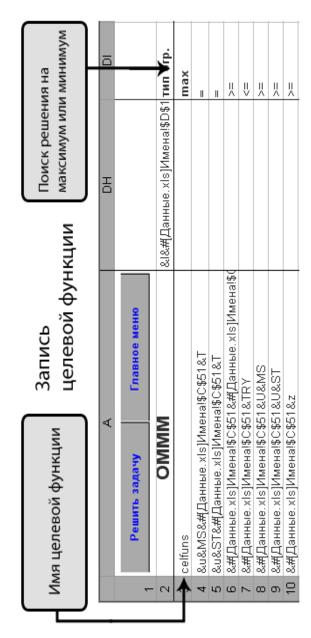
Запись верхних и нижних границ на значения переменных

Любая переменная в оптимизационной модели может иметь 1) нижнюю границу (LO); 2) верхнюю границу (UP); 3) фиксированное значение (FX) (рис.4.5.16).

Возможны варианты, когда переменная неограниченна (FR), неположительна (MI) или неотрицательна (PL).

Если какие-то переменные в модели должны иметь фиксированные значения, то необходимо на пересечении строк «Фиксация» со столбцами соответствующих имен переменных поставить эти значения (числа, ссылки на массивы, их имена или тексты заданий на языке КОМБИ).

Ячейки электронной таблицы на пересечении строк «Верхние» и «Нижние» со столбцами имен переменных могут иметь одно из следующих значений: число (или ссылку на массивы, их имена или тексты заданий), «ноль», пусто или слово «Free». Ниже приводятся типы границ переменных в зависимости от выбранных вариантов (табл. 4.5.2).



Puc. 4.5.14. Запись целевой функции

Запись элементов матрицы ограничений задачи

	₹		<b>a</b>	0
•	Решить задачу	Главное меню		
- 2	OMIMIM		&#Данные.хIs]Имена!\$С\$1&#Данные.хIs]Име</th><th>8#Данные.хіs]Именаі\$С\$18#Данные.хіs]Име́8#Данные.хіs]Именаі\$С\$18#Данные.хіs]Имен</th></tr><tr><th>m</th><th>celfuns</th><th></th><th></th><th></th></tr><tr><th>ব</th><td>&u&MS&#Данные.xls]Именаl\$С\$51&Т</td><td>наI\$C\$51&T</td><td></td><td></td></tr><tr><th>ιΩ</th><td>&u&ST&#Данные.xls]Именаі\$С\$51&T</td><td>al\$C\$51&T</td><td></td><td></td></tr><tr><th>ڡ</th><td>8.#Данные.хIs]Именаі\$С\$5</td><td>1&#Данные.хIs]Имена!\$(</td><td>8.#Данные.хіs]именаі\$С\$51.8.#Данные.хіs]Именаі\$({e}=1;-{1.27,1.27}=#Данные.хіs]КМЗО 11\$А\$Т [{e}=1;-{1.27,1.27}=#Данные.хіs]КМЗТ 11\$А\$Т</td><td>{е]=1,-{1:27,1:27}=#Данные.хІз]КМЗТ_1!\$А\$1</td></tr><tr><th>_</th><th>&#Данные.xls]Имена!\$С\$51&TRY</th><th>1&TRY</th><th>#Данные.xls]КТРУД0!\$В\$3:\$AВ\$3</th><th>#Данные.xls]КТРУДТ!\$В\$3:\$AВ\$3</th></tr><tr><th>ω</th><th>8#Данные.хIs]Именаі\$С\$51&U&MS</th><th>1&U&MS</th><th>{1]=;-{1]=#Данные.xls]КЕ0!\$В\$3:\$AВ\$3</th><th>{1}=;-{1}=#Данные.xls]КЕТ!\$В\$3:\$AВ\$3</th></tr><tr><th>თ</th><th>&#Данные.xls]Имена!\$С\$51&U&ST</th><th>1&U&ST</th><th>{1]=;-{1]=#Данные.xls]КЕ0!\$В\$11:\$AВ\$11</th><th>{1}=;-{1}=#Данные.xls]КЕТ!\$В\$11:\$AВ\$11</th></tr><tr><th>9</th><th>10 8#Данные.xls]Имена!\$С\$51&z</th><th>1&z</th><th></th><th></th></tr></tbody></table>	

Puc. 4.5.15. Запись элементов матрицы ограничений

# Запись верхних и нижних границ на значения переменных

					L
	∢		<u> </u>	П	_
•	Решить задачу	Главное меню			
- 2	ОМММ		&z&#Данные.xls]Имена!\$С\$51</th><th>&u&MS&#Данные.xls]Имена!\$С\$51</th><th>&u&MS&#Данные.xls]Имена!\$С\$51</th></tr><tr><th>33</th><td>37 &#Данные.xls]Именаі\$С\$58U&ST</td><td>%ST</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>88</th><td>38 8.#Данные.xls]Имена!\$С\$55&z</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>88</th><td>39 &u&MS&#Данные.xls]Именаl\$C\$56&T</td><td>:\$56&T</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>9</th><td>40 &u&ST&#Данные.xls]Имена!\$С\$56&Т</td><td>\$56&T</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>88</th><th>верхние</th><th></th><th>xls]OrnP0!\$B\$3:\$AB\$3</th><th></th><th></th></tr><tr><th>8</th><th>нижние</th><th></th><th>xls]OrnP0i\$B\$3:\$AB\$3</th><th></th><th></th></tr><tr><th>2</th><td>фиксация</td><td></td><td></td><td>#Данные.xls]OrKвl\$В\$3</td><td></td></tr><tr><th>71</th><td>решение</td><td></td><td>#Решение.xls]OnKП!\$С\$3</td><td>#[Решение.xls]OпКв!\$В\$3</td><td>#Решение.xls]ОпКв!\$G\$3</td></tr><tr><th>72</th><td>72 оценка</td><td></td><td>#Решение.xls]ОпКП!\$D\$3</td><td>#Решение.хIs]ОпКві\$В\$21</td><td>#Решение.xls]OпКві\$G\$21</td></tr><tr><th>l</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr></tbody></table>		

Puc. 4.5.16. Запись верхних и нижних границ на значения переменных

Типы границ переменных

			Строка «Верхни	ie»	
		«Free»	Число	Пусто	Ноль
	Free	переменная не ограниче- на	сверху ограничена числом, снизу не ограничена	переменная не ограни- чена	переменная неположи- тельная
Строка «Ниж- ние»	Число	сверху не ограничена числом, снизу ограничена на числом	переменная имеет верхнюю и нижнюю границы	сверху не ограничена числом, снизу ограничена числом	сверху огра- ничена нулем, снизу ограни- чена числом
	Пусто	переменная не ограниче- на	сверху ограничена числом	переменная неотрица- тельна	переменная неположи- тельна
	Ноль	переменная неотрица- тельна	сверху ограничена числом, снизу ограничена нулем	переменная неотрица- тельна	переменная фиксирована на нуле

### Запись типа ограничений задачи

На пересечении названий уравнений со столбцом «тип огр.» задаются типы (или ссылки на ячейки, где указаны типы) соответствующих ограничений модели (рис. 4.5.17). Тип ограничения в задаче может быть одним из следующих:

Обозначение	Значение
<< = >>	ограничение имеет знак равенства
«>=»	больше или равно;
«<=»	меньше или равно.

Если ячейка пустая, то в модели соответствующее ограничение не учитывается (исключается из задачи).

# Запись правых частей ограничений задачи

Значения правых частей основных ограничений модели задаются в столбце «граница». Значениями данного столбца могут быть как числа, так и ссылки на адрес ячеек, где указаны значения правых частей ограничений (рис. 4.5.18).

7	инелес типо ограниваний селит	Типы ограничений	ичений
<u> </u>	пись типа отраничении задачи		
	A	Н	ā
_	Решить задачу Главное меню		
- 2	ОМММ	&l&#Данные.xls]Именаі\$D\$1<b>тип огр.</b></th><th>тип огр.</th></tr><tr><td>m</td><td>3 celfuns</td><td></td><td>ı<b>X</b></td></tr><tr><td>ব</td><td>&u&MS&#Данные.xls]Имена!\$С\$51&Т</td><td></td><td>.   </td></tr><tr><td>w</td><td>&u&ST&#Данные.xls]Имена!\$С\$51&Т</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ی</td><td>  &#Данные.хIs]Имена!\$С\$51&#Данные.хIs]Имена!\$(</td><td></td><td>1,</td></tr><tr><td>_</td><td>&#Данные.хIs]Имена!\$С\$51&ТRY</td><td></td><td>=></td></tr><tr><td>ω</td><td>&#Данные.хIs]Именаі\$С\$51&U&MS</td><td></td><td>1</td></tr><tr><td>o</td><td>&#Данные.xls]Имена!\$С\$51&U&ST</td><td></td><td>    </td></tr><tr><td>0</td><td>10 8.#Данные.xls]Имена!\$С\$51&z</td><td></td><td>    </td></tr></tbody></table>	

Рис. 4.5.17. Запись типа ограничений

	A	IO	2
-	Решить задачу		
2	OMMM	тип огр.	граница
С	celfuns	max	
4	&u&MS&#Данные.хIs]Имена!\$С\$51&Т</th><th></th><th>0</th></tr><tr><th>w</th><th>&u&ST&#Данные.xls]Имена!\$С\$51&Т</th><th>=</th><th>0</th></tr><tr><th>ڡ</th><th> &#Данные.xls]Имена!\$С\$51&#Данные.xls]Имена!\$(>=</th><th>>=</th><th>#Данные.xls]ПЧ!\$В\$3:\$В\$29</th></tr><tr><th>_</th><td>8#Данные.xls]Имена!\$С\$51&ТRY</td><td>=></td><td>17098000</td></tr><tr><th>ω</th><td>&#Данные.хIs]Имена!\$С\$51&U&MS</td><td>>=</td><td>0</td></tr><tr><th>თ</th><td>&#Данные.xls]Имена!\$С\$51&U&ST</td><td>>=</td><td>0</td></tr><tr><th>9</th><td>8.#Данные.хIs]Имена!\$С\$51&z</td><td><u></u></td><td>0</td></tr><tr><th>1</th><td>&u&MS&#[Данные.хІѕ]Имена!\$С\$52&Т</td><td>=</td><td>0</td></tr><tr><th>12</th><td>&u&ST&#Данные.xls]Имена!\$С\$52&Т</td><td>=</td><td>0</td></tr><tr><th>13</th><td>  &#Данные.хІѕ]Имена!\$С\$52&#Данные.хІѕ]Имена!\$(>=</td><td>>=</td><td>#Данные.xls]ПЧ!\$С\$3:\$С\$29</td></tr><tr><th>14</th><td>8#Данные.xls]Имена!\$С\$52&ТRY</td><td>=></td><td>6590000</td></tr><tr><th>5</th><td>8#Данные.xls]Имена!\$С\$52&U&MS</td><td><u></u></td><td>0</td></tr><tr><th>9</th><td>&#Данные.хIs]Имена!\$С\$52&U&ST</td><td>>=</td><td>0</td></tr><tr><th>17</th><td>8.#Данные.хIs]Имена!\$С\$52&z</td><td><u></u></td><td>0</td></tr><tr><th>9</th><td>&u&MS&#Данные.хIs]Имена!\$С\$53&Т</td><td>=</td><td>0</td></tr><tr><th>19</th><td>&u&ST&#Данные.xls]Имена!\$С\$53&T</td><td>11</td><td>0</td></tr></tbody></table>		

Рис. 4.5.18. Запись правых частей ограничений

#### Запись результатов поиска решения

На пересечении строк «Решение» и «Оценки» со столбцами переменных стоит ссылка на книгу (лист, ячейку), в которую будут помещены оптимальные значения переменных прямой задачи и двойственной к ней (оценки).

На пересечении столбцов «Решение» и «Оценки» со строками имен ограничений имеется ссылка на книгу (лист, ячейку), в которую будут помещены оптимальные значения левых частей уравнений и оценки этих ограничений (рис. 4.5.19).

При желании пользователь может изменить количество ограничений, количество переменных, изменить знаки при переменных, вид ограничений, представление решения. Текст задания структуры модели записывается на специальном макроязыке, руководство по применению которого находится в листе «Справка» книги *ОМВЕАР\_ieie.xlsx*. Это язык «КОМБИ» преобразует массивы исходной информации в блоки матрицы задачи и выводит их в наборы данных, являющиеся входными для стандартных пакетов оптимизации.

Нажатием клавиши «Ctrl-R» на непустой ячейке листа «модель» книги *OMBEAP\_ieie.xlsx* (на английской раскладке клавиатуры), пользователь попадает в книгу (или лист), название которой следует после знака #. Это может быть книга «Данные» или «Решение» или любая другая. Таким образом можно ознакомиться с соответствующим массивом данных, имен или переменных решения.

### Решение оптимизационной задачи

Определив структуру задачи, пользователь нажимает клавишу «Решить задачу» в листе «Модель» для запуска задачи на счет. Программа предлагает командное окно, в котором запрашивается имя листа с параметрами модели и число столбцов на листе. В случае ошибки при формировании массива данных в командном окне указывается адрес массива с указанием типа ошибки. Ячейку, содержащую ошибку, программа выделяет желтым цветом. Нажав на строку диагностического сообщения, пользователь попадает в соответствующую ячейку. Когда все ошибки формирования массива задачи исправлены, программа позволяет нажать клавишу «решить» командного окна (рис. 4.5.20).

Puc. 4.5.19. Запись результатов поиска решения

8.#Данные.xls]Именаі\$С\$18.#Данные.xls]Именаі\$С\$51
8#Данные.xis]Именаі\$С\$518#Данные.xis]Именаі\$С\$1 [{e}=1,-{1.27,1.27}=#Данные.xis]КМ30_11\$A\$1
#Данные.xls]КТРУД0!\$В\$З:\$AA\$3
1/11=-1/11=# Nouncio vioiKFNIRB\$3 \$AB\$3
Решить задачу
Параметры
Имя листа с параметрами модели
Число столбцов на листе (не более 256)
\$8\$7 - 1,27 <> {1,26}
7
Отмена

Puc. 4.5.20. Вид фрагмента листа «Структура задачи»

После решения задачи программа предлагает командное окно, где запрашивается, выводить ли матрицу задачи, в котором массивы исходной информации преобразованы в наборы данных, в отдельную книгу. Матрица задачи может иметь очень большую размерность, поэтому ее целесообразно использовать только при отладке задачи (рис. 4.5.21).

В режиме отладки есть возможность запускать задачу прямо из массива полной матрицы задачи нажатием клавиши «решить задачу». Перед запуском матрицу следует сохранить. В этом режиме возможно также менять отдельные значения прямым вводом.

Для просмотра и анализа решения в стандартном режиме следует вернуться в «главное меню» книги *OMBEAP\_ieie.xlsx* (нажав Ctrl-Shft-M)

## Просмотр решения

Нажав на клавишу «Решение» главного меню, пользователь попадает в лист «Меню» книги «Решение» (рис. 4.5.22).

Лист «Меню» содержит названия последующих листов данной книги и имена массивов решений, которые в них содержатся. Нажав Ctrl-L на имя листа или массива, можно попасть в соответствующий лист книги. Возврат в Главное меню данных производится нажатием Ctrl-M или клавиши «Главное меню».

С массивами решения можно работать как с обычными электронными таблицами (рис. 4.5.23).

	Ą	8	ပ	0	ш	L	9	Ŧ	_	¬	$\times$	_	Σ	4
-	Решить задачу													
2		ETCN	NDCN	NPCN	. NOZ9	TPCN	BDCN	BOCN	CDCN	COCN	XMCN	XNCN	MSCN	LS(
m	3 celfuns													
귝	4 uMSCNT													
w	uSTCNT													
ڡ	CNET	0.910921	-0.03138	-0.03457	-0.03233	-0.05428	-0.13227	-0.04459	-0.03634	-0.04949	-0.1058	-0.05962	-0.03221	ợ
7	CNND	-0.00106	0.969846	-0.45335	-0.00675	-0.00052	0	-1.4E-05	0	-1.3E-05	0	-0.0194	-5.9E-05	ợ
ω	CNNP	-0.03948	-0.0161	0.995591	-0.00689	-0.00595	-0.01604	-0.0133	-0.01168	-0.00475	-0.00934	-0.01467	-0.01228	Ģ
0	CNGZ	-0.02423	-0.00063	-3.1E-05	0.966213	-0.00017	-0.00185	-0.00556	-0.00112	-0.00068	9800:0-	-0.00416	-0.00133	Ģ
0	CNTP	-0.01135	-0.00041	-4.1E-05	-7.1E-05	0.91926	0	-0.01844	0	-0.0006	0	-0.00442	-0.00147	
Ξļ	CNBD	0	0	0:	0;	-0.004	796776.0	-0.08476	-5.7E-05	-6.2E-05	-5.2E-05	-3.9E-06	0	i
8	CNTR	-0.01327	-0.05395	-0.00315	-0.02	-0.07279	-0.01673	-0.01041	-0.02604	-0.00683	-0.03189	-0.01213	-0.0135	Ģ
77	CNTO	-0.19547	-0.02216	-0.3117	-0.09692	-0.04354	-0.16988	-0.14543	-0.0598	-0.07376	-0.12056	-0.12891	-0.09221	Ģ
8	CNPR	-0.00264	-0.00342	-0.00095	-0.00365	-0.00293	-0.00032	-0.00194	-0.00045	-0.00146	-0.00185	-0.00335	-0.00244	マ
83	CNGH	-0.00495	-0.00208	-0.00068	-0.00108	-0.01274	-0.00626	-0.00355	-0.00655	-0.00188	-0.00486	-0.00177	-0.00599	Ģ
8	CNZO	-0.00232	-0.00257	-0.00062	-0.00063	-0.00381	-0.00314	-0.00257	-0.00179	-0.00038	-0.00228	-0.00058	-0.00193	Ģ
6	CNNG	-0.01047	-0.02601	-0.00638	-0.03157	-0.00548	-0.0259	-0.00602	-0.01694	-0.02402	-0.01072	-0.01747	-0.10025	Ģ
8	32 CNUF	-0.02294	-0.02634	-0.00588	-0.06129	-0.01409	-0.05051	-0.03037	-0.01109	-0.00611	-0.01095	-0.00592	-0.00903	٠l
¥	<ul> <li>MADAPHA (2/3/4/5/6.</li> </ul>							Ţ						_

Puc. 4.5.21. Вид фрагмента листа «Структура задачи»

damar. Hamao	
дится нажати	1 производится нажатием Ctrl-M. Переход по Ctrl-M производит на английской раскладке клавиатуры.
Главное меню 2019 г.	меню Решения-2019г.
Макро	Основные показатели прогноза развития экономики России
Произ	Объемы и структура производства
Отн.Х к N.	Отношения оптимальных объемов производства к мощностям в 2019 г. в %
КПотр	Объемы и структура максимизируемой части конечного потребления
<u>МатЗатрат</u>	Объемы и структура валового внутреннего продукта
OnOMC	Объемы и структура вывоза и ввоза продукции
ОпЭкспИмп	Объемы и структура экспорта и импорта продукции
СумВыВоз	10 <b>ОПОСУМВыВоз</b> Объемы и структура вывоза и ввоза продукции, включая экспорта и импорта
пМСДет	<b>опмсд</b> ет Матрица объемов межзональных перевозок
Огоценка	Оценки балансовых ограничений задачи
ПЧРешение	Оптимальные значения левых частей ограничений
енкаПр0Т0	<u>оценкапрото</u> Оценки ограничений на объемы производства
15 ОценкаОпЭОТО	Оценки ограничений на объемы экспорта
нкаОпИ0Т0	я Оценка Опраничений на объемы импорта  17
Меню	Metho Maxpo Npons Ontax K.N. KTorp OnOMC ONSKIMMI ONOCWBBBGs OrOute (+) :

Рис. 4.5.22. Вид главного меню книги «Решение».

4	А	8	ပ	0	П	ш	9	Ŧ	_	7	×	7
-	Меню решения	Основные показатели прогноза развития экономики России	оказател	онлодп иг	за разви	лия эко	номики Р	оссии				
			В целом по	В целом по Центральны Северо-	Северо-	Южный	Северо-	Приволжск	Уральски	Тюменска	Северо- Приволжск Уральски Тюменска Сибирский Дальневосто	Дальневосто
	- 2010r		Носсии	й ФО	Западный	Ф	Кавказский	ий ФО	й ФО без я область	я область	ОФ	чный ФО
	. IEI 07 G				ОФ		ОФ		Тюменско			
2									й области			
3		млн.руб	млн.руб 186 222 939		63 853 418 22 058 560 13 430 327	13 430 327	3 875 728		31 435 177 10 261 152 13 545 952	13 545 952	18 668 752	9 093 874
4	Валовой выпуск	Структура (в %)	100.00	34.29	11.85	7.21	2.08	16.88	5.51	17.7	10.02	4.88
9		к мощностям (в %)	90.49	96.26	92.15	91.76	86.65	89.27	94.65	74.15	92.73	76.01
9		млн.руб	74 053 140	25 020 000	8 321 440	8 321 440 6 999 000	3 369 230	11 510 900	3 775 610	2 872 740	098 856 9	5 225 860
£	Максимизируемая часть конечного	Структура (в %)	100.00	33.79	11.24	9.45	4.55	15.54	5.10	3.88	9.40	7.06
12	in production	к факту 2019г (в %)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
13		внут.вывоза	24.31	3.60	8.89	16.59	5.99	44.57	119.49	61.82	20.97	16.97
4	Доля вывоза в валовом продукте	экспорта	13.32	20.02	21.28	18.44	9.84	5.53	7.83	1.54	9.20	30.15
15	(10107 %) 91	вывоза (вкл.экспорта)	37.63	23.62	30.17	35.03	15.83	50.09	127.32	63.35	30.17	47.12
16		внут.ввоза	25.41	14.22	11.77	28.83	25.04	41.60	124.63	58.99	14.28	14.46
17	17 Доля ввоза в внутренном потреблении	импорта	9.62	13.26	16.47	96.6	6.13	3.33	5.28	2.99	8.53	34.90
9	(8 % , 20191)	ввоза (вкл.импорта)	35.06	27.49	28.24	38.79	31.17	44.93	129.91	31.97	22.81	49.36

Puc. 4.5.23 Вид фрагмента листа «макро»

# 4.6. Методические вопросы формирования информационной базы модельных расчетов МПК ОМВЕАР

Главные проблемы построения межрегиональных межотраслевых моделей, используемых для разработки пространственного и отраслевого разрезов долгосрочных народнохозяйственных прогнозов, обусловлены отсутствием в полном объеме прямых статистических данных, т.е. региональных таблиц распределения товаров и услуг. Расчет этих таблиц приходится осуществлять исходя из ограниченного набора прямых и косвенных показателей, которые позволяют определить пространственные структуры производства, потребления, накопления основного капитала и т.п. с точностью, достаточной для дальнейшего их использования в информационном наполнении межрегиональных межотраслевых моделей.

Первоначальный этап работы по расчету показателей региональных таблиц распределения — выбор классификатора видов экономической деятельности.

Используемый в настоящее время классификатор видов экономической деятельности (табл. 4.6.1) выбран в разрезе 44 видов экономической деятельности по классификатору ОКВЭД-2. Все предшествующие расчеты осуществлялись по моделям, построенным по более ранним версиям (ОКВЭД и ОКОНХ). Основные критерии выбора: 1) все агрегированные виды деятельности представлены как минимум одной отдельной позицией; 2) разделение добывающих и перерабатывающих производств; 3) разделение видов деятельности, отличающихся географией размещения производства; 4) разделение транспортабельной продукции и нетранспортабельной продукции; 5) выделение узкоспециализированных видов деятельности.

Следующий важный этап работы – расчет показателей выпуска в пространственном разрезе.

Доступная статистика не содержит показателей объемов выпуска в пространственном разрезе. Наиболее близкий к необходимым для информационного наполнения моделей показатель — объем отгруженной продукции, но он показывает лишь товарную часть производства и представляет лишь промышленную продукцию.

 $\it Taблицa~4.6.1$  Классификатор видов экономической деятельности

№	Отрасли (ОКВЭД-2)	Код
1	2	3
1	Сельское хозяйство, охота и услуги	A1
2	Лесоводство и лесозаготовки	A2
3	Рыбоводство и рыболовство	A3
4	Добыча угля	B1
5	Добыча нефти	B2
6	Добыча газа	В3
7	Добыча руд черных металлов	B4
8	Добыча руд цветных металлов	B5
9	Добыча прочих полезных ископаемых	В6
10	Пищевая промышленность	C1
11	Легкая промышленность	C2
12	Деревообработка	C3
13	Целлюлозно-бумажная промышленность	C4
14	Полиграфия и копирование	C5
15	Производство кокса	C6
16	Производство нефтепродуктов	C7
17	Химическая промышленность	C8
18	Прочие неметаллические минеральные продукты	С9
19	Черная металлургия	C10
20	Цветная металлургия	C11
21	Производство готовых металлических изделий	C12
22	Машиностроение	C13
23	Прочая промышленность	C14
24	Производство и распределение электроэнергии	D1
25	Производство и распределение газообразного топлива	D2
26	Производство и распределение тепловой энергии	D3
27	Водоснабжение, сбор и утилизация отходов	E0
28	Строительство	F0
29	Торговля, ремонт АТСиМ	G0
30	Железнодорожный транспорт	H1

Продолжение таблицы 4.6.1

1	2	3
31	Трубопроводный транспорт	H2
32	Прочий транспорт	Н3
33	Гостиницы и общепит	10
34	Информация и связь	Ј0
35	Деятельность финансовая и страховая	K0
36	Операции с недвижимым имуществом	L0
37	Деятельность профессиональная, научная, техническая	M0
38	Деятельность административная и сопутствующие услуги	N0
39	Госуправление и соцобеспечение	O0
40	Образование	P0
41	Здравоохранение и соцуслуги	Q0
42	Культура, спорт, досуг, развлечения	R0
43	Прочие виды услуг	S0
44	Деятельность домашних хозяйств	T0

Для целей адекватного представления реальных пропорций производства и распределения продукции наиболее подходящими являются натуральные показатели. Натурализация показателей производства и распределения — важнейший элемент совершенствования информационной базы используемых моделей. Основные цены, конечно, намного лучше цен потребления, но и они имеют существенный недостаток — в разных регионах могут быть различными. Поэтому для целей моделирования с максимальной приближенностью к реальным пропорциям распределения необходим переход, там, где это возможно, к построению таблиц исходя из показателей производства и распределения в натуральном выражении. Это несложно сделать в отношении отраслей, производящих монопродукты — уголь, нефть, газ, кокс, продукция лесозаготовок, электрическая и тепловая энергия.

Существенный недостаток таблиц в стоимостном выражении — это сложность их интерпретации и намного большая изменчивость как при смене классификатора, так и в силу изменяющейся организационной структуры производства.

Показатель  $X_{ij}$  в таблице "затраты-выпуск" интерпретируется обычно как расход продукции вида деятельности i на производство продукции вида деятельности j. В большинстве случаев это правильно. Но есть и существенные исключения. Если, например, i —это транспортировка и хранение, то  $X_{ij}$  — это не затраты на транспортировку и хранение продукции j. Это показатель той суммы, которую предприятия, у которых основной вид деятельности — j, заплатили транспортникам за перевозку и/или хранение потребленных ими в процессе производства товаров. А каких — на этот вопрос информация таблиц "затраты-выпуск" ответа не дает.

Самый яркий пример нестандартной интерпретации показателя таблиц затраты-выпуск  $X_{ij}$  — это торговля. В таблице распределения товаров и услуг за 2018 г. на пересечении строки "транспорт" и столбца "торговля" стоит очень большое число — 2,87 трлн руб. Выпуск торговли — это величина суммарной торговой наценки, и она не имеет ни веса, ни объема. Перевозка каких товаров обошлась в такую круглую сумму — неизвестно. Очевидно, что общая величина транспортной работы — это функция только от количества и видов перевозимых грузов, расстояний, количества перевалок и т.п. Но в явном виде такой функции в нынешних таблицах "затраты-выпуск" нет.

Поэтому даже в рамках России в целом при непосредственном использовании тех соотношений между объемами выпуска и структурой затрат, которые представлены в отчетных таблицах, могут иметь место серьезные погрешности в прогнозах динамики транспортной работы. Например, пусть через какое-то время ВВП страны вырос в 2 раза, но объемы перевозок самых транспортоемких массовых грузов не изменились. Пусть в 2 раза вырос и объем суммарной торговой наценки — но 2,87 трлн не превратятся в 5,74 трлн руб., нетранспортоемкие грузы не обусловят большой рост спроса на транспортные услуги.

Стоимостные показатели, в отличие от натуральных, часто не имеют сопоставимой с ними информационной ценности. Что означает, например, коэффициент 0,36 в столбце "производство и распределение электрической энергии" таблицы распределения товаров и услуг? Это не расход электроэнергии на собственные

нужды электростанций, поскольку эта часть электроэнергии не является товарной продукцией, и это не потери электроэнергии в сетях общего пользования — за них непосредственно тоже никто не платит. Это та сумма, которую заплатили электросети производителям электроэнергии, отнесенная к общему объему выпуска по данному виду деятельности, который состоит из двух крупных подотраслей — производство электроэнергии и распределение электроэнергии.

Показатель 0,36 может увеличиться, например, в результате разукрупнения пока еще единых сетей общего пользования. И тогда 0,36 может возрасти, например, до 0,5 или более. Может и уменьшиться, если, например, в общем объеме поставляемой энергии потребителям возрастет доля прямых (минуя сети общего пользования) поставок. Для сравнения — в таблицах за 2003 год, когда РАО ЕЭС еще была единой, внутриотраслевой оборот в электроэнергетике составлял лишь около 8%.

в электроэнергетике составлял лишь около 8%. Напротив, балансы производства и распределения электроэнергии в натуральном выражении более консервативны и не зависят от институциональных изменений в электроэнергетике. Производство плюс импорт (в киловатт-часах) минус расход на собственные нужды минус потери в сетях минус экспорт равно суммарному промежуточному и конечному потреблению. Аналогичными свойствами обладают и натуральные показатели распределения угля, нефти, газа, нефтепродуктов. При измерении в натуре (или в условном топливе) более стабильна и пространственная структура выпуска.

Возможности натурализации, конечно, ограничены наличной информационной базой. Для многономенклатурных отраслей ее практически нет, и возможность натурализации может появиться лишь при их разукрупнении (например, балансы распределения продукции сельского хозяйства в целом и даже растениеводства могут быть только в стоимостном выражении, в то время как по зерновым культурам они могут быть представлены в натуральном выражении.

Для многономенклатурных отраслей в качестве основного критерия расчета пространственной структуры производства приходится использовать пространственную структуру распределения показателя "объем отгруженной продукции". Для от-

раслей услуг объемы выпуска распределяются по регионам пропорционально величине добавленной стоимости в той ее части, которая входит в состав валового регионального продукта. Здесь принимается гипотеза о единообразии формул ценообразования по таким видам деятельности в разных регионах и, соответственно, о примерном равенстве доли добавленной стоимости в объеме выпуска.

Для отдельных видов деятельности валовая добавленная стоимость не полностью распределена по регионам, и часть ее учитывается только в масштабах страны в целом. При небольших различиях между полной величиной добавленной стоимости и распределенной по регионам часть добавленной стоимости, учитываемой лишь на народнохозяйственном уровне, разделяется между регионами в тех же пропорциях, как и распределенная часть. Параллельно осуществляется сопоставление с пространственной структурой налоговых и страховых поступлений (без НДС и акцизов) — они в этой части очень сильно коррелируются со структурой добавленной стоимости.

Особый случай – итоги финансовой деятельности, где по регионам распределено лишь около 10% добавленной стоимости. Необходимы какие-либо критерии пусть отчасти условного распределения. Логично в качестве базы использовать пространственную структуру численности занятых, но более обоснованным было принято распределение пропорционально налоговым и страховым поступлениям в бюджетную систему.

Важный этап в построении региональных таблиц распределения товаров и услуг — оценка региональных объемов и структуры конечного потребления домохозяйств.

Для пространственной разверстки данного показателя были использованы различные подходы:

1. Распределение пропорционально региональным объемам выпуска. По такому принципу рассчитываются показатели потребления здравоохранения, образования и других аналогичных услуг, так как почти 98% продукции таких отраслей приходится на конечное потребление, и затраты на промежуточное потребление в других отраслях малы.

- 2. Распределение пропорционально неполным данным о региональных объемах потребления. Такие данные публикуются для потребления электроэнергии (в натуральной форме), а также для потребления услуг почты и электросвязи (в ценах покупателя), услуги туристических агентств.
- 3. Распределение пропорционально данным о доходах населения. Это в первую очередь относится к объемам потребления отраслей, выпуск продукции которых сильно зависит от покупательской способности населения (сельское хозяйство, пищевая и легкая промышленность, торговые и транспортные услуги и т.д).
- 4. Расчет по косвенным данным. Такой подход используется для финансовой деятельности региональные показатели исчисляются на основе показателей распределения кредитных организаций и их филиалов по ФО.
- 5. Расчет по национальной таблице использования. Например, если потребление домохозяйств по отдельным отраслям добычи в этой таблице отсутствует, то и региональные объемы потребления также равны нулю.

Расходы на конечное потребление госучреждений складывается из расходов на коллективные услуги (это более чем на 95% потребление продукции самого госуправления и обеспечения военной безопасности) и на индивидуальные (где около 90% приходится на образование, здравоохранение и другие — физкультуры, соцобеспечения, культуры и искусства). Затраты таких отраслей на промежуточное потребление в других отраслях малы и составляют около 3—4% от объемов выпуска, логично предположить, что такие же пропорции будут иметь место в каждом регионе. Поэтому расходы на конечное потребление госучреждений таких отраслей нематериальных услуг в каждом регионе может быть определен пропорционально региональным объемам выпуска. По остальным отраслям региональные расходы распределяется в соответствии с пространственной структурой конечного потребления домохозяйств.

Показатели инвестиций в основной капитал представлены в таблицах распределения товаров и услуг в разрезе трех видов деятельности — машиностроение, строительство и операции с недвижимостью, аренда и предоставление услуг (в составе последнего вида деятельности — это проектно-изыскательские и буровые

работы). Доступная статистика дает возможность разделить объемы накопления основного капитала по этим трем основным позициям, эти данные не полные, но приближенные к общим объемам инвестиций, и выход на полные объемы может быть осуществлен пропорциональным увеличением всех трех составляющих.

Для оценки пространственной структуры экспорта и импорта используется следующий подход:

- 1) для товаров прямые данные таможенной статистики;
- 2) для услуг экспорт пропорционально данным о региональных объемах выпуска, а импорт пропорционально данным о региональном конечном потреблении домохозяйств.

При первоначальной оценке распределения по отраслям регионального промежуточного потребления для всех регионов используются общероссийские показатели материалоемкости (удельного промежуточного потребления), рассчитанные на основе национальной таблицы использования товаров и услуг.

(удельного промежуточного потреоления), рассчитанные на основе национальной таблицы использования товаров и услуг.

В результате всех перечисленных процедур получаются первоначальные региональные таблицы распределения товаров и услуг. Естественно, что они будут иметь дисбалансы по видам деятельности. Следующий шаг — это устранения этих дисбалансов. Для отдельных отраслей эти дисбалансы будут незначительными по самой методике, и потребуются формальные методы балансировки. В случае возникновения значительных дисбалансов используются уже неформализованные экспертные оценки.

## 4.7. Моделирование поведения экономических агентов на базе моделей «затраты-выпуск».

#### 4.7.1. Взаимосвязь ОМММ и АОМММ

В основе агент-ориентированной модели лежит действующая малоразмерная межрегиональная межотраслевая балансовая модель типа ОМММ, и для ее обозначения используется термин агент-ориентированная многорегиональная межотраслевая модель (АОМММ). Пространственный аспект экономических АОМ разрабатывается авторским коллективом ИЭОПП СО РАН под руководством В.И. Суслова, предложившим агент-ориентированную межотраслевую многорегиональную модель сначала с уче-

том только частных агентов. Затем были разработаны версии АОМММ с включением государства. Модель опирается на ОМММ, с ее акцентом на межрегиональные и межотраслевые взаимодействия. Один из вариантов малоразмерной ОМММ используется для инициализации. В частности, при моделировании производственных технологий частных фирм и государственных предприятий используются те же самые леонтьевские технологии, а технологические коэффициенты для них основаны на ОМММ и, в конечном счете — на таблице «затраты-выпуск» российской экономики за соответствующие годы. Также используется аналогичное разбиение на регионы и производственные секторы.

и производственные секторы.

Экономика находится в постоянном изменении, причем эти изменения относятся как к пространственной, так и к отраслевой структуре. Таким образом, пространственный фактор является существенным для моделирования российской экономики, имеющей комплексный характер. Преимущество агентных моделей состоит в том, что они позволяют более адекватно отразить сложную динамическую и пространственную природу явлений, происходящих в крупной экономике.

Одной из основных особенностей АОМММ является то, что агенты (домохозяйства и фирмы) расположены в физическом пространстве, и во взаимодействии агентов через товарные рынки в явном виде учитывается географическое расположение агентов. Данную особенность можно использовать для решения задач, связанных с пространственными и региональными аспектами российской экономики. Дополнительным преимуществом агентного подхода является его гибкость и универсальность, позволяющая адаптировать модель по мере необходимости к решению новых задач. Например, (и в этом существенное отличие от балансовых моделей) в АОМММ в явном виде моделируется структура конечного продукта, распределение доходов, государственный сектор, включающий производство общественных благ и социальную сферу. Программная архитектура модели основана на таких принципах, которые облегчают модификации, введение в модель новых блоков и совершенствование существующих. В частности, детальность описания экономики можно усиливать и переходить ко все более подробным алгоритмам поведения

агентов и способам их взаимодействия, повышая тем самым степень реалистичности и степень соответствия между результатами моделирования и реальностью.

Существенное влияние на конструкцию АОМММ оказали теоретические микроэкономические модели и модели общего равновесия (Эрроу–Дебре). Стационарное состояние, к которому приходит виртуальная агент-ориентированная экономика в долгосрочном плане при неизменности технологий и других фундаментальных параметров экономики, во многом аналогично состоянию общего равновесия в экономической теории, а имитационные эксперименты по сравнению результатов различных сценариев при выходе на стационарность аналогичны теоретическому анализу сравнительной статики. Алгоритмы, отвечающие за поведение агентов построены с учетом классических микроэкономических моделей, но не включают явные оптимизационные задачи.

Также структура модели связана с моделями несовершенной конкуренции в условиях продуктовой дифференциации. При этом в основе продуктовой дифференциации здесь лежит неполная рациональность и несовершенство информации, а не стремление к разнообразию, как в моделях, восходящих к подходу Диксита—Стиглица. Подход к транспортным издержкам аналогичен тем подходам, которые применяется во многих моделях теории отраслевых рынков, учитывающих пространственный аспект.

Таким образом, с одной стороны АОМММ опирается на на-

Таким образом, с одной стороны AOMMM опирается на надежный фундамент классической экономической теории, а с другой принадлежит к классу прикладных моделей, по которыми накоплен большой практический опыт работы в ИЭОПП СО РАН.

В модели АОМММ выделяется пять основных групп агентов: домашние хозяйства, частные, государственные предприятия, правительства разных уровней бюджетной системы и Пенсионный фонд. На микроэкономическом уровне в модели выделяется три основные группы агентов: домашние хозяйства, потребляющие частные и общественные товары и поставляющие трудовые ресурсы, фирмы, производящие частные товары, и государственные предприятия. Фирмы продают свою продукцию домохозяйствам, государственным предприятиям и другим фирмам через товарные рынки (по одному на каждый товар) на основе конкурентного механизма торговли. Работающие домохозяйства предостав-

ляют свою рабочую силу фирмам и государственным предприятиям через рынок труда.

Вариант пространственной многорегиональной межотраслевой модели, используемый в экспериментальных исследованиях социальной политики, включает 3 региона (Запад, Восток и Центр), 300 домашних хозяйств, 150 фирм (при формировании производственно-технологических множеств и обработке информации объединяемых в 4 отрасли по производству частных товаров), 3 обобщенных государственных предприятия, отвечающих за услуги транспорта. Обобщены государственные предприятия, выпускающие один вид федеральных и три вида региональных общественных товаров и соответствующие отраслям с номерами 52–56 классификации продуктов ОКПД межотраслевого баланса РФ (включая государственное управление и обеспечение военной безопасности, образование, здравоохранение и предоставление социальных услуг).

На макро- и мезоэкономическом уровнях государство представлено группой агентов, включающей федеральные и региональные правительства, а также Пенсионный фонд. Таким образом, в задачи государственных агентов входит обеспечение как экономической эффективности, так и социальной справедливости. Информация из малоразмерной ОМММ используется прежде всего на этапе инициализации пространственной АОМММ.

всего на этапе инициализации пространственной АОМММ. В исходной ОМММ выделено пять отраслей: добыча, обработка, строительство, транспорт и услуги. В текущем базовом варианте АОМММ к перечисленным отраслям добавляется шестая отрасль — производство общественного товара. Для пяти исходных отраслей задаются те же технологические коэффициенты, что и в малоразмерной ОМММ. Государственные компании в модели представляют собой упрощенный вариант фирмы и подразделяются на две группы: производящие общественные блага и относящиеся к транспорту. Общественные товары бесплатны для потребителей-домохозяйств и финансируются за счет государственного бюджета. Цена общественного товара для правительства устанавливается по принципу фиксированной наценки к издержкам. Транспортные услуги в текущем варианте АОМММ финансируются за счет устанавливаемого по принципу фиксированной наценки к издержкам транспортного тарифа.

# 4.7.2. Моделирование капитала, труда и финансовых ресурсов в пространственной агент-ориентированной модели

Основной капитал в АОМММ

В производстве продукция рассматривается как однородная, а различия проявляются на этапе покупки. Такой подход позволяет рассматривать предприятия как однопродуктовые. Предприятия используют несколько видов производственных факторов: товары промежуточного потребления, трудовые ресурсы и капитальные товары. Данные ресурсы закупаются на соответствующих рынках. Технологические возможности предприятия описываются производственной функцией, которая определяет объемы производственных факторов, необходимые для производства запланированного объема продукции. Используется леонтьевская функция вида:

$$y_{jt} = \min\left\{\min_{i} \frac{x_{jit}}{a_{ji}}, \min_{c} \frac{K_{jct}}{a_{jKc}}, \frac{L_{jt}}{a_{jL}}\right\}. \tag{4.7.1}$$

Здесь  $y_{jt}$  – выпуск продукции предприятием j в период t,  $x_{jit}$  – материальные затраты промежуточных производственных факторов из сектора i,  $a_{ji}$  – технологический коэффициент материальных затрат,  $K_{jct}$  – запас основного капитала вида c,  $a_{jKc}$  – коэффициент капиталоемкости,  $L_{jt}$  – используемое в период t количество труда,  $a_{jL}$  – коэффициент трудоемкости. Все эти величины измеряются в натуральном (физическом) выражении.

То, что производственная функция имеет леонтьевскую форму, означает линейность затрат производственных факторов по объему производства. Для сырья, материалов и других подобных ресурсов модель предполагает пропорциональность их затрат объему производства  $y_{jt}$  т. е.  $x_{jit} = a_{ji}y_{jt}$ . Модель также исходит из достаточно большой гибкости при использовании трудовых ресурсов. Поэтому предполагается пропорциональность затрат труда объему производства, т.е.  $L_{jt} = a_{jL}y_{jt}$ . Эти производственные факторы закупаются в требуемом количестве каждый период.

Основной капитал входит в модель особым образом — он может быть недогружен. Поэтому его запасы  $K_{jct}$  определяют ограничения сверху на объем производства:

$$y_{jt} \le \frac{K_{jct}}{a_{jKc}}. (4.7.2)$$

Ограничения по основному капиталу неправильно было бы считать нежесткими, поэтому здесь удобно ввести переменную  $\hat{y}_{jt}$ , отвечающую за уровень производственных мощностей фирмы. Данная величина определяется по формуле:

$$\hat{y}_{jt} = \min_{c} \frac{K_{jct}}{a_{jKc}}. (4.7.3)$$

В терминах мощностей технологические ограничения для основного капитала можно записать одним неравенством:

$$y_{jt} \le \hat{y}_{jt}. \tag{4.7.4}$$

Изменение размера общественного сектора сопровождается соответствующими изменениями в запасах основного капитала у агентов-производителей, что обеспечивается выбором инвестиционной политики агентов-производителей на микроуровне. На макроуровне это приводит к изменению отраслевой и территориальной структуры запасов основного капитала и соответствующему изменению структуры валового продукта и других макроэкономических показателей.

Предполагается, что у каждого агента-производителя есть некоторые однородные запасы капитала разных видов  $c=1,...,N_c$ . На текущем этапе разработки в базовом варианте модели есть два вида капитала: «Станки и оборудование» и «Здания и сооружения» (т. е.  $N_c=2$ ). Они производятся соответствующими предприятиями капиталообразующих отраслей: «Обработка» и «Строительство», соответственно. В этих отраслях производятся также и другие виды товаров (товары промежуточного потребления и потребительские товары), при этом для моделирования производства этих товаров используются те же самые технологические коэффициенты.

В текущем варианте модели агент-производитель может увеличить размер своих запасов капитала за счет покупки, но не может уменьшить размер этих запасов за счет продажи ранее приобретенного капитала. Уменьшение запасов основного капитала каждого вида c происходит только за счет выбытия, определяемо-

го постоянным коэффициентом выбытия  $\delta_{jc}$ . За один период t выбывает  $\delta_{jc}K_{jc,t-1}$  основного капитала, где  $K_{jc,t-1}$  — запасы на конец предыдущего периода. Соответственно, к концу периода остается  $(1 - \delta_{ic})K_{ict}$ .

В каждом периоде t капитал увеличивается за счет инвестиций, определяемых объемом вновь приобретенного фирмой капитала  $D_{jKct}$  вида c. Инвестиции безгранично делимые, дискретность капитала не учитывается. Инвестиционные лаги также не учитываются. Все капитальные блага, которые фирмы приобрели в период t, могут быть использованы в производстве сразу же в этом периоде.

Таким образом, в производстве в период t используются запасы капитала  $K_{jct}$ , которые образуются после выбытия и покупки нового капитала в начале периода:

$$K_{ict} = (1 - \delta_{ic})K_{ic,t-1} + D_{iKct}. \tag{4.7.5}$$

Если предприятие j планирует производить не меньше, чем  $\hat{y}$ , то ему следует запланировать закупки капитального блага c в объеме:

$$D_{jKct} = \max\{a_{jKc}\hat{y} - (1 - \delta_{jc})K_{jc,t-1}, 0\}. \tag{4.7.6}$$

При расчете объема инвестиций в денежном выражении предприятия ориентируются на некоторые прогнозные цены капитальных товаров. Если  $\bar{p}_{jKc,t-1}$  — ожидания по поводу цены капитального блага вида c, сформированные на основе информации, доступной к концу периода t-1, то ожидаемая требуемая сумма капитальных затрат задается формулой:

$$\overline{\text{ReqInv}}_{jt}(\hat{y}) = \sum_{c=1}^{N_c} \bar{p}_{jKc,t-1} \max \{ a_{jKc} \hat{y} - (1 - \delta_{jc}) K_{jc,t-1}, 0 \}.$$
(4.7.7)

Пусть  $\operatorname{PlInv}_{ft}$  – планируемый объем инвестиций. При данном инвестиционном бюджете  $\operatorname{PlInv}_{f,t-1}$ , выбранном в период t-1, агент-производитель вычисляет плановые мощности  $\hat{y}$ , решая следующее уравнение:

$$PlInv_{f,t-1} = \overline{ReqInv}_{ft}(\hat{y}). \tag{4.7.8}$$

Указанные формулы — общие для любого агентапроизводителя, частного или государственного. Однако выбор размера бюджета инвестиций в основной капитал для частных фирм и государственных компаний в модели основан на разных принципах.

Рассмотрим выбор частной фирмой f размера внутрифирменных инвестиций в период t. В общем случае фирма может расширять производство как за счет собственных средств (прибыли), так и из других источников. В модели используется финансирование внутрифирменных инвестиций только за счет прибыли самой фирмы. Финансирование фактически происходит за счет прибыли до вычета издержек на возмещения выбытия, но после выплаты налогов. Обозначим данный показатель ProfitInv $_{ft}$ .

Общие ограничения на планируемый объем инвестиций включают условие неотрицательности и требование, что  $\operatorname{PlInv}_{ft}$  не выше  $\operatorname{ProfitInv}_{ft}$ . При этом предполагается, что  $\operatorname{ProfitInv}_{ft} > 0$ . Если фирме требуется в следующей период иметь мощности не ниже  $\hat{y}$ , то с учетом имеющихся средств планируемые инвестиции равны:

$$PlInv_{ft} = \min \left\{ \overline{ReqInv}_{f,t+1}(\hat{y}), ProfitInv_{ft} \right\}. \tag{4.7.9}$$

В модели использован простой режим капитализации прибыли, в котором инвестиции определяются как фиксированная доля от величины  $\operatorname{ProfitInv}_{ft}$ . А именно, планируемые инвестиции равны:

$$PlInv_{ft} = \kappa ProfitInv_{ft}, \qquad (4.7.10)$$

где  $\kappa$  – некоторый заданный коэффициент,  $\kappa \in (0; 1)$ .

Что касается моделирования динамики основного капитала в государственных компаниях, транспорте и производстве общественных товаров, то структура и используемые алгоритмы для двух отраслей одинаковы, поэтому дальнейшее относится к обеим отраслям. Для госкомпании, производящей общественный товар, объем производства определяется величиной заказа со стороны

правительства. В свою очередь, правительство исходит из величины полученных в предыдущий период доходов бюджета. Для компании, производящей услуги транспорта, объем производства определяется общей величиной спроса на эти услуги со стороны всех агентов. Эти факторы определяют в конечном счете объем инвестиций в соответствующих государственных компаниях.

В текущем варианте модели используется упрощенный подход к моделированию инвестиций в госкомпаниях. Используются приведенные выше формулы, но в них полагается, что для госкомпании s выполнено  $K_{sc,t-1} = a_{sKc}\hat{y}$ . Это означает, что капитал в каждом периоде подстраивается под текущие производственные нужды. Таким образом, при упрощенном моделировании инвестиций, если госкомпания s планирует производить не меньше, чем  $\hat{y}$ , то ему следует запланировать закупки капитального блага c в объеме:

$$D_{sKct} = \delta_{sc} a_{sKc} \hat{y}. \tag{4.7.11}$$

Соответственно, ожидаемая требуемая сумма инвестиционных затрат равна:

$$\overline{\text{ReqInv}}_{st} = \sum_{c=1}^{N_c} \bar{p}_{sKc,t-1} \delta_{sc} a_{sKc} \hat{y}. \tag{4.7.12}$$

Общая величина госинвестиций  ${\rm Inv}_{gt}$  в период t складывается из инвестиционных затрат по госкомпаниям.

#### Особенности моделирования труда

Рынок труда в модели упрощенный. На нем имеется единая цена — ставка заработной платы. Совокупный спрос на труд складывается из затрат труда всех агентов-производителей. Совокупное предложение труда складывается из запасов труда всех домохозяйств  $\bar{L}_{ht},\ h=1,...,N_h$ . Условия равновесия для рынка труда имеют обычный вид:

$$\sum_{j} L_{jt} = \sum_{j} a_{jL} y_{jt} = \sum_{h} \overline{L}_{ht}. \tag{4.7.13}$$

Однако в каждый конкретный момент t рынок не уравновешен. Балансирование спроса и предложения производит агент «Рынок труда», который играет роль вальрасовского аукциониста, нащупывающего равновесие за счет корректировки цены.

В экспериментах запасы труда  $\overline{L}_{ht}$  поддерживались на неизменном уровне, и множество агентов-домохозяйств не менялось. Таким образом, при изменении размера общественного сектора трудовой ресурс должен быть перераспределен таким образом, чтобы обеспечить соответствующую реструктуризацию по отраслям и сегментам экономики. При этом наименее гибким производственным фактором как в модели, так и в реальной жизни является основной капитал.

Моделирование финансовых ресурсов, находящихся в распоряжении государства

Государство представлено двумя основными типами агентов, действующих на различных уровнях.

На микроэкономическом уровне наряду с домохозяйствами и фирмами действуют государственные предприятия, которые обеспечивают производство общественных благ и услуг транспортной отрасли. Их поведение аналогично частным фирмам. Оно базируется на принятии решений о производстве на основе производственных функций леонтьевского типа и последующем предъявлении спроса на труд, капитал и частные товары, необходимые для производства. Отличительные особенности госпредприятий, предоставляющих общественные блага, не с производством их продукции, а с ее использованием: произведенные блага потребляются всеми потребителями в одинаковом объеме и бесплатно. В текущем варианте модели государственные инвестиции осуществляются на микроуровне двумя группами предприятий: производящими общественные блага, характеризующимися социальной направленностью инвестиционной деятельности, и предоставляющими услуги транспорта, обеспечивающими развитие транспортной инфраструктуры.

На макроэкономическом уровне представлено расширенное правительство, включающее федеральное правительство и Пенсионный фонд. Социальная политика государства разрабатывается на этом уровне и обеспечивается при формировании доходов и расходов бюджета каждого агента расширенного правительства. В текущих версиях модели бюджетные дефициты не рассматриваются. Доходы Пенсионного фонда образуются за счет страховых взносов и полностью расходуются на выплату пенсий.

Доходы государственного бюджета в период t формируются за счет поступлений  $T_t$  трех налогов: НДС, подоходного налога и налога на прибыль, а также за счет перечисления прибыли государственными предприятиями  $\operatorname{Profit}_{gt}$ . Для доходов бюджета расширенного правительства к ним добавляются страховые взносы.

Расходы федерального бюджета в период t  $E_t$  включают расходы на закупки общественных благ  $\bar{G}_t$  в количестве  $g_t$  по цене  $p_{gt}$  ( $\bar{G}_t = p_{gt}g_t$ ) и социальные трансферты  $S_t$ . Расходы расширенного правительства включают также пенсии.

Отметим, что цена на общественные блага устанавливается при закупках у государственных предприятий и включает НДС. При этом обеспечивается сочетание принципа платности в процессе взаимодействия федерального правительства и госпредприятий с одновременным бесплатным предоставлением общественных благ домохозяйствам.

Для моделирования социальной политики в каждый период  $t=1,\ldots,T$  учитывается семь видов социальных трансфертов в денежном измерении  $S_{xt}, x=1,\ldots,7$ : пособия по безработице, детские пособия, пособия по бедности, социальная помощь, безусловный базовый доход, пенсии и псевдотрансферт. Последний вид трансферта выплачивается пропорционально доходам и носит условный вспомогательный характер, обеспечивая сопоставимость вариантов расчетов при попарном сравнении различных пособий. Выплата пенсий финансируется за счет страховых взносов как маркированных налогов и учитывается целевым образом через Пенсионный фонд.

Для социальных трансфертов с номерами  $x=1,\ldots,5$  задается их индивидуальные веса  $\beta_x$  и суммарный вес  $\beta=\sum_{x=1}^5\beta_x$  в бюджетных расходах  $E_t$ :

$$S_{xt} = \beta_x E_t, S_t = \sum_{x=1}^5 S_{xt} = \beta E_t. \tag{4.7.14}$$

Суммарные расходы  $S_{xt}$  на выплату каждого социального трансферта затем распределяются между домохозяйствами в соответствии с коэффициентами дифференциации, определяемыми характеристиками реципиентов и особенностями каждого транс-

ферта. Детальное описание способов моделирования отдельных трансфертов содержится в статье [Новикова, Цыплаков, 2020].

Следует подчеркнуть, что при неизменных налоговых ставках установление определенной доли суммарных трансфертов в бюджетных расходах одновременно задает соотношение двух частей этих расходов, соответственно, соотношение двух направлений социальной политики в соответствии с критериями справедливости и эффективности. При этом критерий справедливости лежит в основе целевой ориентации разнообразных пособий на цели обеспечения социальной защищенности и преодоления неравенства, а критерий эффективности — в основе ориентации государственных закупок общественных товаров на решение проблемы преодоления провалов рынка и создания человеческого капитала как одного из важнейших ресурсов в условиях современного HTP.

Для проведения расчетов по изменению общей суммы налогов и трансфертов используется спецификация модели с соответствующими коэффициентами пропорциональности. Чтобы более ясно представить результаты различных масштабов перераспределения, для трансфертов задаются коэффициенты пропорциональности  $k^s$  по сравнению с базовым вариантом:  $\beta = k^s \, \tilde{\beta}$ , где  $\tilde{\beta}$  — суммарный вес трансфертов в бюджетных расходах базового варианта, остающийся неизменным во всей серии модельных экспериментов. При этом общая сумма социальных пособий в базовом варианте определяется как  $\tilde{S}_t = \tilde{\beta} \, E_t$ .

Аналогичный подход используется при определении налоговых доходов. В каждом варианте налогообложения задается коэффициент пропорциональности  $k^{tax}$ , на который умножаются все налоговые ставки. Тогда для налоговых поступлений выполняется соотношение:  $T_t = k^{tax} \, \tilde{T}_t$ , где  $\tilde{T}_t$  — налоговые доходы в базовом варианте. Для этого варианта коэффициенты пропорциональности и для трансфертов, и для налогов устанавливаются равными единице. Тогда условие баланса бюджетных доходов и расходов в период t можно представить следующим образом:

$$k^{tax} \tilde{T}_t + \text{Profit}_{gt} = \bar{G}_t + k^s \tilde{S}_t. \tag{4.7.15}$$

В приведенном соотношении ясно прослеживается противоположная зависимость между объемом государственных закупок

общественных товаров  $(\bar{G}_t)$  и величиной социальных трансфертов  $(k^s\,\tilde{S}_t)$ , представляющих части единого целого и ограниченных суммой налоговых доходов (с точностью до относительно небольшой величины перечислений в бюджет прибыли госпредприятий). Наоборот, при росте общей суммы налогов  $(k^{tax}\,\tilde{T}_t)$  возникает возможность одновременного увеличения и госзакупок, и трансфертов. При этом структура социальных трансфертов фиксируется, но соотношение двух направлений социальных расходов (предоставления общественных благ и трансфертов) определяется эндогенно.

Более широкое понимание финансовых ресурсов, находящихся в распоряжении государства, базируется на агрегированной информации о расходах микроэкономических агентов в формате межотраслевого баланса и формирования промежуточного и конечного использования продукции, согласно которой все показатели рассчитываются в основных ценах, без учета налоговых добавок. Соответствующие государственные расходы  $GS_t$  включают государственное конечное потребление  $G_t$ , государственные инвестиции  $Inv_{gt}$  (выделяемые из состава валового накопления) и социальные трансферты  $S_t$  (не входящие в ВВП):

$$GS_t = G_t + \text{Inv}_{qt} + S_t. \tag{4.7.16}$$

Данное определение используется в качестве основного для определения масштабов общественного сектора по финансовым ресурсам. Оно дополняется понятием расходов расширенного правительства, включающим также выплату пенсий.

Масштабы общественного сектора по критерию удельного веса капитала и труда определяются на основе объемов использования соответствующих материальных ресурсов в производстве общественных товаров и предоставлении транспортных услуг. Аналогично рассчитываются государственные инвестиции и их удельный вес в общем объеме инвестиций на основе агрегирования инвестиционных решений государственных предприятий по производству общественных товаров и транспортных предприятий.

#### Литература к главе 4

- Баранов А.О., Бузулуцков В.Ф., Гореев А.В., Дзюба Ю.А., Ершов Ю.С., Ибрагимов Н.М., Колюжнов Д.В., Павлов В.Н., Слепенкова Ю.М., Суслов В.И., Суслов Н.И. Развитие единого комплекса средств анализа и прогнозирования экономических структур, расположенных на территории Азиатской России // Новый импульс Азиатской России / под ред. В.А. Крюкова, Н.И. Суслова; Сибирское отделение Российской академии наук, Институт экономики и организации промышленного производства. − Новосибирск: Изд-во СО РАН; Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2022. − Гл. 12. − С. 413-490.
- 2. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008.
- 3. Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А. Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование. Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2007.
- 4. Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А. Интеграция подхода "затраты-выпуск" в агенториентированное моделирование. Часть 1. Методологические основы // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 1. С. 86—99. ВАК. URL: Электронный ресурс (pdf).
- 5. Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А. Интеграция подхода "затраты-выпуск" в агент-ориентированное моделирование. Часть 2. Межрегиональный анализ в искусственной экономике // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 2. С. 15–25. ВАК. URL: Электронный ресурс (pdf).
- 6. Ибрагимов Н.М. Анализ и моделирование пространственного развития экономики (на примере стран СНГ и России) / ответственный редактор В.И. Суслов. Новосибирск: Арсенал, 2021. 203 с. ISBN 978-5-93856-558-6
- 7. Ибрагимов Н.М., Душенин А.И., Ершов Ю.С. Программный комплекс регионализации межотраслевых балансовых таблиц РЕГИД-1 (577 кб): свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021617942 Российская Федерация / Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук. Новосибирск, 2021. 1 с. URL: Электронный ресурс (Web) (дата обращения: 13.08.2021). Заявка № 2021617023, дата заявки: 04.05.2021; опубл. 20.05.2021 Бюл. № 5.
- 8. Межрегиональные межотраслевые балансы. Новосибирск: Наука, 1983.

- Модели, анализ и прогнозирование пространственной экономики: монография / отв. ред. В.И. Суслов, науч. ред. Ю.С. Ершов; ИЭОПП Сибирского отделения РАН. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2022. 479 с. URL: Электронный ресурс (pdf) (дата обращения: 20.07.2022). ISBN 978-5-89665-364-6; DOI: 10.36264/978-5-89665-364-6-2022-001-480
- 10. Новикова Т.С., Цыплаков А.А. Разработка социальной политики на основе сочетания агент-ориентированного и межотраслевого подходов. DOI: 10.31737/2221-2264-2021-52-4-1 // Журнал Новой экономической ассоциации. 2021. № 4 (52). С. 12-36. Scopus, WoS, RSCI, BAK. URL: Электронный ресурс (pdf) (дата обращения: 21.12.2021).
- 11. Суслов В. И., Новикова Т. С., Цыплаков А. А. Моделирование роли государства в пространственной агент-ориентированной модели // Экономика региона. 2016. Т. 12. Вып. 3. С. 951–965.
- 12. Суслов В.И., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Костин В.С., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А. Агент-ориентированная многорегиональная модель "затраты-выпуск" российской экономики // Экономика и математические методы. 2016. Т. 52, № 1. С. 112—131.
- Суслов В.И., Ибрагимов Н.М. Модельно-программный комплекс прогнозирования и анализа территориальной структуры экономики // Экономическое развитие России: региональный и отраслевой аспекты. Вып. 6. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2005.
- 14. Суслов В.И., Ибрагимов Н.М., Доможиров Д.А. Моделирование и анализ пространственного равновесия в экономике России. DOI: 10.15372/REG20210403 // Регион: экономика и социология. 2021. № 4. С. 82-96. RSCI, BAK.
- 15. Суслов В.И., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В. Коалиционный анализ и эффекты межрегиональной интеграции = Coalition Analysis and Effects of Regional Integration. DOI: 10.17059/2018-4-6 // Экономика региона. 2018. Т. 14, вып. 4. С. 1131–1144. Scopus, WoS. URL: Электронный ресурс (pdf)
- 16. Agent Based Model with Capital and Credit // Journal of Economic Dynamics and Control. 2015. Vol. 50. Pp. 5–28.
- 17. Albrecht J. et al. MOSES Code. Stockholm: IUI. 1989.
- 18. Assenza T., Delli Gatti D., Grazzini J. Emergent dynamics of a macroeconomic agent based model with capital and credit. Journal of Economic Dynamics and Control. 2015. Vol. 50. C. 5–28.
- 19. Atkinson A. B. Economics as a Moral Science. Oxford: Nuffield College, 2008.

- Dawid H., Harting P., van der Hoog S., Neugt M. Macroeconomics with Heterogeneous Agent Models: Fostering Transparency, Reproducibility and Replication // Journal of Evolutionary Economics. – 2019. – Vol. 29. – Pp. 467–538.
- 21. Dosi G. et al. Fiscal and Monetary Policies in Complex Evolving Economies // Journal of Economic Dynamics and Control. 2015. Vol. 52. Pp. 166–189.
- 22. Ershov Y.S., Ibragimov N.M., Dushenin A.I. Input-Output Table Regionalization and Multiregional Input-Output Model Development Algorithm. DOI: 10.17516/1997-1370-0781 // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences = Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки. 2021. Vol. 14, № 7. P. 1018–1027. Scopus.
- 23. Furtado B.A. Policy space: agent based modeling. Rio de Janeiro: Ipea. 2018.
- 24. Melnikova L., Suslov V., Tsyplakov A., Ibragimov N., Domozhirov D., Kostin V. Spatial Aspects of Agent-Based Modeling of Large Economy // ERSA 2015. World Renaissance: Changing roles for people and places: The 55th ERSA congress. Lisbon, Portugal, 25–28 August 2015 [Electronic resource]. Lisbon (Portugal), 2015. S\_ZC. Application of Agent Based Models for Economic and Financial Systems. USB flash-drive [# 603. 13 p.]. JEL classification codes: C63, R1, D58. URL: Электронный ресурс (html).
- 25. Novikova T.S., Tsyplakov A.A. Social policy in a multi-regional agent-based model // Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. 2020. No. 13, 3. Pp. 129–142.
- 26. Seppecher P., Salle I., Lang D. Is the market really a good teacher? // Journal of Evolutionary Economics. 2019. Vol. 29. P. 299–335.
- 27. Teglio A., Mazzocchetti A., Ponta L., Raberto M., Cincotti S. Budgetary Rigour with Stimulus in Lean Times: Policy Advices from an Agent-Based Model // Journal of Economic Behavior and Organization. 2019. Vol. 157. P. 59–83.
- 28. Tsyplakov A.A., Melnikova L.V., Ibragimov N.M. Agent-Based Modeling of Spatial Economic Systems: a Review. DOI: 10.17516/1997-1370-0869 // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences = Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки. 2021. № 14 (12). С. 1910–1919. Scopus, BAK. URL: Электронный ресурс (Web) (Date of the application: 10.01.2022).
- 29. Wolf S., Fürst S., Mandel A. et al. A multi-agent model of several economic regions // Environmental Modelling & Software. 2013. Vol. 44(C). Pp. 25–43.

#### Глава5

### СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЕ МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ МОДЕЛИ

#### 5.1. OMBEAP-9C -

модель направленной детализации модели OMBEAP, методические, информационные и прогнозные аспекты

## 5.1.1. OMBEAP-ЭС – модель направленной детализации. Постановка задачи.

В работе [1, с. 474—480] кратко охарактеризован МПК (модельно-программный комплекс) ОМВЕАР-ЭС (Энергетический сектор) — специализированный МПК с детализированным представлением отраслей топливной промышленности и энергетики. Основу комплекса составляют статическая межотраслевая межрегиональная модель базового года (2019) и полудинамическая межотраслевая межрегиональная модель с прогнозным периодом 2020—2035 гг. Далее рассмотрим более детально постановку модели, принципы и задачи ее построения и функционирования.

Следует отметить одну особенность построения ОМВЕАР-ЭС. С одной стороны, для нее используются принципы построения модели ОМММ-ТЭК, которая на протяжении многих лет применяется в ИЭОПП СО РАН в рамках проекта СОНАР-ТЭК (Согласование Отраслевых и НАроднохозяйственных Решений) информационно-программно-модельного (ИПМК) ОМММ-ТЭК, адаптированного к системе национальных счетов [2,3,4]. Ее назначение – оценка в режиме сценарных расчетов макроэкономических эффектов и последствий в национальном и региональном разрезе от различных мероприятий, проводимых в ТЭК, а основное свойство – совмещение в рамках единой модели различных методических подходов, в том числе макроэкономического и межрайонного анализа, межотраслевого и стоимостного натурального энергетического балансов. В этом смысле ОМММ-ТЭК выступает как протомодель, от которой ОМВЭАР-ЭР наследует ряд характеристик.

С другой стороны, ОМВЕАР-ЭС по способам построения и по целеполаганию рассматривается как модель «направленной детализации» ОМВЕАР, т.е. выполняющей функцию детализации ряда видов деятельностей и продуктов ТЭК, которые в ОМВЕАР представлены агрегированно, что предполагает возможность их совместного использования. Результатом такого совместного функционирования должно быть достижение взаимно однозначного соответствия решений обеих моделей (и следующего за ним этапа анализа решений), которое может быть получено итеративным путем через обмен информацией между моделями. и соответствующей корректировкой показателей. Поэтому построение ОМВЕАР-ЭС, которая по замыслу является своего рода дополнением ОМВЕАР, хронологически осуществлялось позже в рамках уже существующей методологии построения последней по следующим направлениям: 1) обеспечение информационной согласованности исходных данных (таблиц «затраты-выпуск», отдельных стоимостных показателей для моделей базового года); 2) согласованность формальных постановок задач и максимальное их сближение, где это возможно (идентичная региональная сетка моделей, идентичность или близость отраслевой номенклатуры); 3) полное единообразие используемых языков программирования и принципов получения и ввода информации и обработки результатов решений моделей [1, с. 474].

# 5.1.2. Особенности построения ОМВЕАР-ЭС. Сравнительные характеристики

Решение задачи построения OMBEAP-ЭС с максимальным приближением к OMBEAP на основе единой информационной базы и использования единых методических подходов потребовало ряда изменений в структуре модели по сравнению с ее прототипом OMMM-ТЭК. Следует отметить следующие важные моменты, которые характеризуют сходство или различия OMBEAP-ЭС и OMBEAP.

Изменение региональной структуры. Региональная структура ОМММ-ТЭК включает шесть макрорегионов РФ, в том числе

пять восточных, образующих три федеральных округа: Западную Сибирь, Восточную Сибирь, Тюменскую область с Ханты-Мансийским и Ямало-Ненецким автономными округами, Уральский федеральный округ без Тюменской области, Дальневосточный федеральный округ. Европейские регионы страны объединены в один макрорегион — Европейскую Россию. Для ОМВЕАР-ЭС принята региональная структура ОМВЕАР, состоящая из девяти регионов — разбиение страны на восемь федеральных округов с выделением из Уральского федерального округа Тюменской области (с автономными округами). Разделение Уральского федерального округа на два макрорегиона — Тюменскую область и остальную часть федерального округа позволяет рассматривать страну в двухзональном разрезе Европейской и Азиатской России.

и Азиатской России.

Изменение критерия оптимизации модели. Вместо критерия максимизации «затрат на фактическое конечное потребление домашних хозяйств в заданной межрегиональной и отраслевой структуре», который применяется в ОМММ-ТЭК, вводится (как в ОМВЕАР) критерий максимизации части конечного продукта в заданной межрегиональной и отраслевой структуре. Этот показатель включает ряд компонент. Это (в соответствии со структурой конечного продукта таблицы использования товаров и услуг СНС за 2019 г.) затраты на конечное потребление домашних хозяйств, расходы государственного управления на индивидуальные и коллективные товары и услуги, расходы некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства, а также изменение запасов материальных оборотных средств.

Моделирование экспорта и импорта. В ОМММ-ТЭК экспорт и импорт товаров и услуг представляется в виде фиксированных переменных, т.е. параметров (констант). В ОМВЕАР экспорт и импорт товаров и услуг моделируется в основных ценах также в формате параметров (констант), но специфическим образом. Специфика заключается в придании этим параметрам вида фиксированных переменных, наделенных затратными характеристиками. То есть фиксированная переменная экспорта і-го продукта становится технологическим способом, имеющим затраты транспорта определенного вида (или нескольких видов транспорта) в пограничных регионах, которые

регион несет на вывоз экспортной продукции за пределы страны. При оптимизации объема транспортной работы региона по данному виду транспорта эти затраты добавляются к затратам региона на вывоз продукции в другие регионы. Таким образом, прогнозируемая структура и величины экспорта становятся фактором, воздействующим на величину транспортной работы региона. Аналогично к региональным транспортным затратам пограничного региона на ввоз продукции из других регионов добавляются дополнительные затраты региона на импорт продукции в регион, и прогнозируемая структура и величина импорта, таким образом, также становятся фактором, воздействующим на величину транспортной работы региона.

Другой особенностью ОМВЕАР является установление вза-

Другой особенностью ОМВЕАР является установление взаимно однозначного соответствия между экспортом и импортом, выраженными в основных ценах, участвующими в оптимизационной задаче, и экспортом и импортом, представленными в торговом и платежном балансах в ценах покупателей в рублевом и долларовом эквиваленте. Изложенные подходы используются и при построении ОМВЕАР-ЭС.

и при построении ОМВЕАР-ЭС.

Отраслевая номенклатура модели ОМВЕАР-ЭС. В табл. 5.1.1 приведена номенклатура отраслей и видов деятельностей ОМВЕАР-ЭС, которая идентична или максимально приближена, где это возможно, к номенклатуре ОМВЕАР. Многие названия отраслей взяты (в случае идентичности отрасли группировке по видам деятельности ОКВЭД2) из названий разделов и подразделов классификатора ОКВЭД2 или из названий столбцов таблицы использования товаров и услуг за 2019 г., которая также построена по ОКВЭД2. В то же время порядок отраслей ОМВЕАР-ЭС в табл. 5.1.1 унаследован от модели ОМММ-ТЭК и отражает блочную структуру построения последней. Блоком является часть столбцов и строк уравнений модели, объединяемых общностью функциональной задачи блока. Подход к структуре модели как к объединению различных функциональных блоков предполагает выделение «ядра», которое является неизменной частью модели, и элементов «периферии», которые могут меняться и развиваться. Выделяются производственный, транспортный, инвестиционный блоки и блок макроэкономических показателей [2, с.41–42].

 $\it Tаблица~5.1.1$  Отраслевая и продуктовая номенклатура OMBEAP-ЭС

	Отраслевая и продуктовая номенклатура ОмъЕАР-ЭС
	1.Подблок не связанных с ТЭК отраслей и видов деятельностей*
1	Добыча и обогащение руд черных металлов
2	Производство черных металлов
3	Добыча и обогащение руд нежелезных металлов. Добыча урановой и ториевой руд
4	Производство цветных металлов. Производство ядерного топлива
5	Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования
6	Добыча полезных ископаемых, кроме металлических руд и топливно- энергетических полезных ископаемых, указанных в подблоке 3
7	Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения
8	Производство бумаги и бумажных изделий
9	Деятельность полиграфическая и копирование носителей информации
10	Производство прочей неметаллической минеральной продукции
11	Производство текстильных изделий, одежды, кожи и изделий из кожи
12	Производство пищевых продуктов, напитков, табачных изделий
13	Прочие обрабатывающие производства. Ремонт и монтаж машин и оборудования
14	Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях
15	Лесоводство и лесозаготовки
16	Рыболовство и рыбоводство
17	Торговля, оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов
18	Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания
19	Деятельность в области информации и связи
20	Деятельность финансовая и страховая
21	Деятельность по операциям с недвижимым имуществом
22	Деятельность профессиональная, научная и техническая
23	Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги
24	Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение
25	Образование
26	Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг

	Продолжение таблицы 5.1.1
	1.Подблок не связанных с ТЭК отраслей и видов деятельностей*
27	Деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений
28	Предоставление прочих видов услуг
29	Деятельность домашних хозяйств как работодателей; недифференцированная деятельность частных домашних хозяйств
	2. Подблок сопряженных с ТЭК отраслей и видов деятельностей
30	Производство машин, оборудования и транспортных средств
31	Производство химических веществ и химических продуктов; производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях; производство резиновых и пластмассовых изделий
32	Строительство
33	Бурение на нефть и газ (эксплуатационное и разведочное бурение)
34	Деятельность железнодорожного транспорта
35	Деятельность нефтепроводного магистрального транспорта
36	Деятельность газопроводного магистрального транспорта
37	Деятельность прочего транспорта общего пользования, складская и вспомогательная деятельность
38	Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений
39	Производство, передача и распределение газа
	3. Подблок видов деятельностей и продуктов ТЭК
40	Добыча угля
41	Добыча жидкого топлива
42	Добыча газообразного топлива
43	Производство кокса
44	Производство темных нефтепродуктов
45	Производство светлых нефтепродуктов
46	Производство, передача и распределение электроэнергии
47	Производство, передача и распределение пара и горячей воды

<sup>\*</sup>Исключением является отрасль 6, продукция которой может использоваться в технологиях, вырабатывающих тепловую и электрическую энергию и потребляющих топливно-энергетические ресурсы, не указанные в подблоке 3 (торф, дрова, сланцы и т.д.)

Производственный блок ОМВЕАР-ЭС модели состоит из трех подблоков, показанных в табл. 5.1.1:
1) Группа отраслей, не связанных с ТЭК: с 1-ой по 29-ю пози-

- цию. Номенклатура этого блока полностью совпадает с номенклатурой ОМВЕАР (см. табл. 4.6.1 гл. 4). Это то самое упомянутое
- турой ОМВЕАР (см. табл. 4.6.1 гл. 4). Это то самое упомянутое выше неизменное «ядро» относительно которого может меняться (развиваться) «периферия», т.е. отрасли подблоков (2) и (3).

  2) Группа отраслей, в той или иной степени сопряженных с ТЭК: с 30-й по 39-ю отрасль. Здесь для достижения взаимно однозначного соответствия с ОМВЕАР в одну позицию из трех, представленных в номенклатуре ОМММ-ТЭК, были сагрегированы два специализированные вида машиностроения, производящих оборудование для энергетики и топливной промышленности и «общее» машиностроение. Аналогично две отрасли ОМММ-ТЭК производство химических веществ и продуктов и производство резиновых и пластмассовых изделий объединяются в одерждения одерждения одерждения объединя одерждения одер ТЭК – производство химических веществ и продуктов и производство резиновых и пластмассовых изделий объединяются в одну как в ОМВЕАР. Этот агрегированный вид деятельности включает также позицию «производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях». В отличие от ОМВЕАР отрасль «трубопроводный транспорт» разделена на две сопряженные с добычей нефти и газа отрасли нефтепроводного и газопроводного транспорта. Выделена фондосоздающая (капиталообразующая) отрасль «бурение» на нефть и газ, которая отсутствует в ОМВЕАР.
- 3) Семь отраслей ТЭК, производящих восемь продуктов (с 40-й по 47-ю позицию в табл. 5.1.1). Этот подблок, который выборочно включает виды деятельности, взятые из трех разделов ОКВЭД2 (добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, обеспечение электрической энергией, газом и паром, водства, обеспечение электрической энергией, газом и паром, кондиционирование воздуха), выражает основную особенность ОМВЕАР-ЭС. Если в двух первых подблоках каждым из перечисленных видов деятельностей (отраслями) производится один продукт или услуга, то в подблоке 3, чтобы сохранить такое соответствие с продуктовыми балансами: а) в ряде случаев вид деятельности объединяет несколько технологий модели, производящих один продукт (добыча угля); б) отрасль, производящая два продукта (нефтепереработка), разделена на производство каждого продукта: в) комбинируются визы пертен ностей объединяющие продукта; в) комбинируются виды деятельностей, объединяющие

производство одного продукта в разных отраслях (добыча нефти и попутного газа, добыча газа и газового конденсата). Поэтому представление в подблоке 3 номенклатуры модели дается в «смешанной» форме видов деятельностей и одновременно отдельных продуктов.

В соответствии с приведенной отраслевой номенклатурой ОМВЕАР-ЭС построение балансов инвестиций осуществляется по следующим четырем видам инвестиций (в скобках приводится номер капиталообразующей отрасли из табл. 5.1.1):

- 1) Производство машин, оборудования и транспортных средств (№ 30)
  - 2) Строительно-монтажные работы (№ 32)
- 3) Бурение. Буровые работы на нефть и газ, включая эксплуатационное и разведочное бурение. (№ 33)
- 4) Прочие инвестиционные затраты, включая затраты на проектно-изыскательские работы, кроме разведочного бурения на нефть и газ (№ 22)

Представление в ОМВЕАР-ЭС обобщенных технологий ТЭК. Детализация топливно-энергетических отраслей в ОМВЕАР-ЭС, как следует из табл. 5.1.1, доведена до восьми продуктов, а сферы их производства и использования в существенной степени представлены в виде обобщенных типов технологий, что позволяет осуществлять оптимизацию материально-вещественных связей ТЭК одновременно в стоимостном и натуральном разрезах в привязке к отдельным технологиям.

Перечислим, давая необходимые комментарии, группы технологий (производственных способов), составляющих «технологическую структуру» приходной части продуктовых балансов отраслей ТЭК в модели ОМВЕАР-ЭС.

Добыча угля. Добыча угля описывается двумя способами: а) добыча угля в шахтах б) добыча угля на разрезах. Способы, как и угольная отрасль в целом, в соответствии с ОКВЭД2 включают в своей стоимостной оценке как добычу, так и обогащение угля.

Производство кокса. Как вид деятельности производство кокса не разбивается на технологии и поэтому полностью идентичен с аналогичной отраслью ОМВЕАР. Ее продуктовой основой является производство кокса из каменного угля на металлургических комбинатах и коксохимических заводах.

Переработка нефти и газа. В ОМММ-ТЭК технологии переработки углеводородного сырья (нефти поступившей на переработку, газового конденсата, природного и попутного газа) моделируются тремя способами: а) первичная переработка нефти с выходом темных и светлых нефтепродуктов; б) углубленная переработка, сырьем для которой являются тяжелые фракции темных нефтепродуктов, поступившие от первичной переработки, с выходом только светлых нефтепродуктов; в) переработка газа, продукты которой также отнесены к светлым нефтепродуктам [2, с.48–49]. Поскольку из анализа специальной литературы следует, что трудно определить стадию, на которой прекращается выход темных нефтепродуктов при углубленной переработке, в ОМВЕАР-ЭС принят упрощенный подход: способы а) и б) объединены в одну технологию, производящую два продукта. Генерация электрической и тепловой энергии. Обобщенные

технологии, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию, представлены в ОМВЕАР как типы энергетических объектов, использующих альтернативные виды органического топлива или не использующие их вообще:

- 1. A<sub>3</sub>C
- 2. ГЭС и ГАЭС (гидроаккумулирующие электростанции) 3. КЭС, ГТЭС (газотурбинные электростанции) и прочие ТЭС (на газе, угле, мазуте, прочих видах топлива)
  - 4. ТЭЦ (на газе, угле, мазуте, прочих видах топлива)
- 5. ДЭС дизельные электростанции, использующие в качестве топлива дизельное топливо или другие светлые нефтепродукты 6. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ), кроме ГЭС
- и ГАЭС
  - 7. Котельные (на газе, угле, мазуте, прочих видах топлива)
  - 8. Электрокотлы
  - 9. Промышленные теплоутилизационные установки (ТУУ)

9. Промышленные теплоутилизационные установки (ТУУ) Показанные в списке технологии, расходующие в качестве топлива мазут, в разрезе отраслевой номенклатуры модели фактически участвуют в формировании расходной части материального баланса темных нефтепродуктов, а ДЭС, например, использующие дизельное топливо или бензин соответственно участвуют в формировании расходной части материального баланса светлых нефтепродуктов. Поскольку в рассматриваемой версии ОМВЕАР-ЭС

технология ВИЭ не детализирована по типам электростанций (солнечных, ветровых, геотермальных), а моделируются одним обобщенным способом в регионе, общее число производственных способов с учетом альтернативного использования топлива достигает восемнадцати. Ряд технологий (ТЭЦ, КЭС, АЭС) моделируются двухпродуктовыми производственными способами, т.е. производящими одновременно электрическую и тепловую энергию.

Следует заметить, что если перечисленные выше типы энергетических объектов, данные о которых приводятся в официальной статистике, позволяют охватить производство всей электроэнергии, то в случае тепловой энергии перечисленными технологиями охватывается производство только централизованного тепла. В ОМММ-ТЭК с использованием экспертных оценок была сделана попытка учета всей генерации тепловой энергии (централизованной и децентрализованной) через дополнительный ввод таких типов энергетических объектов, как мелкие котельные и АИТ (автономные источники теплоснабжения).

Формальная запись различий ОМВЕАР-ЭС. В разделе 4.4 гл. 4

Формальная запись различий ОМВЕАР-ЭС. В разделе 4.4 гл. 4 приведена формальная постановка полудинамической межотраслевой межрегиональной модели. Поскольку ОМВЕАР-ЭС повторяет большинство ее характеристик, чтобы показать специфику ОМВЕАР-ЭС, достаточно, на наш взгляд, рассмотреть формальную запись балансовых ограничений по производству и распределению товаров и услуг. В случае ОМВЕАР это условия 4.4.1—4.4.3 в разделе 4.4 гл. 4. Для ОМВЕАР-ЭС это условия 5.1.1 и 5.1.2. Будем обозначать лишь те переменные и параметры, с помощью которых можно выразить особенности ОМВЕАР-ЭС. Опущенные обозначения идентичны обозначениям, приведенным в разделе 4.4 гл. 4 при описании ограничений 4.4.1—4.4.3. Блочное построение ОМВЕАР-ЭС, в частности, принцип не-

Блочное построение ОМВЕАР-ЭС, в частности, принцип неизменного «ядра» и развиваемой «периферии» выражен в разделении балансов по продукции на две части: для отраслей «не ТЭК» и отраслей ТЭК. При таком разделении условия 5.1.1 в обобщенном виде описывают неизменное «ядро» — балансы отраслей «не ТЭК», представленные в разделе 4.4 гл. 4 отдельно уравнениями по продукции (4.4.1), по услугам (4.4.2) и по капиталообразующим отраслям (4.4.3). Ясно, что если в 5.1.1 вид деятельности  $i \neq g$  где g — индекс капиталообразующей отрасли (см. условие 4.4.3), то  $u_i^{1r} = 0$ .

В соответствии с родовым свойством моделей, к типу которых относится ОМВЕАР [9, с.14–18], производство продукта или услуги i в регионе r в последнем году прогнозного периода моделируется разработчиками модели как сумма интенсивностей двух производственных способов. Интенсивность первого из них — это базовый (т.е. достигнутый в 0-ом году, предшествующему началу прогнозного периода) объем выпуска продукции или услуг хозяйственной отраслью i, интенсивность второго — прирост выпуска продукции или услуг хозяйственной отраслью i за период в регионе r. В балансе по продукции и услугам отраслей «не ТЭК» (5.1.1) это первых два слагаемых левой части уравнения.

Специфика продуктовых балансов отраслей ТЭК (5.1.2) состоит в том, что их приходную часть составляют рассмотренные выше группы обобщенных технологий, детализированные до уровня типов добывающих, перерабатывающих и энергетических объектов (шахты, угольные разрезы, предприятия нефтепереработки АЭС, КЭС, ТЭЦ, котельные и т.д.). Поэтому, с нашей точки зрения, в ОМВЕАР-ЭС правомерно деление таких объектов на «старые мощности», т.е. суммы объектов данного типа, введенных в регионе до начала прогнозного периода и продолжающих функционировать до конца прогнозного периода с интенсивностью, не превышающей некоторый заданный порог существующей максимальной мощности, и ««новые мощности», т.е. суммы новых объектов данного типа, построенных и введенных в регионе в течение прогнозного периода (новые угольные разрезы, электростанции, котельные и т.д.).

*Пусть n* — количество продуктов и услуг в номенклатуре модели, представленной в табл. 5.1.1;

n'- множество «не топливно-энергетических» продуктов и услуг, перечисленных в подблоках 1 и 2 табл. 5.1.1;

Обозначим через K множество всех способов производства продуктов ТЭК (множество технологий  $k \in K$ ) и разобьем его на два подмножества: K' и K''. В первом подмножестве каждым способом производится только один продукт (шахты, раз-

резы, ГЭС, котельные и т.д.), во втором подмножестве каждым способом производится два продукта (ТЭЦ, КЭС, нефтепереработка и т.д.);

n'' – множество топливно-энергетических продуктов, производимых однопродуктовыми способами;

n''' – множество топливно-энергетических продуктов, производимых двухпродуктовыми способами;

Понятно, что между множествами n'' и n''' возможны пересечения: тепловая и электрическая энергия производится как однопродуктовыми, так и двухпродуктовыми способами. Тогда балансовые ограничения можно представить следующим образом.

Балансовые ограничения по производству и распределению товаров и услуг отраслей «не ТЭК»:

$$\begin{split} &\sum_{j=1}^{n'} \delta_{ij}^{0r} x_{j}^{0r} + \sum_{j=1}^{n'} \delta_{ij}^{1r} \Delta x_{j}^{1r} - \sum_{j=1}^{n'} a_{ij}^{0r} x_{j}^{0r} - \sum_{j=1}^{n'} a_{ij}^{1r} x_{j}^{1r} - \sum_{j=1}^{n'} \sum_{k'=1}^{K'} a_{ijk'}^{0r} x_{jk'}^{0r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ijk'}^{1r} x_{jk'}^{1r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{n'} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{n'} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{n'} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{n'} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{n'} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k'''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k'''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k''=1}^{N''} a_{ik''}^{1r} x_{k'''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - u_{i}^{1r} - \sum_{j=1}^{N''} a_{ik''}^{1r} x_{k'''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k''=1}^{N''} a_{ik''}^{1r} x_{k'''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k''=1}^{N''} a_{ik''}^{1r} x_{k'''}^{1r} d_{jk''}^{1r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k''=1}^{N''} a_{ik''}^{1r} x_{k'''}^{1r} d_{jk''}^{1r} d_$$

Балансовые ограничения по производству и распределению продуктов ТЭК:

$$\begin{split} &\sum_{k'=1}^{K'} x_{ik'}^{0r} + \sum_{k'=1}^{K'} x_{ik'}^{1r} + \sum_{k''=1}^{K''} x_{k''}^{0r} d_{ik''}^{r} + \sum_{k''=1}^{K''} x_{k''}^{1r} d_{ik''}^{r} - \sum_{j=1}^{n'} a_{ij}^{0r} x_{j}^{0r} - \\ &- \sum_{j=1}^{n'} a_{ij}^{1r} x_{j}^{1r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k'=1}^{K'} a_{ijk'}^{0r} x_{jk'}^{0r} - \sum_{j=1}^{n''} \sum_{k'=1}^{K'} a_{ijk'}^{1r} x_{jk'}^{1r} - \sum_{j=1}^{n'''} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{0r} x_{k''}^{0r} d_{jk''}^{r} - \\ &- \sum_{j=1}^{n'''} \sum_{k''=1}^{K''} a_{ik''}^{1r} x_{k''}^{1r} d_{jk''}^{r} - \alpha_{i}^{1r} z^{1r} - \sum_{s \neq r} x_{i}^{rs} + \sum_{s \neq r} x_{i}^{sr} - v_{i}^{1r} + w_{i}^{1r} \ge Q_{i}^{1r}; \\ &i = 1 ...., n - n'; r = 1, R \end{split} \tag{5.1.2}$$

Переменные:

 $x_i^{0r}$  — базовый (т.е. достигнутый в 0-ом году, предшествующему началу прогнозного периода) объем выпуска продукции или услуг хозяйственной отраслью i по виду деятельности i в регионе r;

 $\Delta x_i^{r1}$  – прирост выпуска продукции или услуг хозяйственной отраслью i по виду деятельности i за период в регионе r;

 $\mathcal{X}_{jk'}^{0r}$  — объем производства *j*-го продукта ТЭК k'-ым однопродуктовым производственным способом в последнем году прогнозного периода на «старых» мощностях, введенных до начала периода в регионе r;

 $\mathcal{X}_{jk'}^{1r}$  – объем производства j-го продукта ТЭК k'-ым однопродуктовым производственным способом в последнем году прогнозного периода на «новых» мощностях, введенных в течение прогнозного периода в регионе r;

 $\mathcal{X}_{k''}^{0r}$  — интенсивность k''-ого способа, производящего два продукта ТЭК, одним из которых является продукт j (i), на «старых» мощностях, введенных до начала прогнозного периода в регионе r;

 $\mathcal{X}^{1r}_{k''}$  – интенсивность k'' -ого способа, производящего два продукта ТЭК, одним из которых является продукт j (i), на «новых» мощностях, введенных в течение прогнозного периода в регионе r;

Параметры:

 $\delta_{ij}^{0r}$  — доля выпуска продукта или услуг i— го вида в хозяйственной отрасли j, не превышающего базовый объем выпуска в регионе r;

 $\mathcal{S}_{ij}^{1r}$  — доля выпуска i—го продукта в хозяйственной отрасли j, необходимого для обеспечения прироста объема выпуска за период в регионе r;

 $a_{ij}^{0r}$  – удельные текущие затраты продукции i на выпуск продукции j в регионе r, необходимые для обеспечения объема

выпуска в отрасли j в последнем году периода, не превышающего объем выпуска в базовом году;

 $a_{ij}^{1r}$  – удельные текущие затраты продукции i на выпуск продукции j в регионе r, необходимые для обеспечения прироста объема выпуска за период;

 $a^{0r}_{ijk'}$  – удельные текущие затраты продукции i на выпуск j-го продукта ТЭК k'-ым однопродуктовым производственным способом в регионе r на мощностях, действовавших к началу прогнозного периода («старых» мощностях);

 $a^{1r}_{ijk'}$  — удельные текущие затраты продукции i на выпуск j-го продукта ТЭК k'-ым однопродуктовым производственным способом в регионе r на мощностях, введенных в прогнозном периоде («новых» мощностях);

 $a_{ik''}^{0r}$  – удельные текущие затраты продукции i на интенсивность k''-ого способа, производящего два продукта ТЭК, одним из которых является продукт j, на «старых» мощностях, введенных до начала прогнозного периода в регионе r;

 $a^{1r}_{ik''}$  – удельные текущие затраты продукции i на интенсивность k''-ого способа, производящего два продукта ТЭК, одним из которых является продукт j, на «новых» мощностях, введенных в течение прогнозного периода в регионе r;

 $d^{'}_{jk''}$  — доля j-го продукта в интенсивности k''-ого способа, производящего два продукта ТЭК, одним из которых является продукт j, в регионе r;

Моделирование электрической мощности обобщенных энергетических технологий [10]. Поскольку производство энергии технологическими способами доведено в ОМВЕАР- ЭС до уровня обобщенных технологий, т.е. типовых энергетических объектов, то такая степень детализации позволяет с определенной долей условности ввести понятие суммарной электрической мощ-

ности энергетических объектов данного типа в регионе. Рассмотрим интенсивность  $\mathcal{X}_{k''}^{1r}$  k''-ого двухпродуктового способа (см. обозначения для выражений 5.1.1 и 5.1.2) на примере энергетических технологий, производящих тепловую и электрическую энергию (ТЭЦ, КЭС и т.д.) на «новых» мощностях, введенных в течение прогнозного периода в регионе r. Объединим для данного случая типы энергетических объектов ТЭЦ и КЭС, представленные в ОМВЕАР-ЭС отдельными технологиями, в более общий тип тепловых электростанций (ТЭС) и обозначим интен-

сивность такой технологии, как  $\mathcal{X}^{1r}_{ek''}$ . Здесь индексом e обозначена электрическая и тепловая энергия, отпускаемая ТЭС. Будем рассматривать эту интенсивность, выраженную в неизменных ценах базового года, как объем работы по выработке энергии в течение последнего года прогнозного периода на ряде новых объектов k''-го типа. Выбравшаяся в текущем оптимальном решении ОМВЕАР-ЭС интенсивность k''-ой технологии на «новых» мощностях отражает как величину потребности в энергии, сложившуюся на данный момент со стороны экономики и домашних хозяйств региона (спрос), так и общую степень ее дефицитности в регионе с учетом межрегиональных поставок (предложение). С другой стороны, величина интенсивности является результатом конкурентного выбора среди технологий, имеющих разную удельную стоимость (капиталоемкость) новой установленной мощности.

Будем рассматривать работу энергетических объектов k''- го типа как произведение установленной мощности на среднее число часов ее работы. Привлекая данные Росстата и отраслевой статистики о среднем числе часов использования установленной мощности электростанций разных типов, введем в модель показатель новой установленной мощности. Для этого сначала выразим через

интенсивность  $\mathcal{X}^{1r}_{ek''}$  и параметры модели объем выработки электроэнергии в регионе на энергетических объектах k'' - го типа:

$$el_{k''}^{1r} = x_{ek''}^{1r} d_{elk''}^{r} / p_{el}; \ k'' \in K''$$
 (5.1.3)

Здесь  $el_{k''}^{1r}$  – объем выработки электроэнергии в натуральном выражении на новых энергетических объектах k'' - го типа в регионе г в последнем году прогнозного периода, полученный в текущем решении ОМВЕАР-ЭС;

 $d_{\it ek''}^{\it r}$  – доля электроэнергии  $\it el$  в общей выработке энергии  $\it et$  (по стоимости) на энергетических объектах  $\it k''$  - го типа в регионе  $\it r$  в последнем году прогнозного периода, экзогенный параметр модели, инвариантная величина для «старых» и «новых» мощностей;

 $p_{el}$  — среднеотраслевая основная цена электроэнергии (цена производителя) в базовом году, руб./1000 кВтч, инвариантный параметр для всех регионов.

Суммарная электрическая мощность новых энергетических

объектов определяется из (5.1.3) с привлечением параметра  $\overset{-}{T}{\it elk}$  :

$$N_{elk''}^{1r} = el_{k''}^{1r} / T_{elk''}; \ k'' \in K''$$
 (5.1.4)

 $N_{elk''}^{1r}$  — суммарная электрическая мощность энергетических объектов k'' - го типа, введенных в прогнозном периоде в регионе r, рассчитываемая по результатам решения модели (млн кВт);

 $T_{\it ek''}$  — среднее число часов работы установленной электрической мощности энергетических объектов k'' - го типа в последнем году периода. Этот экзогенный показатель рассчитывается по ретроспективным данным Росстата как среднегодовое число часов работы электростанций данного типа в РФ за ряд лет и является средним арифметическим частных от деления выработки электроэнергии на суммарную установленную мощность этих электростанций в каждом году ретроспективного периода.

Показатели новой электрической мощности типов энергетических объектов в регионе целесообразно использовать для формирования прогнозных ориентиров, в частности, путем ввода в модель ограничений на новые мощности по этим типам. Эти ориентиры теперь могут опираться на генеральные схемы разме-

щения объектов электроэнергетики<sup>1</sup> и стратегии подотраслей энергетики, разрабатываемые энергетическими корпорациями, такими как концерн «Росэнергоатом» и группа «РусГидро». В этих документах приводятся данные о вводе новых мощностей по конкретным энергетическим объектам.

Особенности моделирования производственных способов по добыче нефти и газа. В моделировании добычи нефти и газа ОМВЕАР-ЭС наследует подходы, заложенные в ОМММ-ТЭК ее разработчиками [2, с. 42, 49–50; 5, с. 224–232]. В создании приходной части балансов нефти и газа в последнем году прогнозного периода участвует ряд производственных способов, которые интерпретируются как ввод мощностей по добыче в отдельных временных интервалах. Поэтому понятие «старые мощности» для этих отраслей не имеет тот же смысл, что для обрабатывающих отраслей или в энергетике, т.к. их деятельность заключается в извлечении невоспроизводимых ресурсов. В этих условиях каждая новая порция капитальных вложений на добычу нефти и газа связана с вовлечением в производство дополнительной доли промышленных запасов (эта доля и формирует на данном временном интервале вводимую мощность) и может считаться затратами на новые мощности. Кроме того в нефте- и газодобыче относительно велики годовые объемы выбытия мощностей. Поэтому в отличие от описанных выше групп технологий производственные способы по добыче нефти и газа имеют чисто условное деления на «старые» и «новые» мощности и вводятся для отражения связи между уровнем добычи в последнем году прогнозного периода и вводом мощностей по добыче в течение всего прогнозного периода с учетом ввода промышленных запасов.

Суть данного подхода заключается в том, что параметры удельных капитальных вложений в производственных способах добычи нефти и газа представляются как нелинейные функции от общего объема ввода мощностей за весь прогнозный период. Эти функции, во-первых, отражают удорожание новых мощно-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2017 г. № 1209-р. Код доступа:. http://static.government.ru/media/files/zzvuuhfq2f3OJIK8AzKVsXrGIbW8ENGp.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

стей в связи с переходом от более эффективных месторождений нефти и газа к менее эффективным, во-вторых, позволяют учесть повышенные объемы выбытия мощностей по добыче данных ресурсов. С учетом приведенных замечаний стоимостная оценка для нефти с попутным газом и природного газа с газовым конденсатом в последнем году прогнозного периода может быть записана следующим образом:

$$x_{j}^{0r} + x_{j}^{1r} = \sum_{\Psi=1}^{8} N_{j\Psi}^{r} seb_{j\Psi}^{r}; j=1,2; \Psi=1,2...,8$$
 (5.1.5)

Где j – номер углеводородной подотрасли;

 $\Psi$ – номер временного интервала, в котором вводится очередная порция новых мощностей (в данном случае таких интервалов восемь);

 $x_j^{0r}$  – объем добычи нефти и попутного газа (природного газа и газового конденсата) в стоимостном выражении в регионе r на «старых мощностях» в последнем году прогнозного периода;

 $\chi_{j}^{1r}$  – объем добычи нефти и попутного газа (природного газа и газового конденсата) в стоимостном выражении в регионе r на «новых мощностях» в последнем году прогнозного периода;

 $N^r_{j\Psi}$  — максимально возможный объем мощностей по добыче ресурса j, вводимых на интервале  $\Psi$  в регионе r;

 $seb_{j\Psi}^{r}$  – доля участия мощностей по добыче ресурса j, введенных на временном интервале  $\Psi$ , в объеме добычи в регионе r в последнем году прогнозного периода.

Таким образом, способы добычи нефти (газа) соответствуют интервалам аппроксимации некоторой нелинейной функции. Параметры  $seb_{j\Psi}^{r}$  показывают степень реализации возможности по максимальному вводу мощностей к концу периода. Предполагается, что эти параметры возрастают от значения близкого к 0 (для первых интервалов аппроксимации) до 1 (для последних интервалов аппроксимации). Это означает, что мощности, введенные до начала прогнозного периода или в первые отрезки времени, за счет

больших величин выбытия участвуют в общем уровне добычи последнего прогнозного года меньшей долей, чем мощности введенные в последующие отрезки времени, поскольку выбытие последних продолжается в течение менее длительного срока.

Введение специфических условий по отображению добычи нефти и газа дополняется формированием блока запасов нефти и газа, отражающем связи между вводом новых мощностей по добыче и вводом промышленных запасов в данном районе. Переменные запасов связываются со вводом мощностей отношениями кратности:

$$\sum_{\Psi=1}^{8} com_{j\Psi}^{r} N_{j\Psi}^{r} \leq \sum_{\Theta-1}^{3} Y_{j\Theta}^{r} ; j=1,2; \ \Psi=1,2...,8; \ \Theta=1,2,3; \eqno(5.1.6)$$

$$Y_{j\Theta}^r \le \Gamma_{j\Theta}^r. \tag{5.1.7}$$

Здесь  $\mathit{com}_{j\Psi}^r$  – величина кратности запасов ресурса j, вводимых на временном интервале  $\Psi$  в регионе r; экзогенный параметр;

 $Y^r_{j\Theta}$  — переменная по вводу запасов ресурса j за период  $\Theta$  в регионе r;

 $\Gamma_{j\Theta}^r$  – ограничения на ввод запасов ресурса j за период  $\Theta$  в регионе r.

Интервалы  $\Theta$  по вводу запасов интерпретируются как периоды времени (в данном случае их три). Переменные по вводу запасов  $Y_{j\Theta}^r$  отличаются от других производственных переменных модели тем, что они относятся не к последнему году прогнозного периода, а к интервалам, на которые этот период разбит. Формируемые ими способы не включают компонент текущих затрат, а содержат лишь компоненты капиталоемкости, имеющие в данном случае смысл нормативов затрат разведочного бурения на ввод запасов. Законы воспроизводства в описываемых отраслях требуют, чтобы величина кратности находилась в некоторых

заданных пределах. Если она окажется больше допустимой, то это приведет к замораживанию значительных средств, вложенных в геологоразведку, если же опустится за нижнюю границу — возникнут затруднения с формированием обеспеченных прогнозов добычи нефти и газа. Таким образом, при данных коэффициентах кратности запасов последние выполняют функцию верхних границ на переменные по вводу мощностей по добыче нефти и газа, а инвестиции в запасы (в геологоразведку) по выделенному в модели в качестве инвестиционной отрасли «бурению» включаются в общий баланс инвестиций.

Заключая данный параграф, можно сделать следующие выводы. Принципиальная особенность ОМВЕАР-ЭС состоит в совмещении оптимизации натурально-вещественных потоков в национальном и межрегиональном разрезе в отношении выделенных в модели монопродуктов ТЭК и обобщенных технологий выработки электрической и тепловой энергии со стоимостными пропорциями остального народного хозяйства. Эти стоимостные пропорции, включая отрасли ТЭК, задаются моделью ОМВЕАР. Основным отличием ОМВЕАР-ЭС по отношению к ОМВЭАР является то, что оптимизация прогнозных пропорций ТЭК в существенной степени осуществляется путем использования набора технологических способов (технологий), которые, с одной стороны, включают (там, где это необходимо) производство двух продуктов одним способом (нефть и попутный газ, природный газ и газовый конденсат, переработка нефти, в результате которой производятся темные и светлые нефтепродукты, ТЭЦ, вырабатывающие тепловую и электрическую энергию и т.д.), а с другой стороны – производство одного и того же продукта несколькими способами. Например, электрическая энергия производится КЭС, АЭС, ГЭС, ТЭЦ, тепловая – ТЭЦ, котельными, промышленными теплоутилизационными установками и т.д. Таким образом, ОМВЕАР-ЭС по отношению к ОМВЕАР выполняет функцию детализации ряда видов деятельностей до уровня обобщенных технологий, тогда как в последней они представлены, как и в базовых таблицах «затраты – выпуск», в максимально агрегированном виде. Это позволяет дальнейший анализ информационных аспектов применения ОМВЕАР-ЭС проводить в разрезе натуральных показателей.

## 5.1.3. Представление точки отсчета, ретроспективных и прогнозных ориентиров в ОМВЕАР-ЭС в контексте общих решений модели ОМВЕАР. Информационные и методические аспекты

В качестве основной предпосылки для формирования прогнозных ориентиров развития российской энергетики в расчетах ОМВЕАР с использованием инструментария ОМВЕАР-ЭС приведем прогноз технологической структуры мировой энергетики из Энергетической Стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденной правительством в 2020 (далее Стратегия — 2035): «Основу электроэнергетики большинства стран мира в прогнозном периоде будут составлять существующие системы централизованного электроснабжения, базирующиеся на крупных электростанциях — традиционных (тепловые электростанции, атомные электростанции, гидроэлектростанции) или ветроэлектростанциях и солнечных электростанциях, функционирующих в составе электроэнергетических систем [6, с. 30].

Технологическая и региональная структура производства электроэнергии в базовом году в формате обобщенных технологий ОМВЕАР-ЭС и прогнозные ориентиры. Дадим описание базовой точки прогноза (2019 г.) для двух универсальных по степени использования энергетических продуктов — электрической

зовой точки прогноза (2019 г.) для двух универсальных по степени использования энергетических продуктов — электрической и тепловой энергии в соответствии с региональной, отраслевой и технологической структурой ОМВЕАР-ЭС.

В табл. 5.1.2 и 5.1.3 показано, с одной стороны, как электроэнергия, вырабатываемая данной обобщенной технологией (электростанциями данного типа) распределяется по макрорегионам в базовой точке прогноза, а с другой стороны, представлена технологическая структура электрогенерации в стране и регионах. Поскольку энергетический потенциал является частью экономического потенциала региона, а электроэнергия — универсальным продуктом, используемым во всех отраслях и секторах экономики, то уместно, на наш взгляд, электрический потенциал региона (объем выработки электроэнергии и величину установленной электрической мощности) сопоставить в базовой точке с общим экономическим потенциалом (валовым региональным продуктом) экстрической мощности) сопоставить в оазовой точке с общим экономическим потенциалом (валовым региональным продуктом) (см. первые три столбца табл. 5.1.2). В тех случаях, когда энергетический потенциал превышает экономический потенциал региона (по доле в совокупности всех регионов), можно говорить о

сложившейся энергетической специализации региона. Из табл. 5.1.2 следует, что ее имеет Сибирский федеральный округ, предопределяя энергетическую специализацию Азиатской России в целом, а в Европейской России – Приволжский федеральный округ и Уральский федеральный округ без Тюменской области, при этом энергетический потенциал европейской части страны в целом заметно ниже экономического.

В Европейской части страны сосредоточена практически вся атомная энергетика (99,9%), более 72% электроэнергии, вырабатываемой на ТЭЦ, больше половины (51,5%) — на КЭС и ГТЭС и более 74% энергии, вырабатываемой на ВИЭ. В Азиатской России — производится две трети электроэнергии ГЭС (66,5%), 84% электроэнергии дизельных электростанций и немного меньше половины электроэнергии КЭС и ГТЭС (48.4%).

Атомная энергетика Азиатской России в 2019 г. была представлена Билибинской АЭС (Чукотский национальный округ), введенной в 1974 г., самой маломощной АЭС в РФ с суммарной мощностью 4-х энергоблоков 48 МВт, выработка которой по данным Росстата составила в 2019 г. 210,9 млн кВт ч, или 0,3% всей электроэнергии, произведенной в Дальневосточном федеральном округе. В мае 2020 года в Чукотском автономном округе (город Певек) была введена в эксплуатацию первая в стране и мире плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) электрической и тепловой мощностью соответственно 70 МВт и до 50 Гкал/ч. Ее назначение – замещение устаревшей угольной ТЭЦ, функционирующей в изолированном районе Чукотки.

Если в целом по стране доля АЭС в общей генерации электроэнергии составила 18,7%, то она была (по степени убывания): для Центрального федерального округа — 42,5%, Южного — 40,8%, Северо-Западного — 30,7%, Приволжского — 16,2%, Европейской части Уральского федерального округа — 10,9% (см. табл. 5.1.3). В 2020 г. была достигнута максимальная за всю новейшую историю России выработка на АЭС — 215,954 млрд кВт ч или 19,1% всей произведенной в стране электроэнергии. (в 1991 г. — 11,2%). В Советском Союзе такой максимум был пройден в 1988 г. (215,669 млрд кВт ч с учетом АЭС Украины, Литвы и Армении)<sup>1</sup>. В 2021 г. выработка на АЭС, по данным Росстата, выросла еще на 3,0%.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Российские АЭС в 2020 году побили рекорд СССР по выработке электроэнергии. Код доступа https://tass.ru/ekonomika/10396431

## Региональная структура суммы ВРП в основных ценах, установленной электрической мощности электростанций и производства электроэнергии по типам энергетических объектов ОМВЕАР-ЭС в 2019 г., %

		Уста-	Произ-			В том	числе	:	
Субъект Федерации	Доля ВРП в ВВП	нов- ленная мощ- ность	водство электро- энергии, всего	АЭС	ГЭС и ГАЭС	КЭС и ГТЭС*	ДЄТ	ДЭС**	ВИЭ***
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЦФО	34,7	21,6	20,3	46,1	1,7	8,2	23,8	1,2	0,005
СЗФО	11,1	10,3	11,3	18,5	6,1	7,4	12,5	10,6	1,0
ЮФО	7,0	7,0	7,4	16,2	6,8	6,3	4,2	0,5	38,5
СКФО	2,4	2,8	1,9	0,0	3,3	2,3	1,9	0,0	1,6
ПФО	14,9	17,3	16,7	14,4	15,5	14,9	19,4	2,2	33,3
УФО без Тюмен- ской обл.	4,5	6,4	8,0	4,7	0,01	12,5	10,7	1,3	0,0
Тюменская обл.	9,4	8,0	9,9	0,0	0,0	31,3	6,0	38,1	0,0
СФО	9,7	19,2	18,4	0,0	56,9	11,3	14,4	12,3	3,2
ДФО	6,3	7,4	6,1	0,1	9,6	5,7	7,3	33,9	22,5
РΦ	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Европей- ская Россия	74,6	65,4	65,6	99,9	33,5	51,6	72,3	15,7	74,3
Азиатская Россия	25,4	34,6	34,4	0,1	66,5	48,4	27,7	84,3	25,7

Источники: Рассчитано по данным Росстата (ЕМИСС) и статистической справке «Производство промышленной продукции в натуральном выражении (с учетом соблюдения конфиденциальности первичной статистической информации) за 2019 год». Электроэнергия, газ, пар и кондиционирование воздуха (Банки данных ГУ ВШЭ).

Замечание. В столбце 1 суммарный ВРП макрорегионов обозначен для краткости как ВВП.

<sup>\*</sup> ГТЭС – газотурбинные тепловые электростанции

<sup>\*\*</sup> Дизельные электростанции

<sup>\*\*\*</sup> ВИЭ – электростанции на возобновляемых источниках энергии (солнечные, ветровые, геотермальные без учета малых ГЭС)

## Технологическая структура электрогенерации в РФ и в макрорегионах в 2019 г. по типам энергетических объектов ОМВЕАР-ЭС, %

	Производ-			В том	числе		
Субъект Федерации	ство электро- энергии, всего	АЭС	ГЭС и ГАЭС	КЭС и ГТЭС*	ДЄТ	ДЭС**	ВИЭ***
	1	2	3	4	5	6	7
ЦФО	100	42,5	1,5	9,5	46,5	0,02	0,00005
СЗФО	100	30,7	9,6	15,5	43,9	0,4	0,02
ЮФО	100	40,8	16,0	19,9	22,4	0,02	0,9
СКФО	100	0	31,6	28,7	39,6	0	0,2
ПФО	100	16,2	16,4	20,9	46,1	0,05	0,37
УФО без Тюменской области.	100	10,9	0,03	36,5	52,6	0,1	0
Тюменская область	100	0	0	74,3	24,1	1,6	0
СФО	100	0	54,3	14,4	31,0	0,3	0,03
ДФО	100	0,3	27,6	22,0	47,3	2,3	0,7
РΦ	100	18,7	17,6	23,4	39,7	0,4	0,2
Европейская Россия	100	28,5	9,0	18,4	43,8	0,1	0,2
Азиатская Россия	100	0,05	34,0	32,9	31,9	1,0	0,14

Источники: Рассчитано по данным Росстата (ЕМИСС) и статистической справке «Производство промышленной продукции в натуральном выражении (с учетом соблюдения конфиденциальности первичной статистической информации) за 2019 год». Электроэнергия, газ, пар и кондиционирование воздуха (Банки данных ГУ ВШЭ).

<sup>\*</sup> ГТЭС – газотурбинные тепловые электростанции

<sup>\*\*</sup> Дизельные электростанции

<sup>\*\*\*</sup> ВИЭ — электростанции на возобновляемых источниках энергии (солнечные, ветровые, геотермальные без учета малых ГЭС)

Для анализа прогнозных решений OMBEAP-ЭС, детализирующих общие решения OMBEAP на уровне натуральных показателей, применяется методика, которая подробно будет рассмотрена ниже. Она предполагает использование ретроспективных рядов моделируемых в ОМВЭР-ЭС показателей в сопровождающих оптимальные решения Банках данных [7]. В частности, как элемент сравнительного анализа полученных решений вводится понятие «исторического» тренда рассматриваемого показателя, т.е. среднегодовой темп прироста производства (или потребления) показателя за максимально длительный период экономического развития РФ до точки начала отсчета прогнозного периода, а также с включением его части (см. табл. 5.1.4).

С учетом сделанного замечания исторический тренд, производства электроэнергии атомными станциями за максимально длительный период экономического развития РФ (1999–2021) после трансформационного спада 1991–1998 г. составил 3,4%, тогда как производство электроэнергии в стране в целом росло в этом периоде с темпом 1,5% при действии тенденции к замедлению после окончания восстановительного периода 1999–2008 гг. Такая динамика была достигнута за счет ввода новых (иногда более мощных) энергоблоков на существующих АЭС и продления жизненного срока действующих реакторов.

В Стратегии – 2035 не даны количественные ориентиры раз-

В Стратегии — 2035 не даны количественные ориентиры развития атомной энергетики, но уже после принятия стратегии перед концерном «Росэнергоатом» правительством РФ была поставлена задача довести долю АЭС в общем энергобалансе страны до 25 % к 2045 году<sup>1</sup>.

Расчеты по ОМВЕАР в прогнозном периоде (2020–2035 гг.) и базовой точкой отсчета за 2019 г. (которая и описывается в приводимых таблицах натуральных показателей) проводятся по трем сценариям социально-экономического развития РФ, характеризующих различную динамку национальных и региональных показателей: оптимистическому, умеренно-оптимистическому и инерционному [1, с. 60–77]. Среднегодовой темп производства электроэнергии в стране, полученный по результатам расчетов

 $<sup>^1</sup>$  Код доступа: https://strana-rosatom.ru/2022/05/26/derzhi-atom-shire-do-2035-goda-v-rossii-postr/

на ОМВЕАР, варьируется от 1,1% по инерционному варианту до 2,1% по умеренно-оптимистическому варианту. При условии продления этих трендов до 2045 г., чтобы выйти на ориентир 25% к 2045 г., производство энергии на АЭС в первом случае должно расти в 2020–2035 гг. со среднегодовым темпом прироста 2,2%, что заметно ниже исторического тренда. При такой динамике в 2035 г. на АЭС будет вырабатываться 22,2% всей электроэнергии (в 2021 г. 19,2%). В случае умеренно-оптимистического варианта, чтобы в 2035 г. производить 25% всей электроэнергии, среднегодовая динамика должна составить уже 3,3%, т.е. приблизиться к историческому тренду (3,4%). Это, на наш взгляд, является менее вероятным прогнозом, поскольку в соответствии с утвержденной Генеральной схемой размещения АЭС до 2035 г. ввод новых энергоблоков уже определен н происходит на уже действующих электростанциях параллельно с выбытием незаменяемых мощностей (реакторов устаревшего типа РБМК) и строительство новых крупных станций не планируется. Анализ планомерного характера развития отрасли позволяет сделать вывод об инвариантности ее динамики во всех трех сценариях ОМВЕАР со среднегодовым темпом 2,2% (табл. 5.1.4).

Исторический тренд выработки электроэнергии на ГЭС и ГАЭС в 1999–2019 гг. составил чуть более одного процента прироста в год (1,02%) и был ниже темпа общего прироста по отрасли (1,46%) в 1,4 раза. Если рассматривать региональный срез производства в 2019 г. по убыванию, то в Сибирском федеральном округе вырабатывалось почти 57% всей электроэнергии ГЭС страны (в том числе только 1% в Западной Сибири), в Приволжском федеральном округе –15,5% и Дальневосточном – 9,6% (табл. 5.1.2). Таким образом, 82% электроэнергии ГЭС приходилось на три макрорегиона, два из которых являются частью Азиатской России. В остальных регионах эта доля варьировалась от 0% (Тюменская область) до 6,8% (Южный федеральный округ). В ОМВЕАР-ЭС в прогнозной перспективе 2020–2035 гг. была продолжена динамика исторического тренда: с некоторой понижительной тенденцией: во всех трех народнохозяйственных сценариях эта инвариантная величина составляет чуть менее одного процента (0,96%) среднегодового прироста.

В табл. 5.1.2 и 5.1.3 наряду с традиционными типами энергетических объектов в последних столбцах дан технологический региональный срез производственного способа ОМВЭАР-ЭС «нетрадиционные источники энергии», обобщенной технологии возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Это стремительно растущее на основе инновационных технологий направление энергетики в РФ. В модели оно объединяет солнечные, ветровые и геотермальные электростанции. Солнечная и ветровая энергетика бурно развиваются в последние 6-7 лет (2014–2021 гг.). Из табл. 5.1.2 следует, что почти три четверти нетрадиционной энергетики сосредоточено в Европейской России, в том числе 38,5% в Южном федеральном округе и 33,3% в Приволжском. В Азиатской России наибольшая доля в общей генерации ВИЭ приходятся на Дальний Восток (22,5%), причем 94% всей генерации от ВИЭ дают геотермальные станции. Таким образом, в трех макрорегионах страны производится более 94% энергии от ВИЭ, но при этом только в одном – Южном федеральном округе доля ВИЭ в общей генерации энергии в регионе в базовой точке прогноза приблизилась к одному проценту (0,9%) (см. табл. 5.1.3). В силу динамичного развития отрасли эта структура может быстро меняться в сторону более равномерного межрегионального распределения.

Так, по данным Росстата, выработка электроэнергии на ВИЭ выросла с 2013 года по 2019 г. от 0,4 млрд кВт ч до 2,1 млрд кВт ч, т.е. в 5,1 раза и увеличивалась со среднегодовым темпом прироста 31,3%. При этом в начальной точке модельного прогноза она оставалась очень малой относительной величиной — 0,2% от национального уровня производства электроэнергии. Но уже в 2020 г. по данным Росстата (ЕМИСС) выработка увеличилась на 79,6% (по отношению к предыдущему году), а в 2021 г еще на 61,9%, достигнув почти 6 млрд кВт ч или 0,51% всей генерации электроэнергии. Среднегодовой темп прироста в 2014—2021 гг. уже стал 40,2%.

Согласно прогнозам Минэнерго РФ доля ВИЭ в энергобалансе РФ к 2035 году может вырасти до 4,5%. <sup>1</sup> Исходя

 $<sup>^1</sup>$  Код доступа: https://www.bigpowernews.ru/markets/document101089.phtml (дата обращения 6.11.2022).

из реализации этого прогноза для умеренно-оптимистического сценария ОМВЕАР в технологической структуре модели ОМВЕАР-ЭС среднегодовая динамика производства электроэнергии ВИЭ должна составить в 2020–2035 гг. 24,7% (см. табл. 5.1.4)

Таблица 5.1.4 Среднегодовые темпы прироста производства электроэнергии в Российской федерации. Исторические тренды и прогнозы, сделанные на ОМВЕАР и детализируемые в ОМВЕАР-ЭС, %.

	Прогноз	Производ-		В то	м числе	;
		ство элек- тро- энергии, всего	АЭС	ГЭС и ГАЭС	ТЭС*	ВИЭ**
		1	2	3	4	5
1	Исторические тренды (1999 –2019 гг.)	1,46	3,40	1,02	1,13	31,3***
2	Исторические тренды (1999 – 2021 гг.)	1,48	3,38	1,35	1,04	40,2****
3	Прогноз по умеренно- оптимистическому сценарию без учета фактической динами- ки в прогнозом периоде	2,10	2,22	0,96	1,92	24,7
4	Прогноз по умеренно- оптимистическому сценарию с учетом фактической динамики в прогнозом периоде	2,16	2,08	0,41	2,19	19,3

Рассчитано по данным Росстата и решениям ОМВЕАР и ОМВЕАР-ЭС

<sup>\*</sup> Для наглядности в ТЭС (тепловые электростанции) объединены два типа энергетических объектов, потребляющих для выработки энергии органическое топливо и представленных в ОМВЕАР-ЭС раздельно (ТЭЦ и КЭС, включая ГТЭС)

<sup>\*\*</sup> ВИЭ – электростанции на возобновляемых источниках энергии (солнечные, ветровые, геотермальные без учета малых ГЭС)

<sup>\*\*\*</sup> За период 2014-2019 гг.

<sup>\*\*\*\*</sup> За период 2014-2021 гг.

Определяющей подотраслью российской энергетики как в исторической ретроспективе, так и в рассматриваемой прогнозной перспективе была и останется энергетика тепловых электростанций (ТЭС), представленных в ОМВЕАР-ЭС рядом разных типов электростанций, потребляющих природное органическое топливо и продукты его переработки для производства электрической и тепловой энергии. Исторические тренды выработки электроэнергии на ТЭС были ниже среднеотраслевой величины. По умеренно-оптимистическому сценарию их динамика в прогнозном периоде существенно возрастает, приближаясь к среднеотраслевой величине (см. табл. 5.1.4).

Анализ исторических трендов функционирования типов энергетических объектов, моделируемых в ОМВЕАР-ЭС при детализации оптимальных решений ОМВЕАР, как было отмечено выше, является элементом использования нами методики анализа прогнозных решений с учетом фактической динамики предшествующих периодов. Ранее данная методика апробировалась в рамках информационно-программно-модельного комплекса (ИПМК) ОМММ-ТЭК [7]. Дадим ее описание.

вующих периодов. Ранее данная методика апробировалась в рамках информационно-программно-модельного комплекса (ИПМК) ОМММ-ТЭК [7]. Дадим ее описание. Учет фактической динамики в прогнозных решениях. Учет фактической динамики осуществляется в специализированных Банках данных, сопровождающих решения модели ОМВЕАР-ЭС. В них реализуется специфический подход при представлении динамики показателей по результатам решений прогнозных моделей. В случае ИПМК ОМММ-ТЭК — это многопериодная модель [7]. В случае ОМВЕАР-ЭС — это комплекс, состоящий из базовой модели и модели с одним прогнозным периодом.

модели и модели с одним прогнозным периодом.

Специфический подход состоит в том, что при продолжительной многолетней эксплуатации модельного комплекса, а также при циклическом его обновлении, когда выбирается новая базовая точка отсчета (в нашем случае это 2019 год) и строится, наполняется информацией и проходит стадию отладочных расчетов базовая модель за 2019 год, часть прогнозного периода по мере удаления во времени от базового года, становится фактом. Поэтому при проведении многоитерационных отладочных расчетов траектории показателей прогнозной модели, рассчитанных по результатам ее решения (ВВП и ВРП, производство отраслей и секторов экономики, интенсивности функционирования энергетиче-

ских технологий, потребление топливно-энергетических ресурсов, инвестиции в основной капитал и т.д.), начинают охватывать не только прогнозную, но и расширяющуюся с каждым годом ретроспективную часть периода. Как следствие возникает противоречие между «гладкостью» «трендовых» траекторий показателей, получаемых в решении модели из заданных первоначальных гипотез, охватывающих весь прогнозный горизонт, и фактической динамикой части прогнозного периода, в которой могут возникать новые тенденции и непредвиденные события.

Существует, на наш взгляд, две альтернативы разрешения этого противоречия:

- Относительно частая, но неравномерная смена точки отсчета начала прогнозного горизонта и, таким образом, смена (или сдвиг) самих прогнозных периодов, которая позволяет максимально сократить ретроспективный подпериод или, если абстрагироваться от технических сложностей, «теоретически» вообще отказаться от него.
- Сохранение начальной точки отсчета и рамок прогнозного периода в течение достаточно длительного временного интервала при адаптации решений прогнозной модели к фактической динамике, т.е. разбиение первоначально полученного общего оптимального решения на две части, охватывающие два динамически меняющихся (с каждым прошедшим годом) подпериода: фактического и собственно прогнозного при сохранении неизменным прогнозного горизонта моделей в целом.

Первый подход означает кардинальное информационное обновление моделей, поскольку со сменой базового года прогноза меняется вся система стоимостных измерителей, т.е. цен, в которых будут измеряться показатели прогнозных решений.

При втором подходе во главу угла ставится принцип сохранения неизменности прогнозного горизонта модели, пока не исчерпан временной диапазоне действия прогнозного периода. Поэтому, когда он и, соответственно, базовая точка прогноза не меняются в течение длительного времени, возникает необходимость проведения периодических мониторинговых расчетов, в процессе которых, корректируются гипотезы этого периода, т.е. устанавливаются факторы и тенденции, которые не учитывались ранее и вызвали отклонения фактических траекторий от первоначальных «гладких» решений модели.

Фактические годовые значения основных отслеживаемых показателей для расширяющегося ретроспективного подпериода накапливаются в сопровождающих решения модели Банках данных в формате динамических рядов в абсолютном выражении в натуральной и, в некоторых случаях, в стоимостной форме, а также в индексной форме. В ретроспективном подпериоде прогнозного периода по мере его увеличения все более четко можно проследить (по набору ключевых показателей) формирующиеся или уже сформировавшиеся новые тенденции экономического развития страны, регионов, отраслей и технологий, а также точки спада (кризиса), до и после которых эти тенденции образуются.

К прогнозному горизонту модели подсоединяется «допрогнозная» погодовая динамика показателей, также накапливаемая в «сопровождающих» Банках данных, образуя с ретроспективным подпериодом и текущим «адаптированным» по определенному алгоритму собственно прогнозным периодом единый динамический ряд показателя. Он может быть доведен при наличии данных Росстата до начала новейшей истории России, т.е. до 1991 г., как это сделано в Банках данных для показателя ВВП или, например, до 1997 г. в случае показателя ВРП субъектов Федерации, которые рассчитываются Росстатом только с этого года.

Проблема сохранения прогнозного горизонта для рассматриваемого класса моделей имеет технический и содержательный характер. Техническая задача является простой, но достаточно трудоемкой. Ее информационный аспект состоит в постоянном (в режиме мониторинга с шагом в год) аккумулировании в сопровождающих предметно-ориентированных Банках данных информации об итогах года в национальном и региональных разрезах по основным показателям моделей. Эти данные по расчетному алгоритму встраиваются в индексные динамические ряды и в динамические ряды абсолютных показателей (натуральных или стоимостных), которые объединяют меняющиеся с каждым годом соотношения отрезков фактической и прогнозной траекторий в общем оптимальном решении модели.

Содержательная задача, которой в явном виде не существует при первом подходе, состоит в интерпретации объединенной траектории показателя. Например, оптимизируемый участок объединенной траектории может формироваться (и трактоваться) как:

а) продолжение сложившейся в допрогнозном периоде и продолженной в «не оптимизируемой» части прогнозного периода тенденции б) ее смена при переходе от ретроспективной части к оптимизируемому участку траектории в) отклонение от действующей в допрогнозном периоде тенденции в ретроспективном подпериоде и возвращении к ней (как целеполагание) в течение «остаточного» прогнозного подпериода. Варианты возможных ситуаций могут быть умножены.

Приведем формальную запись реализация данного подхода. Пусть решение базовой модели зафиксировано в некотором стационарном состоянии и годом, предшествующим началу прогнозного периода и задающим систему стоимостных и натуральных измерителей, является 2019 г., а использование инструментария ОМВЕАР и ОМВЕРР-ЭС для сценарных расчетов с прогнозным периодам (2020–2035) осуществляется, например, в 2022 году. Пусть  $T^1$  величина (число лет) прогнозного периода, формирующего прогнозный горизонт модели. Верхний индекс, равный единице, означает, что существует еще нулевой период базовой модели (величиной в год), т.е. точка отсчета для прогнозного периода, а в случае многопериодной модели, когда прогнозный горизонт может состоять из нескольких прогнозных периодов, рассматривается первый из них.

Тогда исходным моментом адаптивного процесса выступает среднегодовой темп прироста показателя за период  $\bar{\partial}^{T^1}$ , получаемый по результатам текущего оптимального решения прогнозной модели (опустим индекс показателя, поскольку им может быть любая переменная модели).

При реализации излагаемого подхода  $\bar{\partial}$  постепенно перестает выполнять содержательную функцию показателя динамики периода, получая теперь техническую функцию параметра, «поставляющего» из оптимального решения усредненную динамику показателя, которая должна быть разложена на две содержательные части. Пусть  $t_i^f$  — величина фактического подпериода (выра-

женная в годах), накопленная на «данный момент», т.е. на момент i+1 — го (текущего) года, в котором осуществляются расчеты, где  $i=0,\,1,\,2,\,3,...,T^1$  — года прогнозного периода. Например, если расчеты ведутся в 2022 г., а данные статистики позволяют отследить фактические значения показателя за 2020 и 2021 гг., то  $t_i^f=2$ . Момент i+1 — го года становится подвижной временной точкой разделения подпериодов. Временной диапазон использования модели в сценарных расчетах и потенциальная возможность сохранения неизменной системы стоимостных измерителей решений определяются максимальной величиной периода фактической динамики, т.е. величиной  $t_i^f=T^1-1$ . Иначе говоря, теоретически модель можно использовать до 2035 г., сохраняя систему измерителей решений (цен) 2019 г.

Тогда, если  $\partial_i^f$  фактический темп прироста показателя в

і-ом году (в разах), а  $\bar{\partial}$  среднегодовой темп прироста за весь период (в разах), то величина среднегодового темпа прироста показателя за «остаточный» (собственно оптимизируемый) период в момент i+1—го года (в разах) будет рассчитываться по следующему алгоритму:

$$\frac{\bar{\partial}^{(T^1-t^f)}}{\bar{\partial}} = ((1+\bar{\partial}^{T^1})^{\wedge} T^1/((1+\partial_1^f)^*(1+\partial_2^f)^*(1+\partial_3^f)^*...*(1+\partial_i^f)))^{\wedge}(1/(T^1-t_i^f)) - 1, 
i = 1,2,...T^1 - 1$$
(5.1.8)

Разложение усредненных показателей динамики на составляющие части осуществляется в предметно-ориентированных Банках данных, сопровождающих текущие оптимальные решения прогнозной и базовой моделей ОМВЕАР-ЭС. В них, как было сказано выше, аккумулируется в форме динамических рядов годовая статистика фактических данных по показателям, оптимизируемым в моделях,

Применение методики в анализе решения *ОМВЕАР-ЭС*. Возвращаясь к табл. 5.1.4, следует вновь отметить, что в ней, в соот-

ветствии с описанной методикой, для рассматриваемых типов энергетических объектов приведено два исторических тренда: (1999–2019 гг., 1999–2021 гг.), один из которых включает уже годы прогнозного периода, ставшие ретроспективой. Различия между ними показывают, какое влияние на исторический тренд оказывает фактическая динамика показателя, охватывающая часть прогнозного горизонта модели. Тренды могут заметно отличаться как из-за ускорения динамики (это было показано выше для энергетики ВИЭ), так и вследствие возникновения новых тенденций и непредвиденных событий в фактическом подпериоде прогнозного периода Пандемия, в первый год прогнозного горизонта ОМВЕАР и ОМВЕАР-ЭС, вызвавшая принудительное сокращение занятости населения, привела к снижению физического объема ВВП РФ в 2020 г. на 2,7% (по отношению к предыдущему году), а производства электроэнергии (по данным электробалансов Росстата) – на 2,3%. С другой стороны, чем больше становится фактический подпериод прогнозного периода, тем сильнее первоначальный прогноз отличается от скорректированного с учетом фактической динамики. Отсюда следует необходимость применения режима мониторинга для отслеживания погодовых изменений показателей энергетики и ТЭК в целом с использованием ОМВЕАР-ЭС и поддеробратных связей корректировки постоянных для первоначальных прогнозов, полученных на ОМВЕАР.

На рис. 5.1.1 дано графическое отображение применения описываемой методики к технологиям ОМВЕАР-ЭС. Прогнозные траектории на ней построены с учетом фактической динамики и являются «гладким» продолжением исторических трендов, показанных в табл. 5.1.4 и развернутых на рисунке по динамическим рядам Банков данных, сопровождающих решения модели, в «негладкую» погодовую динамику фактических темпов роста показателей.

На левой основной вертикальной оси откладываются траектории выработки электроэнергии по типам энергетических объектов (видам генерации электроэнергии) в индексной форме, в которой 2019 год (базовая точка прогноза) принят за единицу. Одновременно на правой (второй) вертикальной оси ординат показывается, какую долю в общую генерацию при всей переменчивости своей траектории на протяжении ретроспективного и прогнозного периодов вносит данная технология.

Так по умеренно-оптимистическому сценарию при прогнозируемом с учетом фактической динамики темпе прироста атомной энергетики 2,08% (строка 4 табл. 5.1.4) ее доля в общей генерации в прогнозном периоде увеличивается на относительно незначительную величину (с 18,6% до 19%) (см. рис. 5.1.1). Доля ГЭС при этом заметно снижается. В то же время, как видно на рисунке, энергетика на ВИЭ в ретроспективном периоде (2013–2021 гг.) развивается настолько стремительно (со среднегодовым темпом прироста 40,2%), что ее прогнозная траектория намеренно обрезана границами рисунка, чтобы сохранить наглядность других траекторий. Хотя по умеренно-оптимистическому сценарию ее среднегодовая динамика в (2022–2035 гг.) достигает 19,3% (строка 4 табл. 5.1.4), намного опережая все другие виды генерации, ее доля в общем производстве электроэнергии вырастает к 2035 г. всего до 4,5%, Из прогноза следует, что этот тип энергетических объектов не будет играть существенной роли в формировании траектории динамики общей генерации.

Если прогнозные траекторий выработки электроэнергии на ГЭС и АЭС, показанные на рис. 5.1.1, имеют корпоративный характер, т.е. основываются на генеральных схемах развития корпораций «Росатом» и «РосГидро» и, поэтому, могут считаться максимальными, то, таким образом, траектория тепловой энергетика (ТЭС), вычленяемая из общего решения ОМВЕАР (т.е. из прогноза общей генерации электроэнергии) уже предопределена. Как можно видеть из табл. 5.1.4 и на рис. 5.1.1, динамка выработки электроэнергии на ТЭС при учете фактической динамики во временном диапазоне 2022–2035 гг. заметно ускоряется и превосходит исторические тренды примерно в 2 раза. Более того, как видно из рисунка, меняется ретроспективная тенденция снижения доли тепловой энергетики в общей генерации на противоположную.

Одним из выводов из такого анализа в результате оптимизации энергетических пропорций в ОМВЕАР-ЭС может быть пересмотр по обратной связи исходного прогноза общей выработки электроэнергии, полученного по решению ОМВЕАР, в сторону более низкой динамики за счет снижения темпов развития тепловой энергетики. Другой альтернативный вариант состоит в задании более высоких траекторий развития «безуглеродной»

энергетики, что требует проведение более углубленного анализа и дополнительных расчетов с использованием инструментария ОМВЕАР-ЭС.

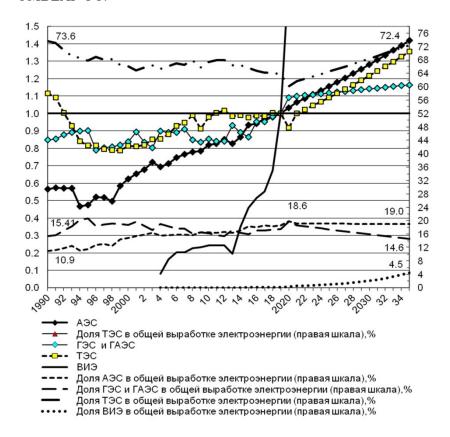


Рис. 5.1.1. Годовые и среднегодовые индексы выработки электроэнергии в РФ по видам генерации, детализированные в ОМВЕАР-ЭС по общему решению ОМВЕАР в умеренно-оптимистическом сценарии, в разах, 2019 = 1. Доля электроэнергии по видам генерации в общей выработки электроэнергии, %, (правая шкала)

Замечание. Для наглядности в ТЭС (тепловые электростанции) объединены два типа энергетических объектов, представленных в ОМВЕАР-ЭС раздельно (ТЭЦ и КЭС, включая ГТЭС)

Дальнейший региональный анализ базовой точки прогноза. Только три макрорегиона модели из девяти — Центральный, Сибирский и Поволжский федеральные округа — имели наибольшие относительно близкие потенциалы по установленной электрической мощности электростанций и выработке электроэнергии (от 22% до 17% от национального уровня) (см. табл. 5.1.2). В сумме это — 58,1% всей установленной мощности и 59,4% всей производимой в стране электроэнергии. Эта доля (по установленной мощности) во времени имела тенденцию к снижению: от максимального значения 61,4% в 2008 г. до уже приведенного минимального значения 58,1% в 2019 г. В остальных макрорегионах в базовой точке прогноза потенциалы варьируются от 2–3% (Кавказский федеральный округ) до 10–11% (Северо-Западный федеральный округ). Доля Азиатской России, как отмечалось выше, была более 34% по установленной мощности и уровню производства электроэнергии.

Следует заметить, что Тюменскую область (в модели это регион, объединяющий три субъекта Федерации) как по экономическому, так и по энергетическому потенциалу является макрорегионом, вполне сопоставимым с другими регионами модели. По доле ВРП в суммарном ВРП страны в 2019 г. (9,4%) она превосходила Южный (7,0%), Дальневосточный (6,3%), Северо-Кавказский (2,4%) федеральные округа, а также европейскую часть Уральского федерального округа (4,5%), (это Свердловская, Челябинская и Курганская области вместе взятые) (см. табл. 5.1.2). В долгосрочной ретроспективе (1999–2020 гг.) максимальной эта доля, рассчитанная по ВРП субъектов Федерации, измеренным в текущих ценах, была в 2005 г. (12,4%), а минимальной – в 2020 г. (7,8%).

По доле выработки электроэнергии в суммарной выработке в стране в 2019 г. (9,9%) область превосходила (в порядке убывания) европейскую часть Уральского федерального округа (8,0%), Южный (7,4%), Дальневосточный (6,1%) и Северо-Кавказский (1,9) федеральные округа (см. табл. 5.1.2). Установленные электрические мощности электростанций Тюменской области динамично росли в 2009—2019 гт. со среднегодовым темпом прироста 3,82% в год при среднем темпе по стране 1,64%, уступая лишь Южному федеральному округу (5,85%). Производство электроэнергии в этом периоде увеличивалось в области с заметно более скромным темпом 1,84%, превышая, тем не менее, средний темп по стране (0,68%) в 2,7 раза.

Таблица 5.1.5

Годовые (к предыдущему году) и среднегодовые темпы прироста потребления электроэнергии в ретроспективном периоде в региональной структуре ОМВЕАР и ОМВЕАР-ЭС, %

	i a	b perpoenentingnom inclined to per non-ambrion cripper springer in complexities, w	Approduct in		Haribuon					2, ()		
		Европейская	Азиатская		CeB		Северо-		УФО без	Тюмен-		
Год	ΡФ	Россия	Россия	ПФО	Зап. ФО	ЮФО	Кавк. ФО	ОФП	Тюм.обл.	ская обл.	СФО	ДФО
	1	2	3	4	5	9	7	8	6	10	11	12
			І. Годовые	к пре	дыдущем	у году)	I. Годовые (к предыдущему году) темпы прироста,		%			
2001	1,4	1,8	6,4	2,1	4,4	2,3	2,5	2,0	1,0-	8,4	6,0	-5,6
2002	0,3	6,0	L*0-	2,3	2,4	1,4	-4,1	2,0	8,2-	4,0	-2,1	-1,0
2003	2,8	2,1	2,5	4,1	-0,1	1,6	2,7	6,0	3,1	6°L	1,1	1,2
2004	2,4	1,2	6'8	1,1	2,2	0,4	2,8	1,0	1,3	10,4	2,4	1,7
2005	1,8	2,2	6,2	2,4	5,4	2,5	3,2	6,4	1,4	L'L	1,3	2,1
2006	4,2	4,5	4,1	5,0	3,6	5,8	13,4	3,1	4,3	11,7	2,4	-0,8
2007	2,3	2,4	2,1	1,1	-2,7	1,9	2,1	6,9	2,1	2,8	2,2	0,3
2008	2,0	0,7	4,6	9,0	3,9	3,8	2'9	-4,0	4,7	4,7	4,6	4,5
2009	-4,5	-5,1	-3,3	-3,7	-3,1	-4,1	0,9-	9,5-	6'6-	1,3	-4,9	-4,4
2010	4,5	5,0	3,4	5,2	5,5	5,7	1,8	1,8	11,3	1,5	3,4	6,9
2011	2,0	2,1	1,9	-0,3	1,0	3,5	-0,7	5,2	2,1	1,8	1,0	5,4
2012	2,1	1,7	2,9	1,1	2,9	1,0	-2,4	2,4	1,8	1,6	4,4	0,0
2013	-0,8	-0,6	-1,1	1,4	-1,8	-2,0	5,2	-0,1	-5,3	3,0	-3,4	6,0
2014	1,0	1,5	0,01	1,1	1,7	5,5*	-1,2	0,2	-2,3	-0,8	0,5	-0,3
2015	-0,5	-0,5	5.0-	0,3	9,0	-3,4	5,5	-1,3	-1,2	1,7	-2,8	4,2

Продолжение таблицы 5.1.5

	1	2	3	4	5	9	7	8	6	10	111	12
2016	1,7	1,8	1,6	2,5	1,5	2,2	1,9	1,3	1,1	7,0	2,1	1,2
2017	1,0	1,7	-0,3	2,5	1,7	-1,0	-0,1	1,8	2,2	-1,0	-0,4	1,5
2018	1,7	1,8	1,7	6,0	9,0	7,0	1,2	1,5	2,3	1,2	1,3	3,8
2019	0,2	-0,1	2,0	6,0	-0,7	2,4	0,5	-1,4	6,3	1,6	0,1	1,3
2020	-2,3	-2,7	-1,4	-2,6	-3,1	9,0	6,4	-5,1	8.0-	-1,4	-1,6	-0,8
			II. Cpe≀	цнегодов	вые темп	ы прирс	<ol> <li>Среднегодовые темпы прироста за период, %</li> </ol>	10Д, %				
1991-1998	-2,3	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
1999-2008	2,4	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
2001-2008	2,1	2,0	2,4	2,3	2,4	2,4	4,1	1,2	1,7	6,7	1,6	0,3
2009-2019	0,75	0,81	69,0	1,00	68,0	1,48,	0,47	0,50	60,0	1,14	90,0	1,82
2009-2020	0,49	0,51	0,46	0,70	0,55	1,41	0,47	0,02	0,01	0,93	-0,07	1,60
	III. <sup>ŋ</sup>	Іисло лет	III. Число лет за период с отрицательными темпами прироста к предыдущему году	с отрица	тельным	и темпа	ми прирос	та к пре	дыдущему	году		
2001-2008	0	0	1	0	2	0	1	1	2	0	1	3
2009-2019	3	4	4	2	3	4	5	4	4	2	4	2
2009-2020	4	5	5	3	4	4	5	5	5	3	5	3

\*Скорректированный темп прироста Южного федерального округа с учетом вхождения в состав России Республики Крым и г. Севастополя в 2014 г.

Источники: Рассчитано по данным Росстата (ЕМИСС, электронной базе данных Росстата)

Конечно, этот потенциал определяется характером ее моноотраслевой производственной специализации. По данным электробаланса Росстата электропотребление области в 2019 г. достигло 99,62 млрд кВт ч. В табл. 5.1.5 можно видеть, что его среднегодовой прирост в 2009–2019 гг. (1,14%) заметно превышал средний уровень по стране (0,75%) и уступал лишь Дальневосточному (1,82%) и Южному (1,48%) федеральным округам. По данным справки Росстата «Фактический расход топливноэнергетических ресурсов на отдельные виды продукции, работ и услуг в 2019 году» на добычу нефти и газового конденсата в 2019 г. было затрачено 52,8 млрд кВт ч (53% от всего электропотребления региона), на добычу природного и попутного газа 2,7 млрд кВт ч (2,7%), на переработку газа 8 млрд кВт ч (8%). Таким образом, на добычу углеводородного сырья и переработку газа затрачивается 63,7% потребляемой электроэнергии региона. Эта доля близка к доле добывающих отраслей (фактически добычи нефти и газа) в валовой добавленной стоимости региона, которая по данным Росстата составила в 2019 г. 64,5%.

В народнохозяйственных сценариях, полученных на ОМВЕАР, добыча нефти (с газовым конденсатом) по отношению к базовой точке прогноза снижается к 2035 г. почти на 17% (инерционный вариант), практически остается на уровне 2019 г. (умеренно-оптимистический вариант) и увеличивается на 4,7% т.е. со среднегодовым темпом прироста всего 0,3% (оптимистический вариант). Исторический тренд (1999–2019 гг.), т.е. до перехода официальной статистики к представлению добычи нефти как «нефть обезвоженная, обессоленная и стабилизированная», для Тюменской области был 2,15%. Такой прогноз резкой смены динамики добычи нефти можно рассматривать как существенный фактор, влияющий на растущий тренд электропотребления региона в сторону замедления.

Характеризуя региональное размещение энергетических технологий, следует отметить, что, с одной стороны, в Тюменской области сосредоточена наибольшая среди всех макрорегионов доля производства электроэнергии на КЭС (ГРЭС) и ГТЭС (31,3%), которые работают на природном и попутном газе. С другой стороны, на нее приходилась наибольшая среди макрорегионов доля производства энергии на дизельных электростанциях (38,1%), к которой близка

вторая по величине доля Дальнего Востока (33,9%) (см. табл. 5.1.2). Из сводной справки Росстата «Производство промышленной продукции в натуральном выражении (с учетом соблюдения конфиденциальности первичной статистической информации) за 2019 год» следует, что 98% ДЭС сосредоточено на территории Ханты-Мансийского автономного округа (74 энергетических объекта) и Ямало-Ненецкого автономного округа (83 энергетических объекта).

Технологическая и региональная структура отпуска тепловой энергии в базовом году в формате технологий ОМВЕАР-ЭС и общие прогнозные ориентиры. В Стратегии-2035 [6] прогнозы по теплоснабжению не даются. В разделе о целеполагании, т.е. о направлениях развития ТЭК, говорится о необходимости ускоренного перехода (модернизационного рывка) «к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике...». Характеристика «рывка» в частности включает структурную диверсификацию «в рамках которой углеродная энергетика дополнится неуглеродной, централизованное энергоснабжение — децентрализованным, экспорт энергетических ресурсов — экспортом российских технологий, оборудования и услуг в сфере энергетики, расширится спектр применений электрической энергии, сжиженного природного газа и газомоторного топлива». Таким образом, предполагается рост децентрализованных источников по выработке как тепловой, так и электрической энергии.

Официальная статистика производства тепловой энергии децентрализованными источниками отсутствует. По экспертной оценке разработчиков предыдущей Энергетической стратегии до 2030 года (2009 г.) (далее Стратегии-2030) в 2008 г. производство тепловой энергии децентрализованными источниками составило 537 млн Гкал, из них 187 млн Гкал (34,8%) на мелких котельных и 334 млн Гкал (65,2%) на автономных источниках теплоснабжения (АИТ). С учетом того, что централизованными источниками было произведено 1380 млн Гкал, доля децентрализованной энергии составляла значительную величину — 28%. В прогнозах Стратегии-2030 была продолжена действующая тогда (и сейчас) тенденция сокращения отпуска тепла мелкими котельными

 $<sup>^1</sup>$  Энергетической Стратегии России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. Приложение № 4. Код доступа: https://docs.cntd.ru/document/902187046

(от 187 млн Гкал в 2008 г. до 140–150 к 2030 г. или на 25–20%) за счет сокращения их количества и, наоборот, закладывалась тенденция роста производства тепловой энергии от АИТ (от 350 млн Гкал до 370–390 млн Гкал или на 6–11%), что в результате означало стабилизацию уровня децентрализованного теплоснабжения в диапазоне 510–540 млн Гкал. с верхней границей весьма близкой к оценке факта за 2008 год. Одновременно прогнозировалась тенденция роста централизованного теплоснабжения до 1610–1620 млн Гкал. или, примерно, на 17% к уровню 2008 г. Тогда доля децентрализованного теплоснабжения снизилась бы по этим прогнозам к 2030 г. всего лишь до 24–25% (с 28% в 2008 году).

В ОМВЕАР-ЭС децентрализованные источники не представлены отдельными технологическими способами, и учет децентрализованной тепловой энергии в модели осуществляется в неявном виде через прямой расход топлива в организациях отдельных видов экономической деятельности. Поэтому далее анализ проводится по обобщенным технологиям централизованного теплоснабжения с использованием данных Росстата (ЕМИСС). По ним можно отследить ретроспективную динамику отпуска тепловой энергии в РФ с 2003 г. Из ее анализа следует вывод о существовании слабо выраженной тенденции снижения отпуска теплововании слабо выраженной тенденции снижения отпуска тепловой энергии, производимой централизованными источниками. Так, среднегодовой темп снижения отпуска централизованного тепла в 2004—2019 гг. составил -0,71%. Если, используя ведомственные источники [8 с. 138—139], удлинить период до 1999 г. (т.е. до начала экономического роста страны после трансформационного кризиса 90-х годов), то «исторический» тренд за 1999—2021 гг. будет еще меньше -0,30%. Такая медленная динамика не исключает роста отпуска тепловой энергии в отдельные годы (по отношению к предыдущему году), связанного с регулированием отпуска тепла его производителями в зависимости от изменения погодных условий. За двадцать три года периода 1999—2021 гг. таких лет было десять, т.е. более чем 43% всех случаев.
По инерционному и умеренно-оптимистическому сценариям ОМВЕАР прогнозируется рост выработки тепловой энергии

По инерционному и умеренно-оптимистическому сценариям ОМВЕАР прогнозируется рост выработки тепловой энергии к 2035 г. на 4,9 %, что по среднегодовому приросту составляет относительно незначительную величину 0,30%, а в оптимистическом сценарии при среднегодовых темпах прироста ВВП в 2020–2035 гг,

превышающих 5%, он достигает 1,1%. Проведенный анализ ретроспективных траекторий типов энергетических объектов, представленных в ОМВЕАР-ЭС, позволяет сделать вывод о завышениом характере последнего прогноза, поскольку он, с одной стороны, в недостаточной мере учитывает действие энергосберегающих мероприятий, осуществляемых на инновационной основе, а с другой – более ускоренного роста количества автономных источников теплоснабжения (АИТ) по сравнению с первыми двумя сценариями.

В табл. 5.1.6 и 5.1.7 приведено межрегиональное распределение отпуска тепловой энергии централизованными источниками, моделируемыми в ОМВЕАР-ЭС, и представлена структура отпуска в разрезе страны и макрорегионов по типам этих источников. Из табл. 5.1.7 следует, что в базовой точке прогноза в Европейской России почти 91% централизованной тепловой энергии вырабатывался на ТЭЦ и котельных примерно в равных долях с некоторым преобладанием доли последних (как и по РФ в целом). В Азиатской России, на ТЭЦ и котельные приходилось более 93% с некоторым преобладанием доли ТЭЦ. Региональные пропорции между ТЭЦ и котельными характеризуются значительной вариабильностью: доля ТЭЦ в Европейской части страны варьируется от 55,4% в Уральском регионе до 14,8% в Северо-Кавказском федеральном округе, а в Азиатской части страны от 55,9% в Сибирском федеральном округе до 29,8% в Тюменской области.

Таблица 5.1.6. Межегиональная структура отпуска тепловой энергии (централизованной) в РФ по типам энергетических объектов ОМВЕАР-ЭС в 2019 г., %

Субъект Федерации	Отпуск	В том числе							
- 70-1	тепловой энергия, всего	ДЄТ	АЭС	КЭС и др.*	Котель- ные	Электро- котлы	ТУУ**		
	1	3	4	5	6	7	8		
ЦФО	22,1	20,5	47,4	25,2	24,8	2,3	13,8		
СЗФО	13,3	12,5	24,5	3,5	13,7	13,0	16,1		
ЮФО	5,0	3,0		5,9	6,2	0,1	9,4		
СКФО	1,4	0,5		0,3	2,3	0,1	2,4		
ПФО	24,2	26,0	12,3	19,7	21,0	20,4	35,3		

Продолжение таблицы 5.1.6

				1			
	1	2	3	4	5	6	7
УФО без Тюменской обл.	8,2	10,1	10,7	13,7	6,8	0,2	5,4
Тюменская обл.	3,9	2,6		3,8	5,3	2,7	3,6
СФО	15,4	19,1		21,5	12,2	29,6	12,4
ДФО	6,5	5,8	5,1	6,3	7,7	31,7	1,8
РФ	100	100	100	100	100	100	100
Европейская Россия	74,3	72,6	94,9	68,4	74,7	36,0	82,3
Азиатская Россия	25,7	27,4,	5,1	31,6	25,3	64,0	17,7

*Источники*: Рассчитано по данным Росстата (ЕМИСС) и статистической справке «Производство промышленной продукции в натуральном выражении (с учетом соблюдения конфиденциальности первичной статистической информации) за 2019 год». Электроэнергия, газ, пар и кондиционирование воздуха (Банки данных ГУ ВШЭ).

\*В данных Росстата эта категория энергетически объектов обозначена как «энергия тепловая, отпущенная прочими (кроме ТЭЦ и АЭС) электростанциями

Таблица 5.1.7 Технологическая структура отпуска тепловой энергии (централизованной) в РФ и в ее макрорегионах в 2019 г., %

Субъект Федерации	Отпуск	В том числе								
	тепловой энергия, всего	ДЄТ	АЭС	КЭС и др.*	Котель- ные	Электро- котлы	ТУУ**			
	1	2	3	4	5	6	7			
ЦФО	100	41,9	0,6	0,9	52,1	0,03	4,5			
СЗФО	100	42,6	0,5	0,2	47,8	0,2	8,7			
ЮФО	100	27,6	0	0,9	57,9	0,005	13,5			
СКФО	100	14,8	0	0,2	73,0	0,02	12,1			
ПФО	100	48,5	0,14	0,6	40,1	0,2	10,4			
УФО без Тюменской области	100	55,4	0,3	1,3	38,3	0,006	4,7			

<sup>\*\*</sup> ТУУ – промышленные утилизационные установки

Продолжение таблицы 5.1.7

	I						
	1	2	3	4	5	6	7
Тюменская область	100	29,8	0	0,8	62,8	0,2	6,5
СФО	100	55,9	0	1,1	36,8	0,5	5,8
ДФО	100	40,3	0,2	0,8	55,6	1,2	1,9
РΦ	100	45,2	0,3	0,8	46,4	0,2	7,2
Европейская Россия	100	44,2	0,3	0,7	46,7	0,12	7,9
Азиатская Россия	100	48,0	0,05	1,0	45,5	0,6	4,9

Источники: Рассчитано по данным Росстата (ЕМИСС) и статистической справке «Производство промышленной продукции в натуральном выражении (с учетом соблюдения конфиденциальности первичной статистической информации) за 2019 год». Электроэнергия, газ, пар и кондиционирование воздуха (Банки данных ГУ ВШЭ).

\*В данных Росстата эта категория энергетически объектов обозначена как «энергия тепловая, отпущенная прочими (кроме ТЭЦ и АЭС) электростанциями

\*\* ТУУ – промышленные утилизационные установки

Третью позицию по величине отпуска тепловой энергии в стране (7,2 %) занимали промышленные теплоутилизационные установки (ТУУ) – прогрессивное направление развития энергетических технологий, ориентированное на полезное использование тепловой энергии, получаемой из вторичных энергетических ресурсов в качестве побочных эффектов в различных технологических процессах производства. Более 82% энергии технологиями этого типа вырабатывается в Европейской части страны, в частности, в трех федеральных округах (Центральном. Северо-Западном и Приволжском), которые являются центрами черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, где эти технологии широко используются. В этих трех регионах сосредоточено почти две третьих (65,2%) отпуска тепловой энергии ТУУ, причем максимальная доля (35,2%) приходится на Приволжский федеральный округ Почти 70% тепловой энергии ТУУ Азиатской России вырабатывалось в 2019 г. в Сибирском федеральном округе. Фактически расширение использования технологий ТУУ является существенных фактором энергосбережения. Если динамику выработки тепловой энергии системой централизованного теплоснабжением РФ в целом и ТУУ в частности представить в форме среднегодового темпа прироста за период 1999—2019 гг. (исторических трендов), то по нашим расчетам, сделанным на основе анализа данных Росстата, первый темп прироста составит -0,6%, а второй 4,2%.

#### Литература

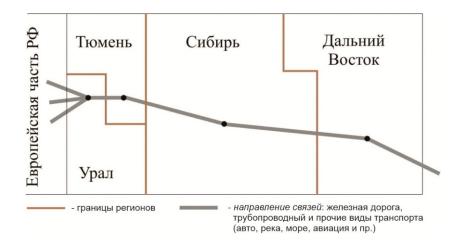
- 1. Новый импульс Азиатской России / Под ред. В.А. Крюкова, Н.И. Суслова; Сибирское отделение Российской академии наук, Институт экономики и организации промышленного производства. — Новосибирск: Изд-во СО РАН; Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2022. — Гл. 3, 12.
- 2. Суслов Н.И., Чернышов А.А. Территориальные народнохозяйственные модели взаимосвязей многоотраслевых комплексов // Моделирование взаимодействия многоотраслевых комплексов в системе народного хозяйства. Новосибирск: Наука, 1992. Гл. 2. С. 33–52.
- 3. Бузулуцков В.Ф., Суслов Н.И. СОНАР-ТЭК: моделирование и анализ проблем энергетического комплекса в системе национальной экономики // Системное моделирование и анализ мезо- и микро-экономических объектов / Отв. ред. В.В. Кулешов, Н.И. Суслов. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2014. С. 40–111.
- 4. Суслов Н.И., Бузулуцков В.Ф. Применение информационнопрограммно-модельного комплекса ОМММ-ТЭК для сценарного анализа развития ТЭК регионов: методические аспекты // Регион: экономика и социология. – 2017. – № 3. – С. 215–237.
- 5. Чернышов А.А., Суслов Н.И. Использование ОМММ для анализа развития межотраслевых комплексов // Оптимизационные межрегиональные межотраслевые модели / Отв. ред. А.Г. Гранберг, И.С. Матлин. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1989. Гл. 7. С. 210–244.
- 6. Энергетическая Стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р. (Код доступа: https://minenergo.gov.ru/node/1026).

- 7. Суслов Н.И., Бузулуцков В.Ф. Об одном подходе при учете динамики в моделях класса ОМММ (на примере ОМММ-ТЭК) // Мир экономики и управления. -2018.- Т. 18.-№ 4.- С. 112-125 (DOI: 10.25205/2542-0429-2018-18-4-112-125).
- Топливо и энергетика России. Справочник специалиста топливноэнергетического комплекса. Министерство промышленности и энергетики Российской Федерации. Государственное учреждение «Институт энергетической стратегии». – М., 2005.
   Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А. Многорегиональные
- 9. Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А. Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование. Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2007.
- 10. Суслов Н.И., Бузулуцков В.Ф. Информационные и методические аспекты моделирования распространения возобновляемой энергетики с использованием ОМММ-ТЭК (DOI: 10.25205/2542-0429-2020-20-2-24-49) // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20, № 2. С. 24–49. ВАК.

# 5.2. Детализация транспортной отрасли в межрайонной межотраслевой модели: взаимосвязь ОМММ-О и ОМММ-транспорт

Результаты решения задач с использование моделей из «семейства ОМММ» — ОМММ-О и ОМММ-транспорт позволяют оценить (прогнозировать) обобщенные, агрегированные показатели развития транспортного комплекса страны в целом. В решениях задач по указанным выше моделям выявляются перспективные грузопотоки между выделенными в этих задачах регионами, и объемы производства и потребления, выделенных в этих задачах видов продуктов. Схематично эти две задачи отражены на Рис 5.2.1 и 5.2.2. Формализованная запись ОМММ-транспорт принципиально мало чем отличается от ОМММ-О (см. гл. 4). Объединенная отрасль «прочие виды транспорта» в модели ОМММ-О содержит агрегированную информацию по 6 видам транспорта: автомобильный, речной, морской, авиационный, работой портовых комплексов по погрузке, разгрузке и перегрузке с одного вида транспорта на другой. Отдельно выделены железнодорожный и трубопро-

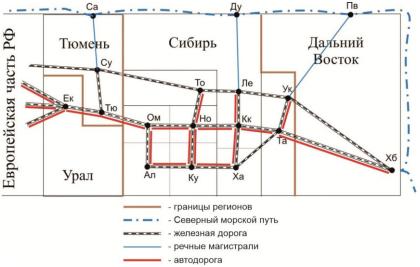
водный виды. Рассматриваются соответствующие переменные и балансовые уравнения по этим трем видам транспортных услуг.



Комментарий: Отдельно рассматриваются железная дорога и трубопроводный транспорт. Все другие виды (автомобильный, авиационный, речной и морской) объедены в «прочий», куда добавлены услуги по погрузке, разгрузке и транзиту.

Puc. 5.2.1. Представление пространства и транспорта Азиатской России в ОМММ-О

Важным элементом модифицированной модели является то, что, агрегированный регион СИБИРЬ, отражаемый в ОМММ-О как «точка», в модели ОМММ-транспорт представлен уже отдельными субъектами Федерации. Такое представление позволяет более детализированно «отслеживать» транспортную работу на отдельных участках соответствующего вида транспорта. Еще одним важным новым элементом в ОМММ-транспорт является отражение прямых связей между регионами (а не только смежным), что позволяет более точно оценивать встречные поставки, что сделать в постановке со смежными связями затруднительно. Эта постановка описана ниже — в Приложении 1 и 2 к данному разделу главы (5.2).



Условные обозначения регионов и некоторых узлов, ключевых для использования в задаче ПРОСТОР: ЕК — Екатеринбург (Урал), СА — Сабетта, СУ — Сургут, ТМ — Тюмень, ТО — Томск, ОМ — Омск, АЛ — Алтай (Барнаул), НК — Новосибирск, КЗ — Кузбасс ( Кемеровская область), ДУ — Дудинка, ЛК — Лесосибирск, КК — Красноярск, АБ — Абакан (Хакасия), УК — Усть-Кут, ТШ — Тайшет, ПВ — Певек, ХБ — Хабаровск. В Европейской части страны транспортные связи между регионами повторяют конфигурацию ОМММ-О с детализацией агрегированного «прочего» вида транспорта.

### Комментарий:

Направления связей представлены разными видами транспорта:

- Железная дорога
- Автомобильные межрайонные магистрали
- Морская коммуникация
- Речные коммуникации
- Погрузка / разгрузка, транзит и авиация выделены в каждом регионе.
- Трубопроводный вид транспорта повторяет конфигурацию модели ОМММ-О.

*Puc.* 5.2.2. Представление пространства Азиатской России в ОМММ – транспорт

Покажем теперь последовательность перехода к моделям (задачам) собственно транспортного типа, а именно к модели для решения задачи Прогнозирования Развития Опорной Сети Транспортной Отрасли России (ПРОСТОР)<sup>1</sup> (рис.5.2.3).

# «Встраивание» транспортной задачи в народнохозяйственную



*Puc.* 5.2.3. Последовательность расчетов в системе транспортных задач разного уровня

Входными параметрами для решения задачи ПРОСТРОР и соответствующей ей модели Оптимизации Транспортной Сети (ОТС) являются результаты решения задач с использование моделей из «семейства ОМММ» – ОМММ-О и ОМММ-транспорт.

297

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> В определенном смысле понятия Задача и Модель тождественны: Модель — это формализованное представление Задачи для ее решения (т.е. получения количественных оценок).

Предлагаемая ниже модель предназначена для выявления перспективных направлений логистики, причем делается попытка совместить задачи распределения грузовых и пассажирских перевозок с возможностью использования различных видов транспорта. Модель также ориентирована на использование разных критериев, прежде всего стоимостных и временных. Критерий минимизации времени крайне важен прежде всего для пассажирских перевозок, но в зависимости от расстояния авиатранспорт может уступать по этому критерию и автотранспорту, и железным дорогам. В последнем случае конкуренция с грузовыми перевозками на отдельных участках железнодорожной транспортной сети может оказаться значимым фактором, что потребует дополнительных исследований в сфере реализации интересов отдельных транспортных компаний.

Если по номенклатуре продуктов добиться совпадения во всех трех моделях не представляет большой проблемы, то обеспечение соответствия пространственных единиц предполагает соответствующие процедуры перехода. Для OMMM-О и OMMMтранспорт такое соответствие достигается сравнительно легко: здесь требуется только детализация отдельных показателей. При переходе от задачи ОМММ-транспорт к задаче ПРОСТОР необходимы: а) объединение тех регионов, для которых возможно представление транспорта в агрегированном виде, б) выделение в ряде регионов отдельных **транспортных узлов**<sup>1</sup>. Кроме того, задача ПРОСТОР предполагает выделение конкретных «плеч» – соединений отдельных узлов разными видами транспорта, что может не совпадать с выделенными в задачах семейства ОМММ направлениями связей между регионами (рис.5.2.3). Показатели производства и потребления каждого из продукта (отрасли) в регионе предстоит «расщепить» по отдельным узлам этого региона. Представляется, что последнее – это задача отдельного эксперта

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Например, регион Красноярский край, рассматриваемый в ОМММ-транспорт как «точка» в задаче ПРОСТОР представлен несколькими транспортными узлами: Минусинск, Ачинск, Красноярск, Лесосибирск, Дудинка (с Норильском), Диксон. Между этими узлами связи могут осуществляться разными видами транспорта с возможной сменой видов транспорта, т.е. перегрузкой в некоторых узлах.

по региону и, желательно, по отрасли, поскольку модель ОТС предполагает более детализированную специфическую для транспортной отрасли информацию и, желательно, в натуральных измерителях: тонны погрузки, тарифы на отдельных плечах, тонно-км. транспортной работы и пр.

Приведем формализованную запись модели ОТС для решения задачи ПРОСТОР.

Переменные модели.

 $X_{ir}^{\ j}$  – объём груза (продукта) вида i, принятый в узле  $^{r}$  (или s ) к погрузке на транспорт вида j (или au ):

 $t \in I$  , где I — множество видов груза;  $(r,s) \in R=R_1 \cup R_2$  , где R — множество всех транспортных узлов,  $R_1$  — подмножество

внутренних узлов, R  $^2$  — подмножество внешних узлов;  $j,\,\tau\in J$  , где J — множество всех видов транспорта;

 $\mathbf{Y}_{ir}^{j}$  – объём груза вида i , принятый в узле r (или s ) к выгрузке с транспорта вида j (или au );

 $V_{ir}^{(j au)}$  — объём груза вида i, перегружаемого в узле r с транспорта вида j на транспорт вида au;

 $\overline{V}_{ir}^{(\vec{y})}$  — объём груза вида i, перегружаемого в узле r с транспорта вида  $\tau$  на транспорт вида j;

 $Z_{ir}^{j}$  – объём груза вида i, проходящего транзитом через узел r (или s ) транспортом вида j (или au );

 $W^{j}_{irs}$  – объём грузопотока продукта вида i, отправляемого из узла r в смежный узел s транспортом вида j;

 $\overline{W}_{isr}^j$  — объём грузопотока продукта вида i, принятый из узла s в смежный узел r транспортом вида j;

 $W_{(rs)}^{j}$  — суммарный объём перевозки грузов транспортом вида j не требующий усиления существующей провозной способности участка, связывающего смежные узлы r и s в прямом направлении (rs);

 $\overline{W}_{(sr)}^{j}$  — суммарный объём перевозки грузов транспортом вида j не требующий усиления существующей провозной способности участка, связывающего смежные узлы r и s в обратном направлении (sr);

 $Q_r^j$  — прирост мощности (в расчёте на объём переработки груза) функциональных элементов транспортного узла r, обеспечивающих выполнение операций по подготовки любых видов груза для перевозки транспортом вида j (подготовка к погрузке, выгрузке, пропуск транзита, временное хранение и т.п.);

 $Q_{ir}^{(j au)}$  — прирост специализированных составляющих мощностей (в пересчёте на объём переработки груза), обеспечивающих перегрузку (перевалку) продукции вида i в узле r, связанную со сменой здесь вида транспорта j для продолжения перевозки транспортом вида  $\tau$ ;

 $\Psi^{j}_{(rs)}$  – прирост существующей провозной способности (в пересчёте на перевозимый объём груза) участка транспортной сети вида j, связывающего узел r со смежным узлом s;

 $U_{r\mu}$  – прирост потребностей узла r в ресурсах вида  $\mu$  (в пересчёте на объём переработки груза), требования к которым не зависят ни от вида груза, ни от вида транспорта для его перевозки

(например, неквалифицированные трудовые ресурсы, электроэнергия, оборудование для переработки грузов и т.д.);

 $U^j_{rki}$  – прирост потребностей узла r в ресурсах вида k (в пересчёте на объём переработки груза), требования к которым зависят от вида транспорта j и от вида перевозимой продукции i (например, квалифицированные трудовые ресурсы, виды подвижного состава, контейнерные терминалы и т.д.).

Условия модели.

1. Ограничения на объём отдельного вида произведенной в узле продукции и принятой здесь разными видами транспорта к погрузке (для вывоза за пределы узла):

$$\sum_{j} X_{ir}^{j} \leq B_{ir}, \ i \in I, r \in R, j \in J, \tag{5.2.1}$$

где  $B_{ir}$  – верхняя граница на объём продукции вида i, предназначенный для вывоза из узла r

2. Ограничения на объём отдельного вида продукции, принятый в узле от разных видов транспорта к выгрузке для потребления внутри узла:

$$\sum_{j} Y_{ir}^{j} \ge A_{ir}, \ i \in I, r \in R, j \in J, \tag{5.2.2}$$

где  $A_{ir}$  – нижняя граница на объём продукции вида  $^i$ , ввозимой в узел  $^r$  всеми видами транспорта.

3. Определение объёма отдельного вида продукции, проходящего транзитным грузопотоком через узел отдельным видом транспорта:

$$Z_{ir}^{j} = \sum_{s} \overline{W}_{isr}^{j} - Y_{ir}^{j} - \sum_{\tau} V_{ir}^{(j\tau)}, (s, r \in R, r \neq s; i \in I; j, \tau \in J, \tau \neq j).$$

$$(5.2.3)$$

- 4. Определение объёмов продукции, перегружаемых в узле с одного вида транспорта на другие<sup>1</sup>:
  - а) для внутренних узлов

$$\sum_{\tau} V_{ir}^{(j\tau)} = X_{ir}^{j} + \sum_{s} \overline{W}_{isr}^{j} + \sum_{\tau} \overline{V}_{ir}^{(y)} - Y_{ir}^{j} - \sum_{s} W_{irs}^{j}$$

$$(r, s \in R_{1}, r \neq s; j, \tau \in J, \tau \neq j; i \in I);$$
(5.2.4)

б) для внешних узлов

$$\begin{split} &\sum_{\tau} V_{ir}^{(j\tau)} = & D_{ir}^{j} + X_{ir}^{j} + \sum_{s} \overline{W}_{isr}^{j} + \sum_{\tau} \overline{V}_{ir}^{(\tau)j} - Y_{ir}^{j} - \sum_{s} W_{irs}^{j} \\ &(r \in R_{2}, \, s \in R_{1} \, ; \, \text{для всех пар } (j\tau) \, , \, \tau \neq j \, ; \, i \in I \, ), \end{split} \tag{5.2.5}$$

где  $D_{ir}^j$  – обязательный объём ввоза или вывоза продукции  $^i$  через внешний узел  $^r$  транспортом вида  $^j$  .

5. Определение прироста мощности узла, необходимой для выполнения операций по подготовке любых видов груза к перевозке или к её завершению:

$$Q_{r}^{j} = \sum_{i} p^{j(n)} X_{ir}^{j} + \sum_{i} p^{j(n)} Y_{ir}^{j} + \sum_{i} p^{j(m)} Z_{ir}^{j} - M_{r}^{j}$$

$$(r \in R; j, \tau \in J; i \in I),$$
(5.2.6)

 $<sup>^{1}</sup>$  По структурному содержанию в этой группе уравнений формализуются балансы входящих и выходящих грузопотоков узла.

где  $p^{j(n)}, p^{j(s)}, p^{j(m)}$  – требования на единицу груза к функциональным элементам транспорта вида j для погрузки, выгрузки и пропуска транзита соответственно;

 $M_r^{j}$  — существующая на начало прогнозного периода мощность по объёму переработки груза в узле  $^r$  транспортом вида j .

6. Определение прироста специализированной составляющей мощности узла, в котором для продолжения перевозки груза потребуется смена вида транспорта:

$$\begin{aligned} Q_{ir}^{(j\tau)} &= \alpha_i^{(j\tau)} V_{ir}^{(j\tau)} + \overline{\alpha}_i^{(\vec{y})} \overline{V}_{ir}^{(\vec{y})} - \\ M_{ir}^{(j\tau)} & \qquad \qquad (i \in I \; ; \; r \in R \; ; \; \text{для каждой пары } (j\tau) \; , \\ \tau \neq j \; ), \end{aligned} \tag{5.2.7}$$

где  $\alpha_i^{(j\tau)}$ ,  $\overline{\alpha}_i^{(j)}$  – потребность (в пересчёте на единицу груза) в специализированных составляющих мощности узла для перегрузки продукции вида i при взаимодействии пары видов транспорта  $(j\tau)$  и  $(\bar{\jmath})$  соответственно;

 $M_{ir}^{(j au)}$  – существующая на начало прогнозного периода производственно-перегрузочная мощность по объёму переработки груза вида i в узле r при взаимодействии пары видов транспорта (j au) .

- 7. Определение достаточности приростов провозной способности участка транспортной сети, связывающего смежные узлы:
  - а) для «прямого» направления

$$0.5\Psi_{(rs)}^{j} \ge \sum_{i} W_{irs}^{j} - W_{(rs)}^{j}, \quad (i \in I; j \in J; j \in J;$$
 (5.2.8)

для каждой пары  $(rs), r, s \in R, r \neq s)$ 

б) для «обратного» направления

$$0,5\Psi_{(rs)}^{j} \ge \sum_{i} \overline{W}_{isr}^{j} - \overline{W}_{(sr)}^{j}, \quad (i \in I; \quad j \in J;$$
 для каждой пары  $(rs), r, s \in R, r \neq s).$  (5.2.9)

8. Ограничения пропускной способности участка транспортной сети, имеющейся на начало прогнозного периода:

$$W_{(rs)}^{j} + \overline{W}_{(sr)}^{j} \le \Pi_{(rs)}^{cyuu.j} \quad (j \in J; \text{ для каждой } (5.2.10)$$
 пары  $(rs), r, s \in R \quad r \neq s)$ ,

где  $\Pi^{cyuq.j}_{(rs)}$  — верхняя граница уровня существующей к началу прогнозного периода провозной способности участка транспорта вида j , связывающего смежные узлы r и s .

9. Ограничения на требуемый к концу прогнозного периода прирост пропускной способности участка транспортной сети:

$$\Psi_{(rs)}^{j} \leq \Pi_{(rs)}^{\text{нов.}j} \ (j \in J ;$$
 для каждой пары  $(rs), (5.2.11)$   $r,s \in R, r \neq s),$ 

где  $\Pi^{HOB,j}_{(rs)}$  — верхняя граница на прирост провозной способности участка транспорта вида j , связывающего смежные узлы r и s .

10. Определение дополнительных на конец прогнозного периода объемов ресурсов вида  $\mu$ , требования к которым не зависят ни от вида груза, ни от вида транспорта для его перевозки:

$$\begin{split} &U_{r\mu} \geq \sum_{j} \beta_{\mu}^{j} Q_{r}^{j} + \sum_{i,(j\tau)} \beta_{i\mu}^{(j\tau)} Q_{ir}^{(j\tau)} + 0, \\ &Sl_{(rs)}^{j} \gamma_{\mu(rs)}^{j} (\sum_{j,i,s} W_{irs}^{j} + \sum_{j,i,s} \overline{W}_{,isr}^{j}) - T_{r\mu}, \\ &(r \in R, \text{ для всех } \mu), \end{split} \tag{5.2.12}$$

где  $eta_{\mu}^{j}$  – удельный расход ресурса вида  $\mu$  для подготовки любых видов груза к перевозке транспортом вида j ,

 $eta_{i\mu}^{(j au)}$  – удельный расход ресурса вида  $\mu$  при перегрузке продукции вида i связанной со сменой вида транспорта j для продолжения перевозки транспортом вида au ,

 $l_{(rs)}^{j}$  – расстояние между смежными узами r и s при перевозке груза транспортом вида j ,

 $\gamma^j_{\mu(rs)}$  — удельный расход ресурса вида  $\mu$  (в пересчёте на тонно-километр) транспортом вида j по участку, связывающему смежные узлы r и s,

 $T_{r\mu}$  – резерв объёма ресурса вида  $\,\mu$  , имеющийся в транспортном узле  $\,r\,$  на начало прогнозного периода.

11. Определение дополнительных на конец прогнозного периода объемов ресурсов вида k, требования к которым зависят и от вида груза, и от вида транспорта для его перевозки:

$$U_{rki}^{j} \ge q_{ki}^{j} X_{ir}^{j} + \sum_{\tau} \overline{q}_{ki}^{(\overline{y})} \overline{V}_{ir}^{(\overline{y})} - \overline{M}_{rki}^{j},$$

$$(r \in R, \text{ по всем } k \text{ и } i, \text{ для всех } \tau),$$

$$(5.2.13)$$

где  $q_{ki}^{\,j},$  – удельный расход ресурса вида k при подготовке к перевозке продукции вида i транспортом вида j ,

 $\overline{q}_{ki}^{(ar{\jmath})}$  – удельный показатель потребности в ресурсе вида k при перегрузке продукции вида i с транспорта вида au на транспорт вида j ,

 $\overline{M}_{rki}^{\ j}$  — объём ресурса вида k, имеющийся в транспортном узле  $^r$  на начало прогнозного периода для использования транспортом вида j при переработке груза вида i.

- 12. Целевая функция модели минимум суммарных приведенных затрат на развитие опорной транспортной системы, которое обеспечивает фиксированные по узлам зарождения и погашения объёмы перевозок. Структура функционала является суммой следующих 4 групп слагаемых, каждая из которых отражает формирование издержек, связанных с определёнными операциями в сфере транспортного процесса:
- ◆ с переработкой грузов непосредственно в транспортных узлах:

$$+ \sum_{i,r,j} c_i^j X_{ir}^j + \sum_{i,r,j} \overline{c}_i^j Y_{ir}^j + \sum_{i,r,j} c^j Z_{ir}^j + \sum_{i,r,(j\tau)} c_{ir}^{(j\tau)} V_{ir}^{(j\tau)} + \sum_{i,r,(\overline{\eta})} \overline{c}_{ir}^{(\overline{\eta})} \overline{V}_{ir}^{(\overline{\eta})},$$

где коэффициенты при переменных – удельные (в пересчёте на единицу груза) текущие затраты на погрузку, выгрузку, обслуживание транзитных грузопотоков и перегрузку с одного вида транспорта на другой соответственно;

◆ с движенческими операциями, т.е. непосредственно с перевозкой грузов:

$$+\sum_{j,i,(rs)} \phi_{(rs)}^{j} l_{(rs)}^{j} W_{irs}^{j} + \sum_{j,i,(sr)} \overline{\phi}_{(sr)}^{j} l_{(rs)}^{j} \overline{W}_{isr}^{j},$$

где  $\phi_{irs}^{j}$  и  $\overline{\phi}_{irs}^{j}$  – удельные (в пересчёте на единицу грузооборота) текущие затраты на перевозку продукции между парами смежных транспортных узлов в прямом и обратном сообщении соответственно, а  $l_{(rs)}^{j}$  – расстояние между смежными узлами для сети транспорта вида j;

♦ с созданием дополнительных мощностей объектов транспорта:

$$+\sum_{j,r}\sigma_{r}^{j}Q_{r}^{j}+\sum_{i,r,(j\tau)}\sigma_{ir}^{(j\tau)}Q_{ir}^{(j\tau)}+\sum_{j,(rs)}\sigma_{(rs)}^{j}\Psi_{(rs)}^{j},$$

где 
$$m{\sigma}_r^j, m{\sigma}_{ir}^{(j au)}, m{\sigma}_{(rs)}^j$$
 – удельные приведенные затраты (с

учётом дисконтированной величины инвестиционной составляющей в основные фонды) на приросты мощностей по подготовке грузов к перевозке, к осуществлению перевалки их на другой вид транспорта и на увеличение провозных способностей участков транспортной сети соответственно;

♦ с подготовкой дополнительных объёмов ресурсов, требуемых в перспективе для предоставления транспортных услуг:

$$+\sum_{r,\mu} \lambda_{r\mu} U_{r\mu} + \sum_{r,k,i,j} \lambda_{rki}^{j} U_{rki}^{j} = \min,$$
 (5.2.14)

где 
$$\lambda_{r\mu}, \lambda_{rki}^{\mu}$$
 – удельные затраты на обеспечение «общи-

ми» и «специальными» ресурсами прогнозируемых приростов мощностей элементов опорной транспортной сети.

При проведении вариантных расчётов с другими критериями такая форма целевой функции сохраняется в качестве обычного модельного неравенства, работающего как «счётчик» суммарных издержек. Сравнительный анализ результатов серии расчётов позволяет выявлять дополнительные аргументы для обоснования рекомендуемых (предпочтительных) вариантов формирования и развития опорной транспортной сети России. Существенное расширение аспектов прикладного использования предложенной модели и аргументации причинно-следственных факторов выбора таких вариантов обеспечивается аппаратом геоинформационного сопровождения расчётов<sup>1</sup>. Использование такого критерия опти-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Концепция построения и структура геоинформационного комплекса, соответствующего структуре предложенной модели и обеспечивающего обработку и визуализацию входной и выходной информации оптимизационных расчётов, рассматриваются в ряде предыдущих публикациий разработчиков этого инструментария.

мальности (одного для всех субъектов хозяйственных отношений) может показаться неадекватным современному состоянию развития транспортного комплекса России, когда многие транспортные компании (включая и РЖД) являются акционерными обществами, со своими индивидуальными критериями эффективности. Поиск компромисса между ними является отдельной, достаточно сложной и неразработанной проблемой. Тем не менее, ПРОСТОР позволяет дать некоторый ориентир на поиск такого компромисса на основе возможности достижения совокупного эффекта в сфере формирования логистических цепочек.

Для решения задачи ПРОСТОР предложен модельно-программный комплекс, позволяющий автоматизировать построение, оперативное (т.е. за приемлемое время на каждый из вариантов расчетов) решение и анализ получаемых результатов транспортной задачи больших размерностей. Возможно представление результатов как на схеме так и на картографической основе (Рис. 5.2.4а и 5.2.4.6). Кроме того, задействованы возможности интервального представления входных параметров с последующей иллюстрацией результатов расчетов в формате вероятностного появления случаев предельной загруженности отдельных участков транспортной сети.

Приложение 1 к подразделу 5.2. ОМММ-транспорт: направления расширения межотраслевой модели, за счёт детализации транспортных отраслей.

Для построения прогнозных показателей транспортных услуг необходимы межотраслевые инструменты с отражением внутрирегиональных и внешних межрегиональных перевозок с отражением и выделения связанных с ними дифференцированных по видам транспортных затрат. Данные целевые установки потребовали расширения базовой исходной модели за счёт детализации видов транспортных услуг и общего экономического пространства. Данное преобразование инструмента ориентиру-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Данный модельно-программный комплекс разработан при участии сотрудников ИСИ СО РАН М.А. Бульонкова, Н.Н. Филаткиной, Т.В. Нестеренко. **308** 

ется на общие принципы работы в системе моделей, т.е. с сохранением взаимодействия по согласуемым содержательно совпадающим частям. В частности, связь остаётся как по отраслевым, так и региональным условиям. Был преобразован также сам блок межрегиональных поставок продукции: вместо принципа отражения связей между смежными районами отражены прямые поставки продукции, когда каждый район может быть связан со всеми остальными.

Указанный подход моделирования ориентирован на получение транспортных поставок с указанием маршрутов их следования и отражением транспортных затрат на указанные поставки. Единая постановка модели обеспечивает сбалансированность с остальными отраслями и прогнозным общим производством. По своему содержанию она сохраняет содержание параметров и переменных уровня инструментов верхнего макроуровня задач в отличие от чисто отраслевых задач, т.к. формируются не только задания на перевозки продукции между районами, но и детализированные условия производства этой продукции и услуг.

производства этои продукции и услуг.

В ниже следующих условиях мы приведём лишь составляющие транспортных условий и инвестиций. Модель построена на основе опыта построения и применения динамических межрегиональных моделей и перевода последних в прикладные схемы реализации их в виде серии статических задач для определённого временного периода. Естественным на данном уровне расчётов является уточнение гладкой динамики развития по базовой задаче последовательным решением статических задач по выделенным годам периода прогнозирования.

Указанная модифицированная статическая межрегиональная модель, сохраняет возможности частичной оптимизации капитальных вложений на годовом отрезке времени. Модель (5.2.15 – 5.2.17), представленная в агрегированном виде, принята в качестве исходной для типичных материально-вещественных задач и опорной для согласования с задачами финансового обеспечения прогнозов материально-вещественного состава. Финансовые постановки, ориентированные уже на реализацию прогнозов по инструментам ((5.2.15 – 5.2.17) с помощью действующих хозяйственных механизмов реальной экономики, тоже можно считать

модифицированными вариантами классической оптимизационной межотраслевой постановки ОМММ (Гранберг А.Г. [1]) и фрагментов межрегиональных постановок (Изарда У. [2]).

# Статическая оптимизационная межрегиональная межотраслевая модель на один год:

Балансы производства и распределения продукции:

$$(E-Ar)xr-yr-\alpha rzr-\sum_{\substack{s\\s\neq r}}(cr_{rs)}^{(}xrs-cr_{sr)}^{(}xsr_{sr)}^{(})-$$
(5.2.15)

–(crvr–crwr)≥Br

Балансы ежегодных капитальных вложений:

$$-kr * xr + yr \ge Kr \tag{5.2.16}$$

Целевая функция: 
$$Z \rightarrow max!$$
 (5.2.17)  $(r=\overline{1,R})$ 

Индексы:

 $I,\,j$  – виды деятельности, продукции  $(i,\,j=\overline{1,N}\,),\,N$  – количество продуктов, в разрезе которых представлены хозяйства регионов;

r, m,s – номера районов, R – количество районов,  $(r = \overline{1,R});$ 

Переменные для данного года:

 $\mathbf{x}_{\mathbf{r}}$ =( $\mathbf{x}_{\mathbf{jr}}$ ) — векторы-столбцы производства валовой продукции по видам деятельности (отраслям);

 $\mathbf{x}_{rs}$ = $(\mathbf{x}_{jrs})$  – вывоз продукции j-го из вида из района r в район s; данные переменные могут отражать и экспортно-импортные потоки продукции по отраслям.

 $\mathbf{y}_{r} = (\mathbf{y}_{ir})$  – капитальные вложения (инвестиции в основной капитал) і-го вида в районе r в данном году;

 ${f Z},\ {f z}_r$  — общий объем непроизводственного потребления (потребление домашних хозяйств в сумме по всем районам и району r;

Параметры для данного года:

- $Ar = (a_{ii})$  матрицы межотраслевых коэффициентов материальных затрат (для текущего Т-го года);
- $\alpha r = (\alpha i r)$  векторы-столбцы отраслевой структуры непроизводственного потребления;
- $kr = (k_{ii}r) коэффициенты ежегодных капитальных вложений$ в части амортизации 1-го вида в районе г на единицу выпуска отрасли і;
- ${
  m cr}_{
  m ms)}^{(r)}=({
  m cir}^{(ms)})$  коэффициенты затрат транспорта региона г на обслуживание перевозки продукции из района m в район s. В матрице  $({
  m c_{ir}}^{(ms)})$  эти коэффициенты расположены в строчках, соответствующим отраслям транспорта.
- $B_r = (\dot{bir}) \dot{\phi}$ иксированная часть конечного продукта;  $K_r = (K_{ir}) \dot{\phi}$  объем незавершенных вложений, а также другие вложения данного года, корректируемые в пределах сумм возмещения основных фондов (амортизации), а также осуществляемые сверх сумм. Эта величина связана с приростом незавершенного строительства в мощности следующих лет. Она согласуется с вариантами прогнозов, разрабатываемых администрациями субъектов Федерации, или расчетной величине инвестиций, получаемой на основе решения классической межрегиональной постановки.

Обычно из провозглашаемых задач и соответствующих им концепций развития формируются возможные варианты будущего экономического развития, часто представляя их в виде минимального (вар. 1) и максимального (вар.2, оптимистический). По решённым задачам даётся сравнительная количественная экономическая оценка изменений ожидаемых тенденций при проведении соответствующей политики реализации того или иного возможного варианта развития (сохранение отчётных тенденций, влияние конкретных неблагоприятных условий, благоприятное сочетание многих факторов по оптимистическому сценарию и т.д.). Отмеченная количественная оценка отражается в изменении конечного потребления в целом по стране в сравнимых по годам ценах. Данный показатель более точно отражает итоговые оценки, т.к., например, связанный с ними более цитируемый произведённый ВВП отражает в реальности лишь денежные доходы, которые в действительности нужно ещё реализовать в реальной торговой сфере.

Сдерживающим условием для приводимого, например, варианта 1 является принимаемое в соответствии с общими тенденциями малое развитие инвестиционных отраслей, особенно машиностроения, т.е. не принятие ответных мер на политику экономических санкций стран Европы и США, более развитых в технологическом отношении именно по данным видам продукции. Поэтому мы рассмотрели в этом варианте прогноза упомянутый минимально необходимый рост отраслей машиностроения, а именно лишь 2–4% ежегодного прироста в периоде до 2035 г. с учётом сокращения производства в отчётном 2020 г. По 2025 год принято сохранение тенденций прогноза Минэкономразвития РФ на 2021–2023 гг. и распространение такой же политики интенсивности инвестиций на весь рассматриваемый перспективный период.

Результатом стратегии по варианту 1 является сокращение результирующей динамики общего выпуска продукции к 2035 г. до значений 0,8 % среднегодовых темпов прироста РФ, по районам ДВ - (0,3%), Сибирским - (-0,4%) прироста валовых выпусков. Такая производственная программа приводит к относительному и абсолютному снижению по стране общего конечного потребления к 2035 году до 0,2 п.п. (и произведённого ВВП до зна-

треоления к 2033 году до 0,2 п.п. (и произведенного вът до значений 0,9 п.п.) среднегодовых темпов прироста.

По оптимистическому варианту 2 принимаются решения о дополнительном росте инвестиций в экономику за счёт развития обеспечивающих их капиталообразующих отраслей внутренних российских производителей, прежде всего машиностроения,

них российских производителей, прежде всего машиностроения, как реакция на негативные внешнеторговые условия. Политика приоритета закупок отечественного оборудования хозяйственными компаниями будет влиять на рост по продукции машиностроения в среднем по районам и подпериодам до 6,0% и более, и до 2,7% по строительству к концу периода в целом по России. Кроме этого в варианте предполагалось расширение возможности пропускной способности инфраструктуры по авто- и железнодорожному транспорту в восточных районах, которые тоже являлись сдерживающими условиями. Новые расширенные технические возможности этого увеличения к 2030 году по железнодорожному и автотранспорту с нарастающими возможностями к концу периода должны дать для этого дополнительные резервы к концу периода должны дать для этого дополнительные резервы.

Косвенными признаками для оптимизма продолжения такой политики является информация по количественно большим значениям степени дефицитности ограничений по мощностям отраслей авто- и железнодорожного транспорта по прогнозу развития в варианте 1 на 9–10% по восточным районам с более преобладающими значениями по автотранспорту.

В Сибири это особенно по железнодорожному транспорту (максимальные значения по участкам Иркутской, Новосибирской, Омской, Кемеровской областей и Красноярскому краю), автотранспорту, погрузо-разгрузочным работам; на Дальнем Востоке — дополнительно по морскому транспорту. По приводимым расчётам указанным отраслям даются дополнительные возможности не менее чем на 2,5–3,5 п.п. годового роста по рассматриваемым периодам.

Нельзя не отметить, что при этом по приросту конечного потребления в целом по России наблюдаются потери в сравнении с исходным базовым вариантом развития на 216 и 167 млрд руб. к 2030 и 2035 гг. как следствие новой экономической политики. Это цена за дополнительные издержки по обеспечению стабильного и безопасного развития в будущем периоде. Дополнительные издержки требуют при этом и больших масштабов развития производства по всему плановому периоду (соответственно по упомянутым годам больше 670 и 810 млрд руб. валового выпуска) Данный результат с межотраслевой технологией расчёта является объединяющим системным дополнением к методикам традиционного отраслевого экономического анализа.

По восточным направлениям по железнодорожному, автотранспорту и услугам логистики степень дефицитности сохраняется. Их количественная значимость (по двойственным оценкам оптимизационного решения) в среднем больше европейских на 15–30% по потенциальному приросту конечного потребления при их расширении и увеличении поставок на каждый 1 млрд руб.) В европейских районах России по варианту 2 эта дефицитность в большинстве районов по железнодорожному транспорту отсутствует.

Высокая потребность в железнодорожном и автомобильном транспорте подтверждается и итоговыми приростами динамики

соответствующих услуг восточных районов (4,5 и 5,1% по районам СибФО, 1,0 и 3,0 % — ДВ ФО. В определённой степени ожидаемые прогнозы привязаны к результатам реализации программных ожиданий [8], [10] по формированию скоростных железных сообщений Омск-Новосибирск-Томск-Барнаул и продолжении их к 2035 г. дальше на Восток. По автотранспорту потребность в развитии по результатам расчётов ещё больше и т.д.

Предлагаемый инструментарий, помимо оценок проектов на Востоке, универсально приспособлен также для индивидуальной оценки результатов реализации и других крупных не только транспортных, с параллельным выводом результирующих показателей по социально-экономическому развитию России в целом, отдельных её регионов и отраслей. Метод реализуется тоже в виде оценок народнохозяйственных эффектов в сфере конечного потребления.

# Приложение 2 к подразделу 5.2. Возможности расширения межотраслевых моделей за счет введения финансовой составляющей.

Заключительный этап расчётов является отражением реального процесса организации экономической деятельности, предполагающего в качестве одной из главных оценок текущей работы предприятий по результирующей прибыли, т.е. с учётом издержек и цен реализации продукции.

Для построения последних разработок применяемая модель (5.2.15-5.2.17) дополнительно расширяется за счёт включения доходов населения, бюджетов, кредитных и денежных потоков ЦБ. (рис.5.2.4.).

Данное расширение традиционных межотраслевых моделей последовательно от натурального баланса к финансовому по мере добавления и детализации различных финансовых потоков можно представить в виде общей результирующей схемы.

На ней представлен для данного года фрагмент районных условий модели межрегионального межотраслевого финансового баланса (МФБ), разделенный на взаимоувязанные блоки. Все элементы модели соответствуют исходной, но умноженные на

значения переменных задачи (5.2.15 – 5.2.17). Поэтому по построению финансовой задачи единичные значения переменных являются допустимы и для последней.

Для района r

 ${\bf A}$  – признак блока отраслей:  ${\bf A}$  – также внутрирегиональное производство и использование товаров и услуг;

Е – признак производства и объёмов ввоза продукции в район;

- Z признак блока населения (труда, домашних хозяйств), фонд непроизводственного потребления: ZA заработная плата в отраслях, ZZ расходы населения на непроизводственное потребление, FZ налоги с населения, изменение сбережений, получение трансфертов, пособий и т.д.
- I- признак инвестиционного блока, II- объем капитальных вложений, IA- отраслевые капитальные вложения, включая амортизацию на реновацию и капитальный ремонт, IZ- вложения населения в строительство жилья, IB- затраты в государственное жилищное строительство, общие по району вложения в незавершенные объекты (прирост незавершенного строительства) и др., (II=-II- общий объем капитальных вложений в данном году;
- F признак блока, отражающего денежные потоки кредитнофинансовых и бюджетных отношений: FA налоги, дотации производству, изменение задолженности; FF налоговые доходы, общие расходы бюджета на территории, кредиты и т.д. (часть позиций может быть введена в нижнюю строку (б) вместе с  $\Delta F$ );

В – признак блока фиксированных конечных потребностей и материально-вещественных внешних связей, FВ – денежные потоки межрегионального платежного баланса (отношений с «внешним миром»), налоги на внешнюю торговлю. В полной межрегиональной постановке условия (а) дублируются по «главной диагонали» пропорционально числу районов. Исключение составляют только финансовые потоки федерального бюджета и центрального банка, которые формируются единым балансовым условием для всех районов. Вне «главной диагонали» блоков региональных условий расположены платежи между производителями и покупателями разных районов. В – также расходы на нужды обороны, прирост запасов, сальдо экспорта-импорта, ввоза-вывоза продукции в другие районы (для постановки с одним районом) и т.д.

E <sub>r</sub> -A <sub>r</sub>	-Z <sub>r</sub>	-II <sub>r</sub>				=	B <sub>r</sub>	
-ZA <sub>r</sub>	ZZ <sub>r</sub>	-ZI <sub>r</sub>				=	ZB <sub>r</sub>	
-IA <sub>r</sub>	-IZ <sub>r</sub>	II <sub>r</sub>				=	IB <sub>r</sub>	a)
-A <sub>sr</sub>				:				
-FA <sub>r</sub>	-FZ <sub>r</sub>		FF <sub>r</sub>		FF	=	FB	
							'	
CAr	CZr		CF <sub>r</sub>		ΔF			б)
	,	•			•	•		

Puc.5.2.4 Условия межотраслевого финансового баланса района по блокам

 $\Delta F$  — ожидаемое в перспективе общее сальдо финансовых потоков по районам: поступления минус распределение.

Если задача a) решается оптимизационными методами, тогда условие б) является функционалом.

Величина  $\Delta F$  фактически равна дополнительной денежной эмиссии центрального банка. В определенных обстоятельствах она может быть связана с покрытием дефицита федерального бюджета, в котором учтены и дефициты (профициты) региональных бюджетов; дополнительными денежными средствами на покрытие дефицита платежного баланса страны, если других средств по иностранным кредитам, отсрочкам платежей, продажи части золотовалютного резерва не хватает. При других постановках в ограничение б) включают финансовые отраслевые потоки расходов региональных и федеральных бюджетов, выданные региональными и центральным банками кредиты, сальдо кредиторской и дебиторской задолженностей по регионам и другие потоки, которые становятся регулирующими экономическими параметрами.

Элементы финансового баланса показывают общий объем реальной выручки (положительные элементы) и поступление денег по поставкам продукции конкретным покупателям от других производителей (отрицательные элементы), и т.п. Финансовый баланс б) целесообразно называть по-другому — «платежи—доходы» (Рис.5.2.4).

Для реализации финансовой задачи используется транспонированный приём к исходной (схема) новой задаче. На этом (двойственном) этапе рассчитываются ценовые показатели ([3], [4] и др.) Они агрегированы по сравнению с действующими ценами на продукты из-за естественно вынужденных для пользователей и всегда наличествующих ограничений моделируемых объектов прогнозирования.

По показателям финансового обеспечения производственной программы среднегодовые индексы основных цен производителей могут составить и снижающиеся значения. Это во многом определяется реализацией политики ЦБ по обеспечению роста денежной массы и общей политикой регулирующих органов по снижению бюджетного дотирования денежных доходов населения, поддержки рентабельности производства и т.д. По текущему расчёту денежная эмиссия повышается с ежегодным ростом в 5,0–6,9 п.п. в последних пятилетках (строки Центрального банка (ЦБ) табл. 5.2.1 при результирующем общем среднегодовом росте цен 3,6–5,4 п.п. к 2030 г. с понижением к концу периода.

Таблица 5.2.1 Среднегодовые темпы прироста финансовых показателей по оптимистическому варианту прогноза (по последним годам пятилеток, выборка, в текущих ценах)

	Годы	2025	2030	2035
Россия	1. Доходы населения	1,059	1,090	1,061
	4.Рег.бюджет	1,038	1,067	1,075
	5. Кредиты	1,054	1,033	1,066
	6.Федеральный бюджет	1,061	1,045	1,077
	7.ЦБ	1,050	1,064	1,069
Сиб ФО	1. Доходы населения	1,123	1,120	1,065
	4.Рег.бюджет	1,045	1,102	1,037
	5. Кредиты	1,078	1,113	1,055
	6.Федеральный бюджет	1,077	0,962	0,973
	7.ЦБ	1,016	1,022	1,073

Ценовые показатели для видов деятельности и продуктов в применяемой классификации являются укрупнёнными аналогами цен. Они, как цены в реальной действительности, покрывают все издержки и финансовые компоненты производства: заработную плату работников, налоги, убытки, учитывают поступления из бюджетов разных уровней и т.д.

Ценовые показатели расчётные и показывают номинальную значимость компонент, соответствующих принятым условиям обычно укрупнённых вариантов прогнозов, но обеспечивающих сбалансированность финансовых пропорций. Они обычно отличаются от реального необходимого их уровня, принимаемого для корректирующего ведения текущей экономической деятельности. Поэтому их дополняют корректирующими значениями, нормативно переводящими их в более детализированные.

#### Литература к разделу 5.2.

- 1. Гранберг А.Г. Динамические модели народного хозяйства. М.: Экономика, 1985. / 240 с.
- 2. Изард У. Методы регионального анализа: введение в науку о регионах. М.: Прогресс, 1966 660 С.
- 3. Суслов В.И. и др. Модельно-программный комплекс прогнозирования укрупненных финансовых потоков по отраслям и регионам страны. / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011617654 / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, зарегистрировано 30.09.2011.
- 4. Мелентьев Б.В., Ершов Ю.С., Алимпиева А.А. Методические рекомендации построения межрегионального межотраслевого финансового баланса платежи доходы. / Новосибирск: ИЭ и ОПП СО РАН. 2010. 144 с.
- 5. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года. 28 ноября 2018. (Официальный сайт Минэкономразвития России. https://www.economy.gov.ru/material/file.../prognoz2036.pdf...).

#### Глава 6

#### Региональные модели

### 6.1. Межотраслевая модель экономики Республики Саха (Якутия)<sup>1</sup>

### Методологические основы разработки модели

В данном разделе представлена региональная межотраслевая модель Республики Саха (Якутия), основанная на традиционной модели «затраты-выпуск». Необходимость развития последней при ее использовании применительно к экономике северных регионов ресурсного типа обусловлена их спецификой и особенностями их функционирования. В частности, развитие традиционной модели осуществлено в следующих направлениях:

- 1) регионализация классической народнохозяйственной модели за счет добавления региональной структуры поставок используемой продукции (внутрирегиональные, межрегиональные, внешнеторговые) и региональной структуры распределения создаваемой добавленной стоимости (внутрирегиональная, межрегиональная, федеральная);
- 2) учет возникающих мультипликативных эффектов от увеличения спроса на производимую продукцию на основе объединения концепций межотраслевого (матричного) мультипликатора и кейнсианского мультипликатора автономных расходов (блок оценки эффектов от изменения конечного спроса);
- 3) учет пространственной структуры региональной экономики за счет включения в модель внутрирегиональных структур создания добавленной стоимости и поставок, а также выпуска по муниципальным образованиям;

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> При подготовке раздела использованы материалы, полученные в рамках выполнения крупного научного проекта «Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий», соглашение № 075-15-2020-804 от 02.10.2020 (грант № 13.1902.21.0016).

4) учет изменения пространственной структуры региональной экономики при реализации инвестиционных проектов (блок оценки эффектов от реализации инвестиционных проектов).

Указанные направления позволяют существенно расширить прикладное использование создаваемого на такой основе инструментария в части получения детализированных оценок распределения возникающих эффектов на локальном и межрегиональном уровнях. В частности, за счет учета пространственной структуры региональной экономики в модель интегрирована пространственная неоднородность, которая может возникать вследствие широкого набора факторов (географических, исторических, экономических и др.) и оказывать влияние на региональную экономическую систему, а значит, должна быть учтена при проведении политики в ее отношении. Это актуально для пространственно протяженных и гетерогенных с точки зрения социально-экономических показателей регионов, внутри которых концентрация экономической активности на определенных территориях различна.

различна.

К таким регионам относится Республика Саха (Якутия), которая, будучи самым большим по площади субъектом России, характеризуется неоднородностью социально-экономического пространства. Например, проявляется «южный градиент» в системе расселения жителей региона и в развитии транспортной инфраструктуры: чем южнее, тем ближе и плотнее расположены населенные пункты, и тем лучше развита транспортная инфраструктура. И при этом плотность населения и объем создаваемой добавленной стоимости снижаются с юга на север.

бавленной стоимости снижаются с юга на север.

В то же время по муниципальным образованиям отличается и структура экономических систем, в том числе структура выпуска и добавленной стоимости. Так, по региону в целом более половины объема отгрузки товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами приходится на добычу нефти и газа, алмазов и руд цветных металлов, которые при этом привязаны к конкретным месторождениям на юго-западе, юге и юго-востоке республики. Остальная же часть отгрузки (услуги, торговля, строительство и пр.) преимущественно «привязана» к наиболее крупным поселениям, которые территориально сконцентрированы в зонах с более мягкими климатическими ус-

ловиями. В результате, как отмечает М.Ю. Присяжный, «Якутия все еще, или, может быть, так было изначально и всегда, разбита на несколько вполне самостоятельных территорий со своей экономикой и устоявшимися связями» [Присяжный, 2011, с. 44]. А значит, внурирегиональные различия должны быть учтены при анализе и моделировании экономики республики, а также при оценке эффектов от реализации инвестиционных проектов или расширения конечного спроса. Это может послужить основой для дифференцированного подхода к развитию муниципальных образований и использоваться при совершенствовании пространственной организации региона.

Встраивание в модель блока оценки эффектов от реализации инвестиционных проектов с учетом инвестиционной и эксплуатационной стадий позволяет получить оценку вклада конкретного проекта или их совокупности в развитие экономики региона и его муниципальных образований в перспективе. Это актуально в контексте функционирования экономики Республики Саха (Якутия), в динамику развития которой вносят существенный вклад инвестиционные проекты минерально-сырьевого комплекса. При этом в предлагаемый блок модели встроены мультипликативные эффекты, выражающиеся в расширении валового регионального выпуска в результате роста инвестиционного спроса на конечную продукцию фондосоздающих отраслей региона, а также в результате начала осуществления текущей деятельности по проекту и производства продукции. Это позволяет более полно отразить влияние проекта на экономическую динамику региона за счет количественной оценки косвенных эффектов увеличения стоимостных объемов производства и конечного спроса, в том числе вследствие роста валовой добавленной стоимости.

вследствие роста валовой добавленной стоимости. Оценка мультипликативных эффектов, включающих в себя эффекты от увеличения конечного спроса и валовой добавленной стоимости в регионе, выделена в отдельный блок модели, а полученные значения мультипликаторов интегрированы в блок оценки эффектов от реализации инвестиционных проектов. Вклад проекта оценивается как превышение валового выпуска в регионе на инвестиционной и/или эксплуатационной стадии реализации этого проекта в конкретный год над валовым выпуском в этот же год, но в случае, когда инвестиционный проект не реализуется. Ины-

ми словами, реализован сценарный подход к моделированию. В совокупности учет пространственной неоднородности и эффектов от реализации инвестиционный проектов позволяют проводить укрупненную оценку того, к каким пространственным изменениям приведет реализациях этих проектов.

Данная постановка позволяет проводить расчеты, как в рамках статичного анализа рассматриваемого временного периода, так и получать динамические и обобщенные оценки возникающих эффектов от изменения значений отдельных параметров модели, в том числе и в рамках экзогенно задаваемой их динамики.

## Математическая запись региональной межотраслевой модели

## Основные соотношения региональной межотраслевой модели с учетом пространственной неоднородности

Модель включается в себя n видов экономической деятельности и соответствующих продуктов (i, j = 1, ..., n), а также регион r, состоящий из m муниципальных образований (k = 1, ..., m).

В модели используются следующие обозначения:

 $a^{r}_{i,j,t}$  — коэффициент прямых затрат продукции вида i на производство единицы продукции вида j, произведенной в регионе r в год t в сопоставимых ценах;

 $x^{rr}_{i,j,t}$  — объем затрат продукции вида i региона r на производство единицы продукции вида j, произведенной в регионе r в год t в сопоставимых ценах;

 $x^{r-rw}_{i,j,t}$  — объем затрат продукции вида i, ввезенной в регион r, на производство единицы продукции вида j, произведенной в регионе r в год t в сопоставимых ценах;

 $x_{i,t}^{r}$  — объем продукции вида i, произведенной в регионе r в году t в сопоставимых ценах, подразделяющийся на:

- $-x_{i,t}^{k}$  объем продукции вида i, произведенной в муниципальном образовании k региона r в году t, в сопоставимых ценах;
- $-x^{sk}_{i,t}$  объем поставок продукции вида i, произведенной в муниципальном образовании k региона r в году t, в муниципальное образование s региона r в сопоставимых ценах;
- $-x^{r-rr}_{i,t}$  объем поставок продукции вида i, произведенной в регионе r в году t, в остальную часть страны в сопоставимых ценах в сопоставимых ценах;

- $-x^{rr-r}$ <sub>i,t</sub> объем поставок продукции вида i, произведенной в остальной части страны и формирующей поставки в регион r в году t, в сопоставимых ценах;
- $-x^{r-rw}_{i,t}$  объем экспортных поставок продукции вида i, произведенной в регионе r в году t, в сопоставимых ценах;
- $-x^{rw-r}_{i,t}$  объем импортных поставок продукции вида i, произведенной в остальном мире в году t, в регион r в сопоставимых ценах;
- *yri,t* объем конечного использования продукции вида і в данном регионе r в году t в сопоставимых ценах;
- $y_{i,t}^{rr}$  объем внутрирегиональных поставок конечной продукции вида i, произведенной в муниципальных образованиях региона r в году t в сопоставимых ценах;
- $y^{r-rr}_{i,t}$  объем межрегиональных поставок конечной продукции вида i, произведенной в регионе r в году t, в остальную часть страны в сопоставимых ценах;
- $y^{r-rw}_{i,t}$  объем экспортных поставок конечной продукции вида i, произведенной в регионе r в году t, в остальной мир в сопоставимых ценах;
- $y^{rr-r}_{i,t}$  объем конечной продукции вида i, произведенной в остальной части страны и формирующей поставки в регион r в году t, в сопоставимых ценах (объем межрегиональных поставок из остальной части страны в регион r);
- $y^{rw-r}_{i,t}$  объем конечной продукции вида i, произведенной в остальном мире и формирующей поставки в данный регион в году t, в сопоставимых ценах (объем импортных поставок конечной продукции в регион r);

 $cons^{r}_{i,t}$  — расходы домашних хозяйств некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства, в регионе r на потребление продукции вида i в году t в сопоставимых ценах;

 $inv_{i,t}^{r}$  – расходы на инвестиционную продукцию вида i в году t для формирования инвестиций в основной капитал в данном регионе, в сопоставимых ценах;

 $gov_{i,t}^{r}$  – государственные расходы на закупку продукции (коллективные и индивидуальные товары и услуги) вида i в году t в регионе r в сопоставимых ценах;

 $_{d}z^{r}_{i,t}$  — объем прироста запасов продукции вида i в регионе r в году t в сопоставимых ценах;

 $va_{i,t}^{r}$  – валовая добавленная стоимость, созданная и полученная производителями в регионе r при производстве продукции вида i в году t;

 $va_{i,t}^k$  – валовая добавленная стоимость, созданная и полученная производителями в муниципальном образовании k региона r при производстве продукции вида i в году t;

 $z_{i,t}^k$  — доля валовой добавленной стоимости по продукции вида i в валовом выпуске муниципального образования k региона r в году t;

 $w_{i,t}^{r}$ — заработная плата занятых в регионе r при производстве продукции вида i в году t;

 $pr^{r}_{i,t}$  — валовая прибыль производителей и амортизация при производстве продукции вида i в году t в регионе r;

 $tax_{i,t}^{r}$  — общая величина налогов, уплаченных в консолидированный бюджет региона r всеми субъектами данного региона при производстве, реализации и приобретении продукции вида i в году t;

 $tax^{fed}_{i,t}$  — общая величина налогов, уплаченных в федеральный бюджет всеми субъектами региона r при производстве, реализации и приобретении продукции вида i в году t;

Приведем запись основных соотношений региональной межотраслевой модели с учетом внутрирегиональной неоднородности экономической деятельности и связей с остальной частью страны и остальным миром:

1) региональный баланс производства и распределения товаров и услуг:

$$x^{r}_{i,t} = \sum_{j=1,\dots,n} (a^{r}_{i,j,t} \cdot x^{r}_{j,t}) + y^{r}_{i,b}$$
(6.1.1)

где 
$$a_{i,i,t}^r = (x_{i,i,t}^{rr} + x_{i,i,t}^{r-rw}) / x_{i,t}^r$$
 (6.1.2)

$$y_{i,t}^{r} = cons_{i,t}^{r} + gov_{i,t}^{r} + inv_{i,t}^{r} + dz_{i,t}^{r} + (x_{i,t}^{r-rr} - x_{i,t}^{rr-r}) + (x_{i,t}^{r-rw} - x_{i,t}^{r-rw}) + (x_{i,t}^{r-rw} - x_{i,t}^{r-rw}) + (6.1.3)$$

2) региональный баланс производства и распределения товаров и услуг с учетом муниципальных образований:

$$\sum_{k=l,\ldots,m} x^{k}_{i,t} + \sum_{k=l,\ldots,m} \left( \sum_{s=l,\ldots,m} x^{sk}_{j,t} - \sum_{s=l,\ldots,m} x^{ks}_{j,t} \right) = y^{r}_{i,t} + \sum_{j=l,\ldots,n} \left( x^{rr}_{i,j,t} + x^{r-rw}_{i,j,t} \right),$$
(6.1.4)

где 
$$x_{i,t}^r = \sum_{k=1,...,m} x_{i,t}^k$$
 (6.1.5)

3) баланс поставок для обеспечения конечного использования продукции в регионе:

$$y_{i,t}^{rr} = cons_{i,t}^{r} + gov_{i,t}^{r} + inv_{i,t}^{r} + dz_{i,t}^{r} + y^{r-rr}_{i,t} + y^{r-rw}_{i,t} - y^{rw-r}_{i,t} - y^{rw-r}_{i,t}$$
(6.1.6)

4) распределение валовой добавленной стоимости по отраслям с учетом внутрирегиональной структуры:

$$va_{i,t}^{r} = x_{i,t}^{r} - \sum_{j=1,\dots,n} (a_{j,i,t}^{r} \cdot x_{i,t}^{r}), \tag{6.1.7}$$

где 
$$va_{j,t}^r = \sum_{k=1,...,m} va_{j,t}^k$$
 (6.1.8)

и 
$$va_{j,t}^k = z_{j,t}^k \cdot x_{j,t}^k$$
 (6.1.9)

5) создание валовой добавленной стоимости по элементам в регионе:

$$va_{i,t}^{r} = w_{i,t}^{r} + tax_{i,t}^{r} + tax_{i,t}^{fed} + pr_{i,t}^{r}$$
(6.1.10)

В региональном балансе производства и распределения товаров и услуг учтены внешние потоки: поставки из других регионов и импорт, обеспечивающие конечный спрос в регионе помимо внутрирегионального производства, а также поставки местной продукции в другие регионы и на экспорт. Помимо этого, в данное расширение модели интегрированы муниципальные потоки производства продукции путем включения в указанный баланс объемов производства продукции по муниципальным образованиям и объема поставок между ними (соотношения (6.1.5) и (6.1.4) соответственно). С аналогичной целью в соотношении

(6.1.7) общий региональный поток добавленной стоимости разбивается на муниципальные (соотношения (6.1.8) и (6.1.9)).

Связь остальной части страны с данным регионом и балансовые соотношения в части обеспечения поставок продукции в данный регион здесь аналогичны и здесь не приводятся.

Блок оценки эффектов от изменения конечного спроса В блоке оценки эффектов от изменения конечного спроса рассчитываются соответствующие мультипликативные эффекты на основе объединения концепций межотраслевого (матричного) мультипликатора и кейнсианского мультипликатора автономных расходов. В рамках такого подхода могут быть выстроены различные методики и модели (см., например, [Fremdling, Stäglin, 2020; Nozaki, 2012; Дондоков, 2021]), отличающиеся логикой встраивания и связывания концепций, принципами синтеза. В данной модели реализована идея связывания эффекта прироста производственных затрат и эффекта прироста добавленной стоимости: моделируется переход от прироста выпуска к приросту доходов институциональных единиц, а затем к приросту элементов конечного спроса и последующему приросту валового выпуска. Подобный подход на уровне национальной экономики под-

подооныи подход на уровне национальной экономики подробно изложен в статье группы авторов из ИНП РАН [Ксенофонтов и др., 2018] и использован для оценки мультипликативного эффекта прироста выпуска по отдельным видам экономической деятельности в 2014 г. Предложенная авторами методика оценки мультипликативных эффектов перенесена нами на региональный уровень, а кроме того, расширена для возможности учета влияния прироста регионального выпуска на прирост национального выпуска вследствие дополнительных поступлений налоговых сборов в федеральный бюджет и расширения конечного спроса. Посредством этого производится «дооценка» мультипликативного эффекта региональных бюджетных расходов, которая необходима ввиду сложившейся системы межбюджетных отношений федерации и субъектов.

Введем дополнительные обозначения переменных и параметров:  $A^*$  — матрица коэффициентов прямых затрат региона r, скорректированная на импортные и ввозимые из других регионов товары и услуги;

E — единичная матрица;

- $\Delta \overrightarrow{y^r}$  вектор увеличения стоимостного объема конечного спроса в регионе r;
- $-\Delta \overline{y^{rr}}$  вектор увеличения стоимостного объема конечного спроса в регионе r на продукты, произведенные внутри региона r;
- $-\Delta \overline{y^{rr-r}}$  вектор увеличения стоимостного объема конечного спроса в регионе r на продукты, произведенные в других регионах национальной экономики (объем межрегиональных поставок из остальной части страны в регион r);
- $-\Delta \overline{y^{rw-r}}$  вектор увеличения стоимостного объема конечного спроса в регионе r на импортные продукты (объем импортных поставок конечной продукции в регион r);
- $\Delta \overrightarrow{x^r}$  вектор увеличения стоимостного объема выпуска продукции в регионе r;
- $\Delta \overline{x^{rr-r'}}$  вектор увеличения стоимостного объема поставок продукции, произведенной в остальной части страны и формирующей поставки в регион r;
- $\Delta \overline{x^{rw-r}}$  вектор увеличения стоимостного объема импортных поставок продукции, произведенной в остальном мире, в регион r;
- $\Delta \widetilde{x^r}$  вектор увеличения стоимостного объема выпуска продукции в регионе r в результате увеличения доходов институциональных единиц;
- $\Delta \overline{cons^r}$  вектор увеличения расходов домашних хозяйств и некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства, в регионе r на потребление продукции;
- $\Delta \overline{inv^r}$  вектор увеличения расходов на инвестиционную продукцию для формирования инвестиций в основной капитал

в данном регионе;

 $\Delta \overrightarrow{gov}^r$  — вектор увеличения государственных расходов на закупку продукции (коллективные и индивидуальные товары и услуги) в регионе r;

 $\Delta \overrightarrow{va^r}$  – вектор увеличения добавленной стоимости, созданной и полученной в регионе r;

- $\Delta pr^{\vec{r}}$ ,  $\Delta tax^{\vec{r}}$ ,  $\Delta w^{\vec{r}}$  векторы увеличения валовой прибыли производителей и амортизации, налоговых поступлений в консолидированный бюджет и заработной платы соответственно в регионе r;
- $c^{gov}$  коэффициент, показывающий насколько увеличатся расходы на конечное потребление государственного сектора региона r при увеличении налоговых поступлений в консолидированный бюджет региона на 1 руб.;
- $c^{cons}$  коэффициент, показывающий насколько увеличатся расходы на конечное потребление домашних хозяйств региона r при увеличении заработной платы на 1 руб.;
- $c_{s,j}^{inv}$ ,  $s = \{w, tax, pr\}$  коэффициент, показывающий насколько увеличатся капитальные расходы вида экономической деятельности j при увеличении доходов институциональных секторов региона r на 1 руб.;
- $\alpha_i$  доля конечного потребления продукции вида i в общем объеме конечного потребления государственного регионального сектора региона r;
- $eta_i$  доля конечного потребления продукции вида i в общем объеме конечного потребления домашних хозяйств региона r;
- $\gamma_i$  доля валового накопления продукции вида i в общем объеме валового накопления региона r;
- $h_i^{gov}$  доля произведенной в регионе r продукции вида i в конечном потреблении государственного регионального сектора;
- $h_i^{cons}$  доля произведенной в регионе r продукции вида i в конечном потреблении домашних хозяйств;
- $h_i^{inv}$  доля произведенной в регионе r продукции вида i в валовом накоплении;
- $t_{i,j}$  доля продукции вида i в капитальных затратах вида экономической деятельности j;
- $k_i^{tax}$ ,  $k_i^w$  коэффициенты, показывающие насколько увеличатся налоговые сборы или расходы на оплату труда соответственно по виду экономической деятельности i в регионе r при увеличении выпуска по этому виду деятельности на 1 руб.

Первоначальным импульсом, обуславливающим начало мультипликативных эффектов, служит рост конечного спроса (например, региональных расходов государственных учреждений на ко-

нечное потребление товаров и услуг). Причем в случае наличия импорта, рост осуществляется как на продукты, производимые национальной экономикой внутри рассматриваемого региона или любого другого, так и на импортные:

$$\Delta \overline{y^r} = \Delta \overline{y^{rr}} + \Delta \overline{y^{rr-r}} + \Delta \overline{y^{rw-r}}$$
(6.1.11)

Предполагается, что начальные увеличения выпуска внутри региона, ввоза из других регионов и импорта вызваны указанным ростом конечного спроса. И вместе с тем считается, что весь прирост локализован в k-м виде экономической деятельности:

$$\overline{y^{r'}} = \Delta \overline{y^{rr'}} + \Delta \overline{y^{rr-r'}} + \Delta \overline{y^{rw-r'}} = \Delta \overline{x^{r'}} + \Delta \overline{x^{rr-r'}} + \Delta \overline{x^{rw-r'}} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \Delta x_{k}^{r} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \Delta x_{k}^{rw-r} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \Delta x_{k}^{rw-r} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$(6.1.12)$$

Методика оценки итогового мультипликативного эффекта в результате указанных выше приростов может быть разбита на три последовательных этапа, на каждом из которых рассчитываются его взаимосвязанные элементы:

- 1) оценка эффекта от прироста конечного спроса в регионе;
- 2) оценка эффекта от прироста валовой добавленной стоимости в регионе;
- 3) оценка эффекта от прироста валовой добавленной стоимости в стране.

На первом этапе реализуется классический подход к оценке мультипликативного эффекта выпуска путем использования матрицы коэффициентов полных материальных затрат в рамках статической модели Леонтьева:

$$\Delta \overline{x^r} = (E - A^*)^{-1} \cdot \Delta \overline{y^{rr}}$$
(6.1.13)

С учетом сделанных выше предположений и допущении о неизменности технологических коэффициентов оценка мультипликатора производится следующим образом:

$$m_1 = \frac{\Delta x^r}{\Delta y^r} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^r}{\sum_{i=1}^n \Delta y_i^r}$$
 (6.1.14)

В случае, когда конечный спрос растет исключительно на продукцию, производимую в данном регионе r, т.е. при нулевом первоначальном импорте и ввозе из других субъектов, значение мультипликатора в точности определяется суммой коэффициентов полных затрат региона по k-му виду деятельности.

На втором этапе осуществляется переход от прироста выпуска вследствие мультипликативного эффекта, показанного на предыдущем шаге, к приросту доходов институциональных единиц, а затем - к приросту конечного спроса на продукты, произведенные в данном регионе. Логика состоит в том, что в результате увеличения валового выпуска образуются дополнительные доходы институциональных единиц (валовая прибыль, оплата труда и налоговые поступления в региональный бюджет), которые расходуются на конечное потребление и валовое накопление и приводят к мультипликативному расширению выпуска. Понятно, что по указанной цепочке такое увеличение выпуска снова приведет к росту доходов институциональных единиц, которые будут расходованы, что создаст новый мультипликативный эффект, но уже в меньшем размере, и т.д. Предлагаемая методика предполагает оценку прироста выпуска в результате реализации всего множества итераций, однако далее для простоты приведены формулы расчета только первой из них (остальные выполняются аналогично).

Оценка мультипликативного эффекта на валовый выпуск в регионе выполняется также посредством использования основного уравнения статической модели Леонтьева:

$$m_2 = \frac{\Delta \widetilde{x^r}}{\Delta y^r} \tag{6.1.15}$$

Как указано выше, увеличение валового выпуска  $\Delta \widetilde{x^r}$  происходит в результате роста доходов институциональных единиц, которые расходуются на конечное потребление государственного сектора и домашних хозяйств, а также на валовое накопление основного капитала в регионе r. В частности, рост конечного потребления государственного сектора происходит вследствие увеличения налоговых поступлений в региональный бюлжет:

$$\Delta \overrightarrow{gov^r} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^n \Delta tax_i^r \cdot c^{gov} \cdot \alpha_1 \cdot h_1^{gov} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n \Delta tax_i^r \cdot c^{gov} \cdot \alpha_n \cdot h_n^{gov} \end{pmatrix} \tag{6.1.16}$$

Аналогично задается прирост конечного потребления домашних хозяйств, вызванный ростом оплаты труда:

$$\Delta \overrightarrow{cons^r} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \Delta w_i^r \cdot c^{cons} \cdot \beta_1 \cdot h_1^{cons} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n \Delta w_i^r \cdot c^{cons} \cdot \beta_n \cdot h_n^{cons} \end{pmatrix}$$
(6.1.17)

Вектор прироста валового накопления определяется на основе роста инвестиций в основной капитал, которые осуществляются разными – и государственным, и частным – секторами:

$$\Delta \overline{inv^{r}} = \left( \sum_{j=1}^{n} \Delta w_{j}^{r} \cdot c_{w,j}^{inv} + \Delta tax_{j}^{r} \cdot c_{tax,j}^{inv} + \Delta pr_{j}^{r} \cdot c_{pr,j}^{inv} \right) \cdot t_{1j} \cdot h_{1}^{inv} \\
\vdots \\
\sum_{j=1}^{n} \Delta w_{j}^{r} \cdot c_{w,j}^{inv} + \Delta tax_{j}^{r} \cdot c_{tax,j}^{inv} + \Delta pr_{j}^{r} \cdot c_{pr,j}^{inv} \right) \cdot t_{nj} \cdot h_{n}^{inv} \right) (6.1.18)$$

В общем виде прирост элементов валовой добавленной стоимости региона r может быть отражен следующими соотношениями:

$$\begin{cases}
\Delta \overline{tax^{r}} = \begin{pmatrix} k_{1}^{tax} \cdot \Delta x_{1}^{r} \\ \vdots \\ k_{n}^{tax} \cdot \Delta x_{n}^{r} \end{pmatrix} \\
\Delta \overline{w^{r}} = \begin{pmatrix} k_{1}^{w} \cdot \Delta x_{1}^{r} \\ \vdots \\ k_{n}^{w} \cdot \Delta x_{n}^{r} \end{pmatrix} \\
\overline{\Delta pr^{r}} = \Delta \overline{va^{r}} - \Delta \overline{tax^{r}} - \Delta \overline{w^{r}}
\end{cases} (6.1.19)$$

Вектор прироста валовой прибыли в данном случае исчисляется как результат разности общего прироста добавленной стоимости в регионе и прироста прочих ее элементов, что соответствует методологии Системы национальных счетов.

На первом и втором этапах дополнительно оценивается прирост налоговых поступлений в федеральный бюджет вследствие роста производства и импорта отдельного региона. Дополнительные налоговые сборы рассчитываются в соответствии с установленными законодательством ставками. В частности, учитываются налоги на импорт, оцениваемые на основе первоначального роста импорта, и иные налоги на продукты (на добавленную стоимость, на прибыль организаций и на добычу полезных ископаемых в той части, в которой они идут в федеральный бюджет), исчисляемые по приросту выпуска в соответствующих отраслях региональной экономики.

Далее на третьем этапе аналогично выражениям (6.1.16) и (6.1.18) на уровне страны в целом моделируется рост конечного потребления государственного федерального сектора и накопления основного капитала вследствие поступления дополнительных налоговых сборов, после чего по формуле (6.1.14) рассчитывается прирост валового выпуска на национальном уровне. Кроме того, оценивается эффект от увеличения конечного потребления продукции, произведенной в других регионах страны, при этом учитывается прирост добавленной стоимости, т.е. используются формулы (6.1.14) — (6.1.19) на данных по стране в целом. Полученные величины эффектов складываются, после чего на этих данных рассчитывается мультипликатор  $m_3$ .

Данный блок модели позволяет получать оценки воздействия

данныи олок модели позволяет получать оценки воздеиствия увеличения конечного спроса на развитие отдельных секторов как на региональном, так и на национальном уровне. Причем осуществлен учет не только прямых, но и косвенных эффектов расширения стоимостных объемов производства и конечного спроса. Как результат, конкретные значения мультипликаторов могут быть использованы для аргументации в пользу поддержки тех или иных видов экономической деятельности или при разработке стратегий развития региона в кратко- и среднесрочной перспективе, когда структуру экономики можно условно считать стабильной. В то же время, поскольку все оценки основываются на таблицах «затраты-выпуск» за отчетный год, их использование в качестве параметров для принятия решения в долгосрочной перспективе не является корректным. Для адекватной оценки необходимо учитывать изменение структуры затрат, конечного

спроса, инвестиций и пр., что влияет на экономическую динамику и требует разработки комплексного прогноза.

По приведенным в данном блоке формулам оценки мультипликативных эффектов также возможно рассчитать мультипликаторы с учетом внутрирегиональной неоднородности. При этом допускается предположение о сохранении пространственной структуры поставок в соответствии со сложившейся структурой объема отгрузки товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами. Таким образом, мультипликатор вычисляется по следующей формуле:

$$m_{1,i}^k = \frac{\Delta x^k}{\Delta y_i^r},\tag{6.1.20}$$

где 
$$\Delta x^k = \sum_{i=1,\dots,n} \Delta x_i^k$$
 (6.1.21)

То есть  $m_{1,i}^k$  показывает, насколько увеличится валовый выпуск в муниципальном образовании k региона r при увеличении конечного потребления продукции вида i в регионе r на 1 руб.

Таким же образом можно получить значение мультипликатора, учитывающего рост валовой добавленной стоимости в результате увеличения конечного спроса:

$$m_{2,i}^k = \frac{\Delta \vec{x}^k}{\Delta y_i^r},\tag{6.1.22}$$

где 
$$\Delta \breve{\mathbf{x}}^k = \sum_{i=1,\dots,n} \Delta \breve{\mathbf{x}}_i^k$$
 (6.1.23)

 $\Delta \breve{x}_i^k$  — увеличение валового выпуска в муниципальном образовании k региона r в результате роста валовой добавленной стоимости, равной сумме приростов конечного потребления государственного регионального сектора и домашних хозяйств, а также накопления основного капитала, рост которых обеспечен автономным увеличением конечного потребления продукции вида i в регионе r.

## Блок оценки эффектов от реализации инвестиционных проектов

Ниже приведено математическое описание блока для оценки эффектов от реализации инвестиционного проекта, при этом аналогичным образом по той же схеме может быть произведена

оценка для целого комплекса инвестиционных проектов. Общая идея процедуры оценивания строится на сравнении экономической динамики региона по сценарию в условиях, когда выбранный инвестиционный проект не осуществляется (далее — базовый сценарий), со сценарием, при котором этот проект реализуется (далее — инвестиционный сценарий). Результирующий эффект может быть рассчитан как вклад проекта в развитие экономики региона и его муниципальных образований.

Введем следующие обозначения для эндогенных переменных блока:

- $\ddot{x}^r_{i,t}$  объем продукции вида i, которая будет произведена в регионе r в году t, согласно инвестиционному сценарию в сопоставимых ценах;
- $\ddot{x}_{i,t}^k$  объем продукции вида i, которая будет произведена в муниципальном образовании k региона r в году t, согласно инвестиционному сценарию в сопоставимых ценах;
- $x^{rp}_{i,t}$  дополнительный объем продукции вида i, которая будет произведена в регионе r в году t при реализации инвестиционного проекта, согласно его проектно-сметной документации, в сопоставимых ценах;
- $x^{k,p}_{i,t}$  объем продукции вида i, которая будет произведена в муниципальном образовании k региона r в году t при реализации инвестиционного проекта, согласно его проектно-сметной документации, в сопоставимых ценах;
- $\vec{x}_{i,t}^r$  мультипликативное расширение объема производства продукции вида i в регионе r в году t на инвестиционной стадии реализации инвестиционного проекта в сопоставимых ценах;
- $\overline{x}^{k}_{i,t}$  мультипликативное расширение объема производства продукции вида i в муниципальном образовании k региона r в году t на инвестиционной стадии реализации проекта в сопоставимых ценах;
- $\bar{\bar{x}}^r_{i,t}$  мультипликативное расширение объема производства продукции вида i в регионе r в году t на операционной стадии реализации инвестиционного проекта в сопоставимых ценах;
- $\hat{x}^r_{i,t}$  объем увеличения выпуска продукции вида i в регионе r в году t на эксплуатационной стадии реализации инвестиционного проекта в сопоставимых ценах;

 $\hat{x}^{k}_{i,t}$  — объем увеличения выпуска продукции вида i в регионе r в году t на эксплуатационной стадии реализации инвестиционного проекта в сопоставимых ценах;

А также экзогенные параметры:

 $\dot{x}^r_{i,t}$  – объем продукции вида i, которая будет произведена в регионе r в году t, согласно базовому сценарию в сопоставимых ценах;

 $\dot{x}^k_{i,t}$  — объем продукции вида i, которая будет произведена в муниципальном образовании k региона r в году t, согласно базовому сценарию в сопоставимых ценах;

 $inv^{rp}_{i,t}$  — дополнительные расходы на инвестиционную продукцию вида i в году t региона r при реализации инвестиционного проекта, согласно его проектно-сметной документации,

 $inv^{k,p}_{i,t}$  — дополнительные расходы на инвестиционную продукцию вида i в году t муниципального образования k региона r при реализации инвестиционного проекта, согласно его проектносметной документации,

 $h_i$  – доля локализации поставок продукции i региона r;

 $g^{k}_{i}$  — доля поставок продукции i муниципального образования k региона r в общем объеме поставок этой продукции регионом r (пространственная структура поставок);

 $G^{k} = \{g^{k}_{i}\}_{I:n}$  — вектор пространственного распределения поставок продукции в регионе r по муниципальным образованиям;

 $m_{l,i}$  — мультипликатор, показывающий насколько увеличится валовый выпуск в регионе r при увеличении конечного потребления продукции вида i на 1 руб;

 $m_{2,i}$  — мультипликатор, показывающий насколько увеличится валовый выпуск в регионе r в результате роста доходов институциональных единиц;

 $b^r_{i,j}$  — региональный коэффициент полных затрат, показывающий затраты выпуска продукции i на производство единицы конечного продукта j в регионе r;

 $B^{r} = \{b^{r}_{i,i}\}_{n:n}$  — матрица коэффициентов полных затрат региона r.

Предположим, что в рамках реализации инвестиционного проекта на его эксплуатационной стадии будет осуществлен выпуск продукции вида s, а фондосоздающими являются отрасли  $l = \{l_1,...,l_e\}$ . Тогда объем общего производства продукции по ее видам в инвестиционном сценарии определяется как

$$\ddot{x}_{i,t}^{k} = \dot{x}_{i,t}^{k} + \bar{x}_{i,t}^{k} + x_{i,t}^{k,p} + \bar{x}_{i,t}^{r}$$
 при  $i=s$  (6.1.24)

$$\ddot{x}^{k}_{i,t} = \dot{x}^{k}_{i,t} + \bar{x}^{k}_{i,t} + \hat{x}^{k}_{i,t} + \bar{x}^{r}_{i,t}$$
 при  $i \neq s$  (6.1.25)

При этом выполняется

$$\dot{x}'_{i,t} = \sum_{k=1,\dots,m} \dot{x}^{k}_{i,t} \tag{6.1.26}$$

$$x^{r,p}_{i,t} = \sum_{k=1,\dots,m} x^{k,p}_{i,t} \tag{6.1.27}$$

$$\vec{x}'_{i,t} = \sum_{k=1,\dots,m} \vec{x}^{k}_{i,t} \tag{6.1.28}$$

Иными словами, в инвестиционном сценарии объем произведенной в муниципальном образовании k региона r продукции выше, чем в базовом сценарии за счет двух компонент:  $\bar{x}^k_{\ i,t}$  и ( $x^{k,p}_{\ i,t} + \bar{\bar{x}}^r_{\ i,t}$ ) или ( $\hat{x}^k_{\ i,t} + \bar{\bar{x}}^r_{\ i,t}$ ) в соотношениях (6.1.24) и (6.1.25) соответственно. Эти компоненты относятся к инвестиционной и эксплуатационной стадиям реализации проекта соответственно. Первая компонента связана с тем, что в результате автономного роста инвестиционного спроса на конечную продукцию фондосоздающих отраслей региона и муниципальных образований происходит мультипликативное расширение выпуска, которое рассчитывается следующим образом:

$$\sum_{i=1,\dots,n} \vec{x}'_{i,t} = \sum_{j=1} ((m_{l,j} + m_{2,j}) \cdot inv^{r,p}_{j,t}). \tag{6.1.29}$$

При этом учитывается расширение выпуска как за счет прямых и косвенных межотраслевых связей через  $m_{l,j}$ , так и за счет роста доходов у институциональных секторов, которые становятся источником дополнительного спроса на продукцию, через  $m_{2,j}$ . Значения мультипликаторов  $m_{l,j}$  и  $m_{2,j}$  экзогенны для данного блока модели, поскольку рассчитываются в блоке оценки эффектов изменения конечного спроса эндогенно. Здесь же представим связь между мультипликативным расширением объема производства продукции на инвестиционной стадии реализации проекта на уровне региона и на уровне его муниципальных образований без учета эффекта от роста доходов:

$$egin{aligned} & \Sigma_{j=l}\left(m_{l,j}\cdot inv^{r,p}_{j,t}
ight) = \Sigma_{j=l}\left(rac{\Delta x^{r}}{\Delta y^{r}_{j}}\cdot inv^{r,p}_{j,t}
ight) = \ & = \Sigma_{j=l}\left(rac{\sum_{l=1,\ldots,n}\Delta x^{r}_{l}}{\Delta v^{r}_{i}}\cdot inv^{r,p}_{j,t}
ight) = \end{aligned}$$

$$= \sum_{j=l} \left( B^{r} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ h_{l} \\ 0 \end{pmatrix} \cdot inv_{j,t}^{r,p} \right) =$$

$$= \sum_{j=l} \sum_{k=1,\dots,m} \left( G^{k} \cdot B^{r} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ h_{l} \\ 0 \\ \vdots \end{pmatrix} \cdot inv_{j,t}^{r,p} \right), \tag{6.1.30}$$

тивное расширение объема производства продукции на инвестиционной стадии реализации проекта в муниципальном образовании k региона r. Аналогично может быть разложен по муниципальным образованиям мультипликативный эффект с учетом роста доходов институциональных секторов. Обе эти величины рассчитываются и затем подставляются в соотношение (6.1.24).

Вторая компонента, обеспечивающая превышение выпуска в инвестиционном сценарии над базовым сценарием, различается в зависимости от вида экономической деятельности и соответствующей продукции. Так, если, согласно рассматриваемому инвестиционному проекту, на эксплуатационной стадии планируется выпуск продукции вида s объемом  $x^{k,p}_{s,t}$  в муниципальном образовании k, то по виду экономической деятельности s общий объем производства в инвестиционном сценарии может быть рассчитан по соотношению (6.1.24). Однако на эксплуатационной стадии возрастет производство и прочих видов продукции для удовлетворения конечного спроса на них в прежнем объеме, т.е. должна быть найдена величина  $\hat{x}_{i,t}^k$  для  $i \neq s$ . Это может быть сделано посредством решения следующей задачи статической модели межотраслевого баланса:

$$B^{r} \cdot \Delta Y = \Delta X,$$

где  $\begin{cases} \Delta y_{i,t}^{r} = 0 \text{ при } i \neq s \\ \Delta y_{i,t}^{r} \neq 0 \text{ при } i = s \end{cases}$   $\begin{cases} \Delta x_{i,t}^{r} = \hat{x}_{i,t}^{r} \text{ при } i \neq s \\ \Delta x_{i,t}^{r} = x_{s,t}^{r,p} \text{ при } i = s \end{cases}$  (6.1.31)

Это эквивалентно задаче

$$B^{r} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \Delta y_{s,t}^{r} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \widehat{x}_{1,t}^{r} \\ \widehat{x}_{s-1,t}^{r} \\ x_{s,t}^{r,p} \\ \widehat{x}_{s+1,t}^{r} \\ \vdots \\ \widehat{x}_{n,t}^{r} \end{pmatrix}$$

$$(6.1.32)$$

Одновременно с этим за счет роста выпуска на эксплуатационной стадии реализации проекта экономические агенты получают дополнительные доходы, которые частично расходуют на накопления и конечное потребление, т.е. необходимо оценить мультипликативное расширение выпуска от увеличения добавленной стоимости в регионе:

$$\sum_{i=1,...,n} \bar{x}^r_{i,t} = m_{2,s} \cdot \Delta y^r_{s,t} \tag{6.1.33}$$

Причем полученные увеличения выпуска в регионе r могут быть разложены по муниципальным образованиям. Так, выпуск  $x^{k,p}_{s,t}$ , очевидно, должен быть приписан к территории, на которой непосредственно осуществляется эксплуатационная деятельность в рамках инвестиционного проекта. Увеличение же выпуска по другим отраслям определяется при предположении о неизменности структуры поставок в пространстве, например:

$$\hat{\boldsymbol{\chi}}^{k}_{i,t} = \hat{\boldsymbol{\chi}}^{r}_{i,t} \cdot \boldsymbol{g}^{k}_{i} \tag{6.1.34}$$

Та же логика может быть справедлива для валовой добавленной стоимости при предположении о сохранении соотношения (6.1.9).

## Эмпирическая оценка основных параметров модели

Разработанная региональная межотраслевая модель основывается на межотраслевом подходе, в рамках которого для проведения соответствующих расчетов необходимо использовать показатели Системы национальных счетов на региональном уровне. При этом в целях возможности встраивания расчетов по региональной межотраслевой модели в общий комплекс средств анализа и прогнозирования экономики (моделей системы КОМПАС-ДАР), а также в сценарные условия развития экономики с последующим согласованием показателей желательным является согласование информационных

баз и значений задаваемых параметров. В частности, произведена оценка основных параметров модели, в том числе выполнена оценка симметричной таблицы затраты-выпуск Республики Саха (Якутия) за 2019 г. на основе гибридного подхода.

Формируемая для целей оценки параметров региональной межотраслевой модели Республики Саха (Якутия) база данных по показателям социально-экономического развития республики включает в себя данные в следующем разрезе: выпуск товаров и услуг по видам экономической деятельности; валовая добавленная стоимость по видам экономической деятельности; счет производства по видам экономической деятельности; формирование ВРП по источникам доходов; состав фактического конечного потребления домашних хозяйств; структура потребительских расходов домашних хозяйств; инвестиции в основной капитал по видам экономической деятельности; ввоз и вывоз товаров; экспорт и импорт товаров и услуг; среднегодовая численность занятых по основному виду экономической деятельности; среднемесячная заработная плата и выплаты социального характера в среднем за месяц в расчете на 1 работника за год; структура затрат на производство и продажу продукции по видам экономической деятельности; баланс производства и потребления электроэнергии по полному кругу организаций; материальные затраты на производство и продажу продукции (работ, услуг); данные Федеральной налоговой службы о поступлении налогов и сборов по основным видам экономической деятельности; информация об исполнении консолидированного бюджета субъекта.

Общая схема оценки симметричной таблицы «затратывыпуск» Республики Саха (Якутия) состоит в регионализации соответствующей таблицы на национальном уровне при заданных окаймляющих итогах и элементах II и III квадрантов по региону. Данные для окаймляющих итогов сформированы в соответствии с показателями региональных статистических сборников, в частности счетом производства, фактическим конечным потреблением домашних хозяйств, формированием ВРП по источникам доходов и др. Внутренняя структура I и II квадрантов таблицы корректировалась посредством анализа региональной статистики. Для этой цели использовались показатели: баланса производства и потребления электроэнергии; баланса затрат труда; структуры затрат на производство и продажу продукции; объема отгружен-

ных товаров собственного производства: ввоза и вывоза товаров; выборочного обследования бюджетов домашних хозяйств. Также для корректировки отдельных элементов таблицы применялись и другие данные, публикуемые Федеральной службой государственной статистики и ее территориальными органами.

венной статистики и ее территориальными органами.

Как уже отмечалось выше, в качестве основы для построения технологической матрицы Республики Саха (Якутия) взяты российские коэффициенты материальных затрат. При этом последняя базовая симметричная таблица по России опубликована за 2016 г., поэтому перед осуществлением расчетов по Республике Саха (Якутия) выполнена оценка российских коэффициентов материальных затрат на основе таблиц ресурсов и использования товаров и услуг за 2019 г. Методы перехода от таблиц ресурсов и использования к симметричной таблице «затрать-выпуск» в целом известны (например, [Eurostat..., 2008, с. 293]). Поскольку для представленной модели необходима симметричная таблица «продукт на продукт» (по чистым отраслям), то возможно использование метода технологии производства продукции (метод А) или метода отраслевых технологий (метод В).

В предложенной математической записи региональной межотраслевой модели с учетом пространственной неоднородности и блоком оценки эффектов от реализации инвестиционных проектов введен набор экзогенных параметров, которые необходимо задать на основе истинных значений, если они известны, или на основе их оценки на доступных данных и экспертно. Например,

В предложенной математической записи региональной межотраслевой модели с учетом пространственной неоднородности и блоком оценки эффектов от реализации инвестиционных проектов введен набор экзогенных параметров, которые необходимо задать на основе истинных значений, если они известны, или на основе их оценки на доступных данных и экспертно. Например, в условиях отсутствия первичной статистической информации пространственное распределение поставок продукции по муниципальным образованиям Республики Саха (Якутия) может быть рассчитано на основе данных об объеме отгрузки товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами, разрабатываемых Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия). Пространственное распределение создания добавленной стоимости по муниципальным районам Республики Саха (Якутия) может быть рассчитано на данных о валовом муниципальном продукте, являющимся аналогом валового регионального продукта, рассчитанного производственным методом, на уровне муниципальных районов и городских округов.

### Литература к разделу 6.1

- 1. Eurostat Manual of Supply, Use and Input-Output Tables. Methodologies and working papers. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008. 590 p.
- Fremdling R., Stäglin R. Work Creation, Rearmament, Public and Private Investment in Germany 1933–1938: An Input-Output Analysis of their Impact on Employment and Production. // Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte / Economic History Yearbook. 2020. Vol. 61(2). P. 429–457.
- 3. Nozaki M. Generalization of a Multiplier Analysis of Keynes, Kalecki and Leontief: Structural Aspects of the Miyazawa Model // Studies in Regional Science. 2012. Vol. 42. P. 683–694.
- 4. Дондоков З. Б.-Д., Дугаржапова Д. Б., Пискунов Е. Ю. Оценка мультипликативных эффектов по Республике Бурятия на основе межотраслевой модели суммарных расходов // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2021. № 4. С. 34–41.
- 5. Ксенофонтов М.Ю. и др. Оценка мультипликативных эффектов в российской экономике на основе таблиц «затраты-выпуск» // Проблемы прогнозирования. 2018. № 2. С. 3–13.
- 6. Присяжный М.Ю. Территориальная организация хозяйства Якутии // Пространственная экономика. 2011. № 2. С. 33-53

## 6.2. Модель региональной системы обращения с ТКО и результаты расчетов для Новосибирской области

#### Введение

Рост численности населения, усиливающаяся урбанизация, расширение логистических цепочек вследствие цифровизации и пандемии делают вопросы совершенствования сферы обращения с твердыми коммунальными отходами все более острыми и актуальными для регионов России. Во многих из них, несмотря на проведенную «мусорную» реформу и интеграцию региональных операторов в обращение с отходами, сложилась критическая ситуация, требующая оперативных и скоординированных действий властей со всеми участниками процесса.

Сложившаяся в регионах России система обращения с ТКО устарела и требует существенного реформирования в направ-

лении современных принципов защиты окружающей среды и ресурсной эффективности. Ключевыми проблемами выступают чрезмерно высокая доля захоронения ТКО на полигонах при близкой к критической степени их заполненности, отсутствие современной инфраструктуры сбора, сортировки и переработки отходов, слабо развитая система раздельного сбора. В результате данная сфера оказывает возрастающее негативное воздействие на окружающую среду, сопровождающееся ростом социальной напряженности.

Для научного обоснования структурных изменений в сфере обращения с ТКО необходим инструментарий моделирования различных сценариев развития региональных систем обращения с ТКО, позволяющий получать количественные оценки экономической и экологической эффективности и результативности реализации регулирующих мер в соответствии с государственными целями и задачами. Разработке подобного инструментария и его апробации на примере Новосибирской области посвящен настоящий раздел главы.

### Описание модели

Предлагаемый подход относится к классу агентских и предполагает независимое принятие решения субъектами системы с формированием в результате общего равновесия в сфере обращения с ТКО региона. Концептуально подход представлен на рис. 6.2.1:

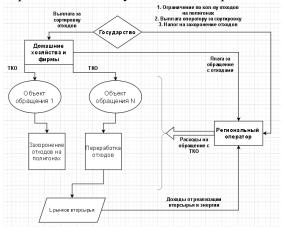


Рис. 6.2.1. Схема предлагаемого подхода

Ниже приведено описание пространства переменных, параметров, функционалов и ограничений модели.

Экзогенные параметры:

 $l \in \mathit{Prod}$  – районы образования ТКО региона;

 $k \in Disp$  – объекты обращения с ТКО региона;

 $i \in I$  — виды вторичного сырья в рамках морфологического состава ТКО;

 $g \in G$  — технологии утилизации отходов;

 $q_l^{prod}$  — годовая масса образования ТКО в районе l в тыс. т;

 $d_{lk}$  — расстояние в километрах между районом образования ТКО l и объектом обращения k;

 $c^{tr}$  — удельные затраты (в тыс. руб.) на транспортировку 1 тыс. т ТКО на 1 километр;

 $f_g(x)$  – функция удельных затрат на утилизацию 1 тыс. т ТКО по технологии  $g \in G$ ;

 $M_k$  – годовая мощность (в тыс. т) обращения с ТКО объекта k;

 $\alpha_i$  — доля содержания вторсырья (фракции) вида i в общей массе ТКО;

 $p_i$  – стоимость (в тыс. руб.) 1 тыс. т вторсырья вида i;

au – установленный в регионе единый тариф (в тыс. руб.) регионального оператора за обращение с ТКО в пересчете на 1 тыс. т отходов;

 $\chi_l$  — доля жилищного фонда района l, обладающего инфраструктурой для раздельного сбора ТКО.

Первая группа агентов включает в себя домашние хозяйства (ДХ), которые продуцируют ТКО, а также принимают решение об их раздельном накоплении исходя из склонности к раздельному сбору и доступности инфраструктуры для его осуществления. Объем образования раздельно собранных отходов (РСО) в районе l определяется следующим соотношением:

$$q_l^{sorted} = \mu \chi_l q_l^{prod} , \qquad (6.2.1)$$

гле:

$$\mu = 1 - \frac{1}{\lambda + \nu}$$
 - склонность ДХ к РСО;

v – скидка на тариф за обращение с отходами, предоставляемая государством домашним хозяйствам за осуществление РСО;

 $\lambda$  – параметр, который подбирается таким образом, чтобы при v=0 доля РСО в регионе принимала текущее статистическое значение:

 $\chi_l$  — доля жилищного фонда района l, обладающего инфраструктурой для раздельного сбора ТКО.

Вторая группа агентов представлена региональным оператором, который полностью осуществляет обращение с ТКО в регионе, а именно сбор, транспортировку, утилизацию отходов и реализацию вторичного сырья. Региональный оператор максимизирует прибыль от своей деятельности, выбирая транспортные маршруты перемещения отходов между объектами сферы обращения с ТКО, а также способы обращения с ТКО:

$$\begin{split} \pi_t &= \\ \sum_i p_i \sum_{k \in Disp} \sum_i \alpha_i q_k^{disp} - \\ c^{tr} \sum_{l \in Prod} \sum_{k \in Disp} q_{lk}^{tr} d_{lk} - \\ \sum_{k \in Disp} \sum_{g \in G} f_g(q_k^{disp}) q_k^{disp} \rightarrow \max_{q_{lk}^{tr}, q_k^{disp}} , \end{split}$$

$$(6.2.2)$$

где:

 $q_k^{disp}$  — масса (в тыс. т) утилизации ТКО на объекте обращения  $k \in Disp;$ 

 $q_{lk}^{tr}$  — масса (в тыс. т) перевозимых ТКО из района их образования  $l \in Prod$  на объект обращения k.

Оптимизация осуществляется на следующих ограничениях:

 $\sum_{l}\sum_{k}q_{lk}^{tr}=q_{l}^{prod}$  ,  $l\in Prod$  — весь объем образованных в районе l ТКО должен быть вывезен;

 $\sum_{k\in Disp}q_k^{disp}=\sum_lq_l^{prod}$ — весь объем образованных ТКО должен быть утилизирован;

 $q_k^{disp} \leq \sum_l q_{lk}^{tr}$  ,  $k \in Disp$  — объем утилизации ТКО на объекте k не превышает объема привезенных на объект ТКО;

 $q_k^{disp} \le M_k$  — объем утилизации ТКО на объекте k не превышает мощности этого объекта.

Таким образом, модель представляет собой задачу математического программирования, в которой региональный оператор, максимизируя прибыль, принимает решение о том, на каких объектах и каким образом осуществлять утилизацию ТКО, оптимизируя при этом

также и маршруты транспортировки ТКО. Доходы оператора складываются из реализации вторсырья, полученного в результате переработки ТКО. Расходная часть состоит из затрат на транспортировку отходов и их утилизацию с помощью различных способов (технологий).

Также оператор получает доход в виде уплачиваемого домашними хозяйствами тарифа на обращение с ТКО, который является единым для всего региона. При этом оператор своими действиями напрямую не может влиять на размер этого дохода, поэтому он не входит в оптимизационную часть модели. Выручка от тарифа записывается следующим образом:

$$TR_{\tau} = \tau \left(\sum_{l} q_{l}^{prod} - \sum_{l} q_{l}^{sorted}\right) + (1 - v)\tau \sum_{l} q_{l}^{sorted}. \tag{6.2.3}$$

Таким образом, на доход оператора от тарифных платежей влияет непосредственно значение самого тарифа, а также предоставляемая государством скидка за осуществление РСО.

Третий участник системы – государство, которое с целью минимизации негативного воздействия образующихся в регионе отходов на окружающую среду может использовать набор ограничительных и поощрительных мер в отношении других участников системы.

## Информационная база для расчетов по Новосибирской области

Информационная база исследования определялась исходя из пространства переменных, параметров и ограничений разработанной модели. В табл. 6.2.1 представлены значения отдельных экзогенных параметров для расчетов по Новосибирской области.

Таблица 6.2.1 Экзогенные параметры модели для Новосибирской области

Параметр	Значение	
l ∈ Prod	44 района	
k ∈ Disp	28 объектов	
i ∈ I	3 вида вторичного сырья	
g ∈ G	3 технологии обращения с ТКО	
c <sup>tr</sup>	56,2 тыс. руб.	
τ	2662,7 тыс. руб.	

Новосибирская область была разделена на 44 района образования ТКО, в которые вошли 10 районов г. Новосибирска, 30 районов Новосибирской области, а также города Бердск, Искитим, Обь и рабочий поселок Кольцово. На основании данных о численности населения и установленного в территориальной схеме норматива накопления отходов в размере 392,95 кг на душу населения была рассчитана масса ежегодного образования ТКО в каждом из 44 районов (параметры  $q_1^{prod}$ ). Далее, также на основании данных территориальной схемы обращения с отходами области, был сформирован перечень из 28 объектов обращения с ТКО региона, куда вошли 21 полигон захоронения отходов и 7 объектов их переработки с возможностью извлечения полезных фракций и реализации вторсырья для получения дохода. Также на основании информации из территориальной схемы для каждого из объектов была определена максимально возможная годовая мощность обращения с отходами  $(M_k)$ . Удельные транспортные расходы были определены с помощью данных от ООО «Айсберг», компании, осуществляющей транспортировку и обращение с отходами на территории Новосибирской области.

Следующим этапом подготовки информационной базы для расчетов стало формирование матрицы расстояний между районами образования отходов и объектами обращения  $(d_{lk})$ . Для этого были собраны координаты каждого района и объекта, после чего вычислены расстояния по формуле гаверсинусов. Конечно, более предпочтительным был бы вариант получения расстояний по автодорогам, однако авторам не удалось найти данную информацию среди открытых источников, а самостоятельный расчет с помощью, например, картографических сервисов, связан со значительными временными затратами по вычислению 1232 элементов матрицы расстояний. Поэтому было принято решение об использовании формулы гаверсинусов как приемлемого варианта вычисления транспортной матрицы (при этом, конечно, одним из направлений дальнейшей работы станет получение расстояний по автодорожной сети).

Морфологически отходы были разделены на 4 составляющие: стекло, ПЭТ, макулатура и остальные отходы. Первые три фракции являются на текущий момент наиболее популярными на рын-

ке вторичного сырья, поэтому такой морфологический состав отходов представляется оптимальным с точки зрения соответствия реальности и проведения расчетов без перегрузки модели переменными. Данные по морфологическому составу ТКО в НСО были также предоставлены ООО «Айсберг». Морфологический состав ТКО Новосибирской области, использовавшийся для расчетов по модели ( $\alpha_i$ ), представлен в табл. 6.2.2:

Таблица 6.2.2 Морфологический состав ТКО в Новосибиркой области по массе,  $\% \kappa$  итогу

Вид вторсырья	Доля в ТКО
Стекло	11,4
ТЭТ	6,5
Макулатура	0,4
Остальные отходы	81,7

На основании информации из территориальной схемы для каждого из 7 объектов переработки отходов был определен перечень выделяемых и перерабатываемых фракций. Следующим важным этапом стала формализация функции удельных расходов на переработку отходов  $f_{g_1}(x)$ . После анализа основных составляющих данных расходов был сделан вывод, что оптимальным видом функции  $f_q(x)$  станет гипербола. Вначале с ростом объемов переработки отходов удельные расходы снижаются в силу наличия постоянных расходов на аренду помещения, закупку и обслуживание оборудования, выплату заработной платы сотрудникам. Далее затраты на 1 т перерабатываемых отходов достигают своего минимума в некоторой точке, после чего начинается их рост, вызванный естественными ресурсными ограничениями оборудования и работников, что приводит к необходимости увеличения капитальных и текущих расходов для переработки все большего количества ТКО.

С помощью данных от ООО «Айсберг» был определен вид и откалиброваны параметры функции удельных затрат на переработку ( $g=g_1$ ):

$$f_{g_1}(q_k^{disp}) = 0.39q_k^{disp} + \frac{350}{q_k^{disp}} + 680.5$$
 (6.2.4)

График функции представлен на рис. 6.2.2.

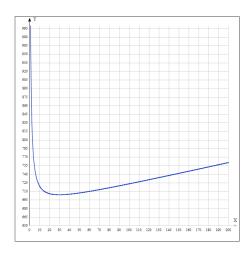


Рис. 6.2.2. График функции удельных затрат на переработку ТКО

Для моделирования удельных расходов на захоронение  $(g=g_2)$  отходов на полигонах было принято решение использовать постоянную функцию затрат, так как при анализе деятельности полигонов не было обнаружено факторов, которые бы позволяли говорить об увеличивающихся или уменьшающихся удельных затратах с изменением объемов захоронения. Фактическое значение было рассчитано на основании текущего единого тарифа и его доли, отведенной на расходы по захоронению и обработке отходов [5]:

$$f_{g_1}(x) = 403,9$$
 тыс. руб./тыс. т (6.2.5)

Цены на вторичное сырье  $p_i$ , представленные в табл. 6.2.3, были определены на основании анализа рынка переработки отходов Новосибирской области [6, 7].

Tаблица 6.2.3 Средняя стоимость вторичного сырья в Новосибирской области, py6./m

Вид вторсырья	Цена (с НДС)
Стекло	3 500
ПЭТ	16 000
Макулатура	7 000

Таким образом, модель представляет собой задачу квадратичного программирования, в которой осуществляется оптимизация по 1260 переменным: 28 переменным обращения с отходами и 1232 транспортным переменным. Задача была решена в среде программирования R с помощью пакета «ROI.plugin.qpoases» [8].

### Результаты расчетов по Новосибирской области

Для проведения расчетов были заложены несколько базовых сценариев развития системы обращения с ТКО Новосибирской области, а также метрики, позволяющие сравнивать результаты разных сценариев между собой. Среди них: 1) доля отходов, отправляемых на захоронение на полигонах, 2) доля перерабатываемых отходов от их общего числа и 3) годовая прибыль/убыток регионального оператора. Первые два показателя характеризуют экологическую эффективность системы, последний — экономическую. Итоговые результаты расчетов по заложенным сценариям представлены в табл. 6.2.4:

Таблица 6.2.4 Эффективность различных сценариев развития системы обращения с ТКО Новосибирской области

Сценарий / показатель	Доля отходов, отправляемых на полигоны, %	Доля перерабатывае- мых отходов, %	Годовая прибыль/убыток оператора, тыс. руб.
Текущее состояние	87,40%	12,60%	- 26 293
Текущее состояние + PCO	87,40%	12,60%	1 891
Концессия	22,10%	77,90%	2 599 162
Концессия с закрытием двух полигонов	17,70%	82,30%	2 089 263
Концессия + РСО + скидка 7,5% + инфраструктура 50%	21,70%	78,3%	2 776 126

Первым сценарием для расчетов стало моделирование сегодняшней ситуации в сфере обращения с ТКО Новосибирской области. В первую очередь этот этап необходим для оценки качества результатов расчетов по модели относительно степени их соответствия действительности.

Второй сценарий заключается в интенсивном развитии PCO среди домашних хозяйств и применяется в сочетании с другими сценариями.

И, наконец, третье направление развития отрасли представляет собой реализацию концессионного соглашения между властями региона и региональным оператором. Данный сценарий также комбинируется с другими — такими, как развитие РСО через предоставление скидки на тариф и расширение инфраструктуры для раздельного сбора.

Ниже представлено более подробное описание расчетов и их результатов по каждому из сценариев с оценкой эффективности каждого из них.

## Сценарий 1. Моделирование текущей деятельности сферы обращения с ТКО Новосибирской области

Стоит отметить, что согласно исходным данным, ежегодно на территории Новосибирской области образуется 1091,8 тыс. т отходов, в то время как по данным территориальной схемы общая годовая мощность объектов системы составляет лишь 903,5 тыс. т. Этот факт подтверждает существующую в регионе проблему с критической заполненностью полигонов ТКО и говорит о том, что сейчас они функционируют в режиме превышения своей проектной мощности. Очевидно, что в такой ситуации решение модели не будет найдено, поэтому было принято решение увеличить заявленную мощность каждого объекта обращения с ТКО на 25% для сохранения пропорций системы и поиска оптимального решения (табл. 6.2.5).

Результатом работы оператора стал убыток (без учета доходов от тарифа) в размере 2,93 млрд руб. в год. Доход от тарифа без РСО и при отсутствии его государственного стимулирования составил 2,9 млрд руб. в год, в результате чего итоговым финансовым результатом оператора стал годовой убыток в размере 26,3 млн руб.

В целом 954,2 тыс. т отходов оказались захоронены на полигонах ТКО и только 137,4 тыс. т (12,6% общего образования отходов) были переработаны. В первую очередь это связано с острой нехваткой мощностей по переработке, так как максимальная загрузка 6 из 7 текущих объектов сигнализирует о экономической привлекательности такого вида обращения с отходами.

Показатели оптимального решения

в рамках текущего состояния системы обращения	i t i i i i i i i i i i i i i i i i i i
Показатель	Значение
Доля отходов, отправляемых на полигоны, %	87,40%
Доля перерабатываемых отходов, %	12,60%
Финансовый результат оператора без учета доходов от тарифа, тыс. руб.	- 2 933 420
Доход от тарифа, тыс. руб.	2 907 127
Прибыль/убыток оператора, тыс. руб.	- 26 293
Задействовано объектов системы обращения с ТКО, шт.	28
Из них функционируют на максимальной мощности, шт.	26

Таким образом, результаты расчетов при моделировании текущей ситуации в сфере обращения с ТКО НСО оказались достаточно качественными, что позволяет использовать выработанный подход для оценки различных путей развития отрасли, что и было сделано по результатам расчетов по изложенным ниже сценариям.

## Сценарий 2. Концессионное соглашение

Для моделирования потенциальных результатов реализации концессионного соглашения в перечень объектов обращения с ТКО были добавлены два новых мусоросортировочных комплекса (МСК) «Верх-Тула» и «Раздольное», на которых возможна переработка всех трех видов вторсырья. Также была откалибрована функция удельных затрат на переработку отходов на этих комплексах ( $g = g_3$ ):

$$f_{g_3}(q_k^{disp}) = 0.372q_k^{disp} + \frac{59459}{q_k^{disp}} + 31$$
. (6.2.6)

График функции представлен на рис. 6.2.3.

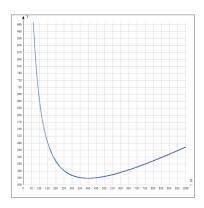


Рис. 6.2.3 График функции удельных затрат на переработку на МСК «Верх-Тула» и «Раздольное»

Основное отличие этой функции от функции удельных затрат действующих объектов обращения заключается в том, что эта функция достигает минимума при существенно более высоком количестве ТКО, а именно при 400 тыс. т в год, которые обозначены в соглашении как минимальный гарантированный объем. Этот минимум был вычислен на основании параметров окупаемости инвестиций по концессии и составил 328 руб./т отходов. Ограничение по мощности обоих МСК было установлено на уровне 470,6 тыс. т ТКО в год, который обозначен в соглашении как предельная загрузка комплексов.

Характеристика оптимального решения в рамках концессионного сценария представлена в табл. 6.2.6:

 Таблица 6.2.6

 Показатели оптимального решения в рамках концессионного сценария

Показатель	Значение
Доля отходов, отправляемых на полигоны, %	22,10
Доля перерабатываемых отходов, %	77,90
Финансовый результат оператора без учета доходов от тарифа, тыс. руб.	- 307 965
Доход от тарифа, тыс. руб.	2 907 127
Прибыль / убыток оператора, тыс. руб.	2 599 162
Задействовано объектов системы обращения с ТКО, шт.	18
Из них функционируют на максимальной мощности, шт.	9

В соответствии с найденным в рамках такого сценария оптимальным решением МСК «Верх-Тула» оказался загружен на 405,3 тыс. т, «Раздольное» — на 432,5 тыс. т. Из существующих объектов переработки остались задействованы (и при этом максимально загружены) только три с незначительным общим объемом переработки в 12,5 тыс. т ТКО в год. Невостребованными также оказались 8 полигонов захоронения отходов общей мощностью 23,2 тыс. т. Итоговым финансовым результатом деятельности оператора в рамках данного сценария стала прибыль в размере 2,6 млрд руб. Таким образом, концессионный вариант развития системы обращения с ТКО имеет право на существование, так как при его реализации достигается существенно более высокий показатель доли перерабатываемых отходов в регионе (77,9%), а также положительный финансовый результат, что говорит о движении в сторону как экономической, так и экологической эффективности.

## Сценарий 3. Стимулирование раздельного сбора отходов

Для моделирования сценария активного внедрения раздельного сбора отходов среди населения Новосибирской области необходимо было произвести ряд корректировок в модели. Так, количество переменных было увеличено вдвое с целью разделения потоков на смешанные ТКО и РСО. Первые 28 переменных отражают объемы обращения РСО на существующих объектах области, следующие 1232 переменные – объемы транспортировки РСО. Далее 28 и 1232 переменных соответственно показывают объемы обращения и транспортировки смешанных отходов.

Для оценки параметра  $\chi_l$  для каждого района исходя из суточного накопления ТКО было получено расчетное количество контейнеров для смешанных ТКО. Далее на основании карты раздельного сбора Новосибирской области [9] было подсчитано текущее количество контейнеров для РСО в каждом районе. Параметр  $\chi_l$  определяется как отношение количества контейнеров для РСО к количеству контейнеров для смешанных ТКО. В результате итоговый общий показатель по всему региону составил  $\chi=0,101$ .

к количеству контейнеров для смешанных ТКО. В результате итоговый общий показатель по всему региону составил  $\chi=0.101$ . По данным ООО «Айсберг» компания ежемесячно вывозит около 1,32 тыс. т РСО, что составляет примерно 80% от общего их количества, что позволяет говорить об оценке в 19,8 тыс. т ежегодно образующихся РСО на территории Новосибирской области. Учитывая тот факт, что сейчас государством раздельный

сбор никак не стимулируется (v=0), и полученное выше значение  $\chi$ , были получены оценки параметров  $\mu$  и  $\lambda$ :

$$\mu = 0.18, \lambda = 1.22.$$

И, наконец, на основании всех полученных оценок были рассчитаны значения  $q_l^{prod}$  образования РСО для каждого района. Общая сумма ежегодно образующихся РСО в регионе составила 19,8 тыс. т.

Также в соответствии с данными ООО «Айсберг» в модель были добавлены доли содержания вторсырья в РСО  $\alpha_i^{sorted}$  (табл. 6.2.7). Как видно из таблицы, они существенно выше, чем в смешанных ТКО, что и делает целесообразным раздельный сбор, который позволяет при тех же затратах на сортировку и переработку получить существенно больший выход вторичного сырья.

Таблица 6.2.7 Морфологический состав ТКО и РСО в Новосибирской области по массе, %

Вид вторсырья	Доля в ТКО	Доля в РСО
Стекло	11,4	53,5
ТЄП	6,5	9,3
Макулатура	0,4	11,7
Остальные отходы	81,7	25,5

Результаты расчетов по базовому сценарию с пропорциональным увеличением мощностей на 25%, отсутствием скидки за раздельный сбор и учетом РСО представлены в табл. 6.2.8.

 Таблица 6.2.8

 Показатели оптимального решения в рамках развития РСО

Показатель	Значение
Доля отходов, отправляемых на полигоны, %	87,40
Доля перерабатываемых отходов, %	12,60
Финансовый результат оператора без учета доходов от тарифа, тыс. руб.	- 2 905 236
Доход от тарифа, тыс. руб.	2 907 127
Прибыль / убыток оператора, тыс. руб.	1 891
Задействовано объектов системы обращения с ТКО, шт.	28
Из них функционируют на максимальной мощности, шт.	26

В результате учета РСО *итоговым результатом* оператора стала годовая прибыль в размере 1,9 млн руб., что на 28,2 млн руб. больше, чем при расчетах без учета РСО. Таким образом, РСО позволил оператору не только достичь безубыточности, но и добиться положительного финансового результата своей деятельности.

Рассмотрим различные варианты стимулирования РСО среди населения, доступные властям Новосибирской области. Первый инструмент — предоставление скидки на тариф за осуществление раздельного сбора. При установке скидки на уровне 10% (v=0,1), общая масса образования РСО в регионе увеличивается на 35% до 26,7 тыс. т в год. В результате предоставления скидки тарифные доходы снизились на 7,1 млн руб., однако итоговая прибыль оператора выросла до 3,3 млн руб. Таким образом, можно говорить о некотором эффекте замены тарифных доходов прибылью от реализации вторсырья.

Так, при переходе от скидки 0% к скидке 10% за каждый потерянный рубль тарифных доходов оператор получил 0,2 руб. чистой прибыли. В таких условиях можно говорить о том, что оператору выгодно увеличивать скидку до тех пор, пока эффект замены не станет отрицательным, а государство благодаря этому увеличивает количество перерабатываемых в регионе отходов. В табл. 6.2.9 представлены результаты деятельности сферы обращения с ТКО Новосибирской области при разных значениях скидки за РСО.

Таблица 6.2.9 Результаты деятельности оператора при различных уровнях скидки за РСО

Скидка	Прибыль оператора, тыс. руб.	Масса перерабатываемых РСО, тыс. т
0%	1 891,3	15,9
5%	3 205,1	23,4
7,5%	3 370,8	25,1
8,5%	3 356,3	25,8
10%	3 249,2	26,7
20%	100,2	32,6
30%	- 6 624,4	37,7
50%	- 29 020,0	46,1
100%	- 114 487,4	60,6

Как видно из таблицы, оптимальный уровень скидки с точки зрения максимизации прибыли оператора находится между 5% и 8,5%, далее при увеличении скидки финансовый результат снижается. Также рассмотрены предельные уровни скидки в размере 50% и 100%, при которых, с одной стороны, достигается существенное увеличение массы перерабатываемых РСО, но с другой стороны, наблюдается значительный убыток деятельности оператора, что делает систему неустойчивой.

### Сценарий 4. Концессия и раздельный сбор отходов.

Результаты расчетов с добавлением МСК «Раздольное» и «Верх-Тула», учетом РСО и нулевой скидкой за РСО отражены в табл. 6.2.10.

Таблица 6.2.10 Показатели оптимального решения в рамках сценария «Концессия+РСО»

Показатель	Значение
Доля отходов, отправляемых на полигоны, %	21,70%
Доля перерабатываемых отходов, %	78,30%
Финансовый результат оператора без учета доходов от тарифа, тыс. руб.	- 188 909
Доход от тарифа, тыс. руб.	2 907 127
Прибыль/убыток оператора, тыс. руб.	2 718 218
Задействовано объектов системы обращения с ТКО, шт.	20
Из них функционируют на максимальной мощности, шт.	8

Итоговая годовая прибыль оператора выросла на 126,2 млн руб. по сравнению с концессией без PCO и составила 2,72 млрд руб. На переработку в данном сценарии отправляется 78,3% всех отходов, что немного больше чем в варианте концессии без PCO (77,9%). Оптимальная скидка за PCO также находится в диапазоне от 5 до 8,5%, при этом задачу ее нахождения необходимо рассмотреть отдельно, так как для этого необходимо построение отдельной задачи математического программирования.

#### Выволы

Существующие проблемы, касающиеся обращения с ТКО в регионах России делают насущным вопрос о глубоком реформировании данной сферы в направлении повышения экономической и экологической эффективности, что означает снижение негативного воздействия на окружающую среду, увеличение объемов переработки

отходов, стимулирование и внедрение раздельного сбора, достижение долгосрочной финансовой стабильности системы за счет генерации дополнительных доходов. Для осуществления подобных структурных изменений необходим инструмент, позволяющий моделировать эффекты различных мер по реформированию систем обращения с ТКО в российских регионах. В разделе главы 6.2 изложен подход, продемонстрировавший качественные результаты, что позволяет использовать его для решения обозначенных задач.

Апробация подхода проведена на примере Новосибирской области. Текущее состояние сферы обращения с ТКО данного региона характеризуется слабой экономической и экологической эффективностью. Расчеты по модели показали, что развитие РСО без ввода дополнительных перерабатывающих мощностей приводит к небольшому улучшению экономической составляющей, но не снижает негативное влияние ТКО на экосистему региона.

Концессионный вариант, особенно со стимулированием РСО и вложениями в соответствующую инфраструктуру, видится оптимальным с точки зрения достижения экологических целей и финансовой устойчивости системы. Стимулирование государством раздельного сбора отходов, например, через предоставление скидки на единый тариф, может являться эффективным методом увеличения объемов переработки, но только в совокупности с расширением инфраструктуры для РСО.

## Литература к разделу 6.2

- 1. Паспорт Новосибирской области. Официальный сайт полномочного представителя Президента России в Сибирском федеральном округе // URL: http://sfo.gov.ru/okrug/NVS/ Дата обращения: 03.02.2022 [Passport of the Novosibirsk region. Official website of the Plenipotentiary Representative of the President of Russia in the Siberian Federal District // URL: http://sfo.gov.ru/okrug/NVS/ (In Russ.) Application date: 03.02.2022.
- 2. Федеральная служба государственной статистики. Численность населения Новосибирской области на 1 января // URL: https://novosibstat.gks.ru/folder/31729 Дата обращения: 12.03.2022 [Federal State Statistics Service. The population of the Novosibirsk region as of January 1 // URL: https://novosibstat.gks.ru/folder/31729 (In Russ.) Application date: 12.03.2022.
- 3. Территориальная схема обращения с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, Новосибирской области // URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/5400201610050001?index=

- 0&rangeSize=10 Дата обращения: 15.01.2022 [Territorial scheme of waste management, including municipal solid waste, for Novosibirsk region // URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/5400201610050001? index=0&rangeSize=10 (In Russ.) Application date: 15.01.2022.
- 4. Постановление Правительства Новосибирской области о заключении концессионного соглашения в отношении создания и эксплуатации системы коммунальной инфраструктуры объектов, используемых для обработки, обезвреживания и захоронения твердых коммунальных отходов в Новосибирской области // URL: https://docs.cntd.ru/document/465713145 Дата обращения: 04.01.2022 [Decree of the Government of the Novosibirsk Region on the conclusion of a concession agreement regarding the creation and operation of a system of communal infrastructure facilities used for the treatment, neutralization and disposal of municipal solid waste in the Novosibirsk Region // URL: https://docs.cntd.ru/document/465713145 (In Russ.) Application Date: 04.01.2022.
- 5. Приказ департамента по тарифам Новосибирской области «Об установлении Обществу с ограниченной ответственностью «Экология-Новосибирск» предельного единого тарифа на услугу регионального оператора по обращению с твердыми коммунальными отходами на территории Новосибирской области на 2022 год» // https://ecologynsk.ru/uploads/uploads/cea860dd-04ec-4e2b-b0ec-740b01c82062.pdf Дата обращения: 20.02.2022 [Order of the Department for Tariffs of the Novosibirsk Region "On the establishment of a limited liability company "Ecology-Novosibirsk" of the maximum single tariff for the service of a regional operator for the treatment of municipal solid waste in the Novosibirsk Region for 2022" URL: https://ecologynsk.ru/uploads/uploads/cea860dd-04ec-4e2b-b0ec-740b01c82062.pdf (In Russ.) Application date: 20.02.2022.
- 6. Прайс-лист на вторсырье в Новосибирске // URL: https://ecorex.ru/prices/prays-list-na-vtorsyre/ Дата обращения: 10.04.2022 [Price list for recyclables in Novosibirsk // URL: https://ecorex.ru/prices/prays-list-na-vtorsyre/ (In Russ.) Application date: 10.04.2022.
- 7. Данные о ценах стеклобоя в Новосибирске // URL: https://sibstek.ru/%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0% BE%D0%B1%D0%BE%D0%B9/ Дата обращения: 10.04.2022 [Data on the prices of cullet in Novosibirsk // URL: https://sibstek.ru/%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B9/ (In Russ.) Application date:10.04.2022.
- Package 'ROI.plugin.qpoases' // URL: https://cran.r-project.org/web/packages/ ROI.plugin.qpoases/ROI.plugin.qpoases.pdf Application date: 15.04.2022
   Карта инфраструктуры для раздельного сбора г. Новосибирска // URL: https://recyclemap.ru/novosibirsk Дата обращения: 04.04.2022 [Recycle map for Novosibirsk // URL: https://recyclemap.ru/novosibirsk (In Russ.) Application date: 04.04.2022.

#### Глава 7

# ОЦЕНКА МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

### 7.1. Синергия инвестиционных проектов

Инвестиции — важнейшая экономическая категория, они являются значимыми как на макро-, так и на микроуровне, и в первую очередь для простого и расширенного воспроизводства, структурных преобразований, получения максимальной прибыли и на этой основе — решения многих социальных проблем.

На эффективность государственной инвестиционной политики влияет как общий объем инвестиций, так и то, в какие именно отрасли направляются инвестиционные потоки. При этом должен обеспечиваться системный подход к управлению инвестиционной деятельностью путем создания оптимальных условий для того, чтобы активизировать инвестиционный процесс. Именно поэтому государство должно участвовать в регулировании инвестиционных процессов. Кроме того, значительную часть инвестиций необходимо вкладывать в объекты социального назначения (школы, больницы и проч.), которые зачастую являются убыточными для инвестора, и желающих вложить туда средства крайне мало.

Эффект мультипликации инвестиций возникает тогда, когда рост потребительского спроса одной отрасли стимулирует расширение производств, связанных с нею отраслей, что по цепочке стимулирует спрос на продукцию иных отраслей.

Для решения задачи стабилизации и оживления экономической конъюнктуры должны быть определены отрасли — мультипликаторы экономического роста. При ограниченности инвестиционных средств важно всесторонне обосновать приоритетные направления, с учетом их воздействия на макроструктуру в целом. При этом учитываются не только экономические, но и социальные аспекты.

По мнению Н.В. Костюкович, «следует трактовать экономическую мультипликацию шире и глубже – в качестве механизма не

просто увеличения (или сокращения), а распространения (или сужения) сфер применения хозяйственных ресурсов и результатов» [1, с. 33]. Такое понимание экономической мультипликации позволяет оценить системный эффект решений, принимаемых на различных уровнях хозяйственной иерархии, а также скорость достижения конкурентоспособности развивающейся экономики. При этом в условиях современной санкционной политики объ-

единенного Запада против России рассчитывать на зарубежные заимствования не имеет никакого смысла. Остается только один путь обеспечения финансовых ресурсов для масштабной экономической мультипликации – дополнительная эмиссия средств собственным Центральным банком. Однако его использование сопряжено с ограничением конвертируемости национальной валюты и опасностью ее сильного обесценения. Между тем в долгосрочном периоде он предпочтительнее, так как сохраняет для страны возможность избежать долговой зависимости и достигнуть принципиально более высокого уровня развития. Главное – этот путь позволяет рассчитывать на использование мультипликационного эффекта, поскольку расширяет возможности удовлетворения внутреннего спроса не за счет импорта, а за счет развития собственного производства. При этом расширяются и экспортные возможности не только за счет сырьевых товаров, но и конкурентоспособных продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Целью настоящей главы является оценка мультипликативного эффекта инвестиционных проектов, планируемых и реализующихся на территориях Российской Федерации. Исходной информацией для проведения оценки послужили данные цифровой платформы «Инвестиционные проекты» 1. При этом в оценке участвовали только инвестиционные проекты, находящиеся на стадиях планирования, предпроектных проработок, проектирования,

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Право использования Программного обеспечения «Инвестиционные проекты» предоставлено ООО «ПКР Аналитика» по Лицензионному договору №119-11/21, заключенному при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения работ по крупному научному проекту «Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий» (регистрационный номер заявки 2020-1902-01-377).

подготовки к строительству, строительства, модернизации, ввода в эксплуатацию и реализуемых в рамках различных форм собственности (государственной, частной, государственно-частного партнерства). Использовались методы статистического анализа данных и когнитивного моделирования.

Выстраивание цепочек инвестиционных проектов, формирующих потоки добавленной стоимости, может создать импульсы роста за счет их синергетических эффектов. Так цепочки выстраиваются в мезоэкономические системы, такие как кластеры и сети и являются возможными драйверами будущего развития регионов.

Рассматривались инвестиционные проекты отраслей деревообработки, металлообработки, энергетики, добычи и переработки полезных ископаемых, химической промышленности, машиностроения, строительных материалов. Сюда также были отнесены проекты, объединенные в один фактор «качество жизнеобеспечения» (жилые объекты, инженерные сети, инфраструктура, медицинские объекты, социальные объекты, переработка отходов).

В рассматриваемой нами экономической мультипликации основное внимание уделяется национальным целям, наиболее тесно связанным с инвестиционными проектами, реализуемыми в промышленной, социальной сферах и сфере услуг: «Сохранение населения, здоровье и благополучие людей», «Комфортная и безопасная среда для жизни», «Достойный, эффективный труд и успешное предпринимательство». Безусловно, что и такие цели, как «Цифровая трансформация», «Возможности для самореализации и развития талантов» находят отражение в инвестиционных проектах.

Каждой цели соответствует система количественных показателей, позволяющая отслеживать ее выполнение (индикаторы). С каждым индикатором связана система факторов, влияющая на достижение каждой из национальных целей развития. «Совокупность факторов для каждого целевого показателя отвечает критерию полноты, т.е. описывает все основные направления, по которым Правительство обеспечивает достижение этого целевого показателя» [2, с.11].

 $<sup>^1</sup>$  Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года. Правительство РФ, 1 октября 2021 г. – 308 с.

В основе выбора инвестиционных проектов лежат социальные цели — сохранение населения, его здоровья и благополучия, создание комфортной и безопасной жизненной среды. Ориентация на социально-ориентированную политику обуславливает стимулирование инвестиций в поддержку перспективных технологических заделов и сквозных технологий, развитие обрабатывающей промышленности, топливно-энергетический комплекс, транспорт, космическую деятельность, атомную промышленность, аграрно-промышленный комплекс. В приоритете — развитие транспортной и энергетической инфраструктуры, обеспечивающей территориальную связанность регионов Дальнего Востока и западных регионов России и круглогодичной навигации по Северному морскому пути, внедрение беспилотных технологий в грузовых перевозках и судовождении, устойчивое повышение экологичности энергетики и транспорта.

### 7.2. Выделение информативной системы факторов. Построение когнитивной схемы

Выделение информативной системы факторов для построения когнитивной модели проводилось методом многомерного факторного статистического анализа. Анализ исходных данных проводился методом главных компонент (PCA, Principal Component Analysis). Данный метод представляет собой стандартный подход для анализа данных, в котором исходные данные проецируются на гиперплоскость меньшей размерности.

Идея метода главных компонент была сформулирована К. Пирсоном [3] в 1901 г, после чего в тридцатых годах, Г. Хотеллинг [4] разработал схожий метод, делая упор на идею взятия линейных комбинаций переменных. Сильной стороной метода можно считать возможность выявления неочевидных и скрытых поначалу закономерностей и взаимосвязей между исходными переменными. Также он позволяет понижать размерность пространства данных и строить ортогональный базис факторов.

В табл. 7.1 приведены исходные переменные, полученные информативные факторы и факторные нагрузки.

Факторы и факторные нагрузки

Помономурод	Фактор/пр	оцент объясн	енной вариа	ции выборки
Переменная	Ф1/45	Ф2/19	Ф3/15	Φ4/15
Деревообработка	-0,191	0,365	0,048	0,903
Энергетика	0,935	0,192	-0,039	-0,105
Добыча и переработка	0,124	0,943	0,083	0,275
Металлообработка	0,532	-0,119	0,221	0,768
Химическая промышленность	0,884	0,238	0,185	0,189
Машиностроение	0,390	0,860	0,305	-0,040
Строительные материалы	0,322	0,104	0,834	0,283
Качество жизни	-0,093	0,183	0,927	-0,023

*Источник*. Получено авторами в результате статистической обработки данных цифровой платформы «Инвестиционные проекты».

Метод факторного анализа позволил выделить 4 главных фактора, объясняющих 94% выборочной вариации исходных переменных (45%, 19%, 15%, 15%). Факторы имеют достаточно прозрачную содержательную интерпретацию.

Фактор Ф1 формируется инвестициями в объекты энергетики и химической промышленности. И это вполне закономерно, так как химическая промышленность — самая энергоемкая отрасль народного хозяйства. Выпуская 7% всей промышленной продукции, она потребляет 20% энергии.

Фактор Ф2 в основном определяется добычей и переработкой полезных ископаемых, которые связаны с дальнейшими переделами, в частности отраслями машиностроения, нефте- газо- и углехимии.

Фактор Ф3 представлен комплексной переменной «качество жизнеобеспечения» и «строительные материалы». И это закономерно, поскольку все объекты, связанные с жизнеобеспечением — это объекты строительства, их достаточно много, большинство из них входит в перечень национальных проектов.

И, наконец, фактор Ф4 образован инвестиционными проектами сферы дерево- и металлообработки. Что касается металлообработки, то это достаточно простые металлические изделия

(метизы, прокат металлический, промышленная арматура, строительные металлоконструкции и изделия, трубы металлические и др.), большинство из которых производится непосредственно на металлургических заводах и используется в строительстве.

Применение факторного анализа позволило представить анализируемую систему показателей обобщенным набором факторов, связь между которыми задается матрицей преобразования исходных переменных. На рис. 7.1 представлена такая система взаимодействующих факторов.

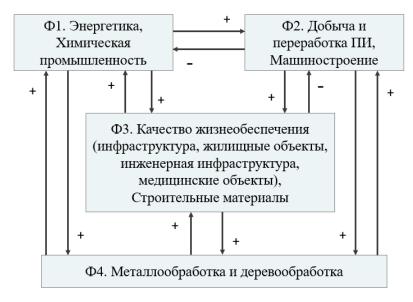


Рис. 7.1. Когнитивная схема взаимодействующих факторов

Эту систему взаимодействующих факторов принято называть когнитивной схемой. Идея когнитивного моделирования на основе когнитивной схемы приписывается американскому социологу и политологу Р. Аксельроду [5], который ввел понятие когнитивного моделирования, применяемого для проведения анализа и прогнозирования. В своих исследованиях он развил существовавшие ранее идеи построения когнитивных схем для формального представления знаний, как отмечает Гинис Л.А. [6].

Отметим несколько важных моментов когнитивной схемы. Во-первых, это система взаимодействующих факторов, и она может быть названа сложной системой. Во-вторых, связи в системе не являются симметричными. Так  $\Phi 1$  положительно влияет на  $\Phi 2$ , т.е. развитие энергетической структуры с большей вероятностью приводит к освоению полезных ископаемых в районах нового освоения, что не всегда обеспечивает обратное. Аналогичное заключение можно сделать и относительно взаимовлияний факторов  $\Phi 2$  и  $\Phi 3$ . В-третьих, когнитивная схема представляет не что иное, как ориентированный граф, поскольку дуги имеют направление, а при наличии весов влияния ориентированный граф уже является взвешенным ориентированным графом, исследуя который можно решить и задачу прогнозирования.

Как отмечается в работе Морозовой М.Е., Шмат В.В. [7], с использованием когнитивной схемы можно проводить следующие исследования (их также можно считать стадиями когнитивного моделирования):

- а) статический анализ: моделирование самостоятельного развития системы без управляющих воздействий. На данном этапе рассматривается строение системы, находящейся в состоянии покоя, т.е. без подачи импульса. Данный этап состоит в составлении когнитивной схемы, ее проверки и модификации, чтобы она в достаточной мере описывала исследуемую систему, выявлении контуров положительных и отрицательных связей;
  б) динамический анализ: изучение управляемого развития
- б) динамический анализ: изучение управляемого развития ситуации исследователь направляет определенные импульсы (воздействия) на факторы. С помощью направления импульсов разной силы на разные факторы исследуются произошедшие изменения, то есть отклики системы. Варьируя вносимые изменения можно лучше исследовать моделируемую систему, проверить свои гипотезы и выработать новые. На этом этапе можно ответить на поставленный исследователем вопрос «Что будет, если ...?».

на поставленный исследователем вопрос «Что будет, если ...?». В данном исследовании был проведен как статический, так и динамический анализ. Результатом выполнения статического анализа является составленная когнитивная схема, представленная на рис. 7.1. Процедура проведения и полученные результаты динамического анализа представлены далее.

### 7.3. Проведение и получение результатов линамического анализа

Ориентированный граф и импульсный процесс в оценке изменений в системе взаимосвязанных показателей

Представляет интерес и задача импульсного моделирования, решаемая с помощью ориентированного графа — например, задавая значения в какой-либо вершине графа, определить изменения в других его вершинах. Здесь в отличие от задачи анализа, необходимо решить задачу прогноза — определить, к чему приведет воздействие в сложной системе, заданное изменениями одного или нескольких управляющих факторов. Таким образом, проводится моделирование распространения управляющего воздействия по системе, заданной когнитивной схемой, в результате которого изменяется состояние системы (значения факторов). Подобная динамическая задача решается с использованием импульсного процесса [8].

Рассмотрим математическую сущность импульсного процесса, основываясь на работе Захаровой Е.Н. [9]. Изначально система находится в состоянии покоя и задается таблицей взаимосвязей (матрицей смежности)  $A_G = [a_{ij}]_{k \times k}, i, j = 1, 2, ... k$ . Также определены начальные значения факторов, т.е. задан вектор начального состояния  $X(0) = (x_1(0), ..., x_k(0))$ . Для изучения системы исследователь подает начальный импульс, который переводит систему из начального состояния X(0) в новое состояние  $X(1) = (x_1(1), ..., x_k(1))$ . Подаваемый в систему импульс — по сути, вектор приращений значений факторов, имеет вид  $P(0) = (p_1(0), ..., p_k(0))$ , где  $p_i(0) = x_i(1) - x_i(0)$  — начальный импульс фактора i, который перевозит значение фактора из начального состояния X(0) в следующее состояние X(1).

Для прогнозирования развития системы используются уравнения вида  $P(t+1) = A_G P(t)$ , где P(t+1) и P(t) — это вектора приращений значений факторов в последовательные дискретные моменты t и t+1, а их совокупность называется импульсным процессом. Состояния системы  $X(0), X(1), \ldots, X(n)$  отображают динамику изменений системы при управляющих воздействиях P(0). Компоненты X(n) характеризуют прогнозируемые значения фактора, и для их вычисления используется формула

 $x_i(n) = x_i(0) + \sum_{t=0}^n p_i(t)$ , т.е. выполняется суммирование начального значения фактора с накопленными приращениями значений фактора за n итераций (тактов) моделирования.

Можно выделить ряд особенностей проводимого импульсного моделирования, упоминаемых в статье Белан А.К., Шмат В.В. [10]:

- ♦ С содержательной стороны, система, находящаяся изначально в состоянии покоя, подвергается некоторому воздействию (импульсу), после чего, из-за распространения импульса по системе, она приходит в движение. При этом изменяются значения факторов. Когда распространение импульса затихает, система приходит в новое равновесное состояние, которое является отражением прогноза сценария развития системы. В случае взрывного процесса равновесие недостижимо, но в экономике взрывные процессы встречаются крайне редко.
- $\Diamond$  Стандартным техническим решением когнитивного моделирования является рекуррентное вычисление  $X(1), X(2), \ldots, X(n)$ . Причем количество итераций n устанавливается достаточное для проверки сходимости вычислений, т.е. нужно понять, получаются ли стабильные значения, демонстрирующие характер изменения системы.
- $\Diamond$  Одна итерация моделирования (переход от X(i) к X(i+1)) обычно не соотносится с конкретным временным промежутком. Однако его можно вычислить посредством качественного анализа реальных условий и особенностей функционирования моделируемой системы.

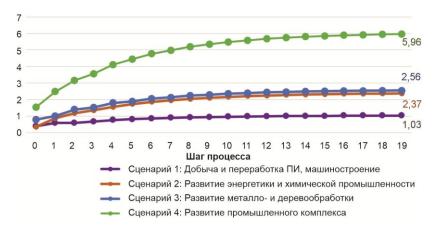
В настоящей работе используется описанная выше процедура импульсного моделирования для расчета 4-х сценариев развития системы на основании разного распределения инвестиций.

Исследование эффекта мультипликации инвестиций с помощью когнитивной модели

Напомним, что в исследовании участвуют актуальные к настоящему времени инвестиционные проекты цифровой платформы «Инвестиционные проекты», в перечисленных ранее отраслях на территории Российской Федерации. Когнитивная модель представлена взвешенным ориентированным графом, схема которого изображена на рис. 7.1. Импульсные воздействия подаются в оп-

ределенные вершины графа согласно рассматриваемым ниже сценариям. Поскольку все измерители в вершинах графа сопоставимы (инвестиции представлены в одних денежных единицах), то и результаты воздействий также сопоставимы.

Рассмотрим некоторые сценарии инвестиционного поведения (рис. 7.2).



Puc. 7.2. Влияние различных сценариев распределения прироста инвестиций на прирост инвестиций в проекты качества жизни и строительства

Сценарий 1. Инвестиции осуществляются преимущественно в сферу добычи и переработки полезных ископаемых. В когнитивной модели импульс подается в вершину, представленную фактором Ф2. Поскольку все вершины взаимосвязаны, то результат импульса скажется в разных вершинах по-разному. В качестве целевой рассмотрим вершину Ф3 (качество жизнеобеспечения), поскольку и в национальных, и в региональных программах социально-экономического развития эти проблемы являются наиважнейшими. Мультипликативный эффект от единичного импульса в вершину Ф2 представлен на рис. 7.2. Имитационный процесс когнитивной модели сходится уже на 15 шаге. Решение свидетельствует, что единичный прирост инвестиций в добычу и обогащение ПИ приводит к приросту инвестиций в качество жизни в размере 1,03.

Сценарий 2. Преимущественно инвестиции осуществляются в энергетику и химическую промышленность. В когнитивной модели единичный импульс подается в вершину Ф1. Сходимость к решению наблюдается на 17 шаге (см. рис. 7.2). При этом мультипликативный эффект от инвестиций в проекты в сферах энергетики и химической промышленности в инвестиции в проекты качества жизни составляет 2,37, что более чем вдвое превышает мультиплицирующий эффект инвестиций в добычу и переработку ПИ.

Сценарий 3. Преимущественное инвестирование в проекты дерево- и металлообработки. В когнитивной модели импульс подается в вершину Ф4. Сходимость итерационного процесса наблюдается к 17 шагу (см. рис. 7.2). При этом единичный прирост инвестиций в проекты дерево- и металлообработки мультиплицируют прирост инвестиций в проекты качества жизни и строительства на уровне 2,56.

Сценарий 4. Развитие промышленного комплекса. Сценарий предполагает одновременное импульсное воздействие в вершины Ф1, Ф2, Ф4 (растут инвестиции в энергетику, химическую промышленность, добычу и переработку ПИ, метало- и деревообработку, машиностроительные проекты. Это приводит к мультипликации инвестиций в строительство, инфраструктуру, качество жизни до уровня 5,96 (см. рис. 7.2). Иначе говоря, 3 условных единицы прироста в инвестирование проектов промышленного комплекса дают практически двухкратный прирост инвестиций в обобщенный показатель качества жизни.

Если еще и дополнительно наращивать инвестиции в проекты транспортной, инфраструктуры, то, как показывают расчеты, эффект приращения инвестиций в проекты качества жизни может составить 8,38, т.е. более чем вдвое.

## 7.4. Развитие промышленных кластеров как предпосылка экономической мультипликации. Комплексный инвестиционный проект «Енисейская Сибирь»

Подтверждение существования кластера привлекает к его участникам внимание со стороны финансовых структур, позволяет получать помощь в выстраивании кредитной репутации, в распро-

странении рекламы в рамках бренда кластера, привлекает в регион дополнительные ресурсы. В целом, политика привлечения инвестиций, проводимая кластером как единой мезоэкономической системой, будет учитывать большинство интересов отдельных его участников, если они напрямую не противоречат согласованным интересам большинства участников или кластера в целом.

Централизованное привлечение финансовых ресурсов предприятиями, выступающими под брендом кластера, имеет больше шансов на успех, чем отдельные попытки предприятий-индивидуалистов. В условиях российских реалий значение подобного эффекта трудно переоценить. Наличие кластера в регионе позволяет получать государственную финансовую поддержку в рамках программ кластерного и регионального развития, что ведет к дальнейшему развитию региональной экономики, стимулированию экономического роста и ускорению решения социальных проблем, особенно острых в депрессивных монопромышленных регионах.

Еще одним источником синергического эффекта в кластере может выступать так называемая «синергия конгломерата» (производственная синергия), которая заключается в объединении в рамках одной структуры бизнесов, имеющих различные этапы развития или различную динамику рыночной коньюнктуры, что позволяет снизить общую цикличность развития кластера. Сочетание в составе кластерных структур технологически юных и зрелых, развитых, стабильно функционирующих предприятий способствует эффективной деятельности и устойчивому развитию кластера.

Но основной эффект от образования кластерной структуры заключается в том влиянии, которое она оказывает на развитие экономики в целом. Возникает так называемый мультипликативный эффект — вокруг каждого крупного промышленного проекта образуются промышленные кластеры. Это структуры, обладающие той или иной степенью организационной новизны, которые включают новообразованные корпорации, «дочки» старых предприятий и производственных объединений, совместные предприятия с иностранным участником, слой малого и среднего бизнеса. Кластеры запускают процесс глубокой технологической модернизации не только самим фактом своего появления, но и формиро-

ванием новой хозяйственной атмосферы в регионе базирования. Начинает реализовываться новая промышленная политика, успех в которой определяется не только размером финансовых ресурсов, но и формированием новых отношений с федеральной властью, ключевыми компаниями в регионе и местным производственным бизнесом. Эти отношения несут на себе печать конструктивной двойственности — сочетания традиций и новаторства.

Примером комплексного подхода к инвестированию региональных и межрегиональных инвестиционных проектов является комплексный инвестиционный проект (КИП) «Енисейская Сибирь», одобренный распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 года № 571-р. Проект призван активизировать социально-экономическое развитие Красноярского края, Республики Хакасия и Республики Тыва путем снятия инфраструктурных ограничений, создания новых рабочих мест и роста реальных денежных доходов населения регионов. К настоящему времени утверждены 32 инвестиционных проекта в области добычи и переработки полезных ископаемых, агропромышленного комплекса, развития транспортной и социальной инфраструктуры, энергетики. Планируется, что большинство проектов будут реализованы компаниями-инвесторами, являющимися лидерами на мировых рынках, инфраструктурные проекты будут реализованы через механизмы государственно-частного партнерства. Общий объем инвестиций проекта составляет 1,9 трлн руб.

План реализации КИП «Енисейская Сибирь» включает 3 этапа.

- I. 2020—2025 гг. Приоритеты получают развитие добычи и переработки полезных ископаемых и создание транспортной и энергетической инфраструктуры.
- II. 2025—2030 гг. Производство сложной техники для добывающих производств, развитие сервисных услуг и новых наукоемких технологий.
- III. 2030–2035 гг. Превращение регионов «Енисейской Сибири» в научно-промышленный центр с углубленной переработкой добываемого сырья, развитием современных экологически чистых технологий, появлением новых высокотехнологичных отраслей.

Предпосылки осуществления такого плана уже имеются. В рамках развития Ангаро-Енисейского макрорегиона компаниями «Полюс Красноярск», «Соврудник», «Амикан» (и др.) реализовываются проекты в золотодобыче; началось строительство моста через Енисей в районе поселка Высокогорский, который обеспечит доступ к ресурсам трех районов Красноярского края. На севере Енисейской Сибири компания «Роснефть» начала реализацию проекта «Восток Ойл», на полуострове Таймыр построят морской порт и терминалы для хранения нефти; на Сырадасайском месторождении коксующегося угля на Таймыре построена дорога, связывающая все ключевые объекты проекта: угольный разрез, обогатительную фабрику и морской терминал, ведется отсыпка дамбы, соединяющей береговую зону с причалом для отгрузки угля, идет подготовка к монтажу модульных конструкций для вахтового поселка, готовится площадка для строительства обогатительной фабрики.

Особый интерес представляют такие проекты, как особая экономическая зона промышленно-производственного типа «Красноярская технологическая долина». Здесь будут осуществляться проекты по глубокой переработке алюминия, машиностроительные проекты, выпускаться продукция с высокой добавленной стоимостью. Крупнейший агропромышленный комплекс полного производственного цикла осуществляется компанией «Сибагро Биотех» на территории Шарыповского муниципального округа Красноярского края.

В рамках проекта предусмотрено производство полилактида – биоразлагаемого пластика из растительного сырья, который используется для производства упаковки, одноразовой посуды, пластика 3D-печати, медицинских нитей и шунтов. Кроме этого, продукция завода представлена белковыми кормами для животных и клейковиной.

Особо следует отметить, что Распоряжением Губернатора Красноярского края от 27.11.2019 № 671 создан научнообразовательный центр (НОЦ) «Енисейская Сибирь», целью которого является достижение мирового научно-технологического лидерства в ключевых отраслях специализации экономики Енисейской Сибири и решения задач социально-экологического развития территорий. НОЦ представляет собой объединение без об-

разования юридического лица федеральных государственных образовательных организаций высшего образования и (или) научных организаций с организациями, действующими в реальном секторе экономики. Реализация программы деятельности центра обеспечивается посредством реализации комплексных научнотехнических проектов, формирования и использования участниками центра научной, производственной, технологической и иной инфраструктуры центра. Меры государственной поддержки деятельности центра включают формы государственной поддержки, установленные для территорий опережающего социально-экономического развития, государственных научных центров, инновационных научно-технологических центров и др.

экономического развития, государственных научных центров, инновационных научно-технологических центров и др.
Образование НОЦ создает реальную основу создания в рамках «Енисейской Сибири» инновационных промышленных кластеров, обеспечивающих связанность и конкурентные отношения между участниками кооперационных проектов.

между участниками кооперационных проектов.

Подводя итоги исследования мультипликативных воздействий актуальных инвестиционных проектов на территории России, можно заключить, что наибольший как прямой, так и косвенный эффекты наблюдаются в межотраслевых промышленных мезо-экономических системах. Одними из разновидностей подобных систем выступают инновационные промышленные кластеры. Именно они позволяют сформировать полноценные промышленные цепочки и найти новые ниши для инвестиций, проводить диверсификацию, создавать что-то новое, наращивая конкурентное преимущество. При этом для создания кластера в регионе обязательно наличие нескольких факторов: успешная деятельность промышленного предприятия, наличие профессиональных кадров и научной базы, удобное географическое расположение, развитая инфраструктура. И очень важно наличие «критической массы» организаций и предприятий в одной либо смежных видах деятельности, иначе может не возникнуть синергического эффекта, не появятся совместные проекты. Также важен институциональный климат, содействие местных властей, развитая производственная и логистическо-сбытовая инфраструктура и доступ к трудовым ресурсам. Только таким образом можно реализовать эффекты масштаба, синергии, мультипликатора.

### 7.5. Оценка влияния инвестиционного импульса в Азиатской России на экономический рост в стране

Прогноз влияния развития отдельных отраслей на развитие народного хозяйства страны можно проводить разными способами. В некоторых случаях, преимущественно на ранних этапах сценарных исследований, наиболее удобным оказывается метод экономических мультипликаторов. С помощью этого метода оценивается эффект от увеличения показателей в анализируемом виде деятельности с учетом его вклада в экономическую динамику. Применяемый нами подход состоит из двух этапов.

На первом этапе проводится оценка влияния инвестиций в отраслевой проект на инвестиции в проекты качества жизни, мультиплицируемые рассматриваемым проектом. Это обстоятельство крайне важно, поскольку частного инвестора, инициирующего проект, в первую очередь интересуют капитальные и текущие затраты непосредственно в инвестиционный проект. Для того, чтобы проект был интересен населению, чтобы люди поехали в места нового освоения Азиатской России, нужно обеспечить им достаточно высокие стандарты качества жизни. Для частного инвестора это неподъемно, и на помощь должно прийти государство, вкладывая существенные финансовые ресурсы в обеспечение объектов жилищного строительства, социальной инфраструктуры и др. Этот мультипликатор оценивается с использованием когнитивной модели, результаты расчетов по которой приведены в табл. 7.2 (столбец 4) настоящего раздела. На втором этапе с использованием мультипликаторов Кейнса,

рассчитанных для отдельных секторов экономики [11] проводится рассчитанных для отдельных секторов экономики [11] проводится расчет влияния инвестиционных импульсов в выбранных отраслевых пилотных проектах на ВВП страны. Результаты расчетов представлены в табл. 7.2 (столбец 6).

Напомним, что под обобщенным фактором «качество жизни» понимаются преимущественно объекты строительства и жилищной инфраструктуры (объекты теплоснабжения водо-

снабжения и водоотведения, жилые комплексы, детские сады, интернаты, школы, досуговые и развлекательные центры, спортивные сооружения, музеи, парки, скверы, мусорные полигоны и др.). Поэтому в качестве отраслевого мультипликатора для «качества жизни» используется мультипликатор отрасли «строительство». Его оценка -2.05.

Таблица 7.2

(вариант с учетом вклада в пилотный проект химии и нефтегазохимии только регионов Уральского федерального округа) Влияние инвестиций в отраслевые пилотные проекты на инвестиции в проекты качества жизни

	•	•			, a t
Пилотный проект	Инвестиции в проект, млрд руб.	Регион	Мультипликатор инвестиций в про- екты качества жиз- ни (оценка по ког- нитивной модели)	Инвестиции в проекты ка- чества жизни, млрд руб	Инвестиции Оценки муль- в проекты ка- типликаторов чества жизни, секторов эко- млрд руб номики
1	2	3	4	5	9
1. Уголь	3900	Новосибирская область Республика Хакасия Республика Тыва Забайкальский край Амурская область Республика Бурятия Республика Саха (Якутия) Красноярский край Кемеровская область Хабаровский край Сахалинская область Магаданская область	1,03	4017	1,39
2. Редкоземельные металлы 10,8	10,8	Республика Саха (Якутия)	1,03	11,13	1,23

Продолжение таблицы 7.2

				нажиоооди	трооолжение таолицы /. 2
1	2	3	4	5	9
3. Черная металлургия плюс 305,2 — Таежный ГОК, 139,8 — Кимкано-Сутарский ГОК, 22,1 — Амурсталь, 8,5 — Приморский металлургический завод 134,8	305,2 139,8 22,1 8,5 134,8	Республика Саха (Якутия), Еврейская АО, Хабаровский край, Приморский край	1,03	314,39	1,65
4. Лес и лесопользование	328,5	Иркутская область, Красноярский край, Томская область, Приморский край, Еврейская АО, Хабаровский край, Сахалинская область	2,56	840,83	1,06
5. Химия и нефтегазохимия 1617,4	1617,4	Тюменская область, Ханты-Мансийский АО, Ямало-Ненецкий АО	2,37	4140,54	1,88
зводороды ыча (нефть, газ) работка УВС	24168,4 22441,0 1727,4	Ханты-Мансийский АО, Ямало-Ненецкий АО	1,03	24 893,10	1,33
Итого:	30349			34217	

Исходя из принятых предположений, можно осуществить оценку влияния инвестиций пилотных проектов в инвестирование проектов качества жизни (см. табл. 7.2, столбец 5), пользуясь мультипликаторами инвестиций, полученными с помощью разработанной когнитивной модели (см. табл. 7.2, столбцы 4–5).

Следующий этап расчетов связан с использованием мультипликаторов Кейнса, рассчитанных для различных секторов экономики [11, табл. 7.1].

В результате расчетов с учетом того обстоятельства, что инициированные строительные проекты могут обслуживать несколько пилотных проектов одновременно, мы получаем, что прирост ВВП России в результате указанных мероприятий на территориях Азиатской России составляет около 57 трлн руб. (в ценах 2019 г.) Это эквивалентно ускорению развития экономики России за период 2023–2035 гг. на 0,45–0,5 п.п., экономики Азиатской России – на 1,35–1,5 п.п. Очевидно, что данные оценки составляют верхнюю границу оценки изменения среднегодового темпа прироста.

Оценка влияния инвестиционных проектов, реализуемых в Азиатской России, проводилась также с использованием динамической межотраслевой модели, включенной в разработанную в рамках работ по гранту систему КОМПАС-ДАР. Результаты расчетов по этой модели позволили оценить суммарный динамический эффект от реализации всех рассматриваемых проектов за период 2023—2035 гг. в сумме 43,3 трлн руб. (также в ценах 2019 г.). Среднегодовой темп прироста ВВП в прогнозном периоде возрастает на 0,3 п.п. Данное значение можно принять за нижнюю границу оценки изменения среднегодового темпа прироста экономики России. Для Азиатской России она при этом составит 0,9—1,0 п.п.

Очевидно, что результат экономического роста, вызываемый рассматриваемыми проектами, является весьма ограниченным с позиций ускорения устойчивого макроэкономического развития, хотя для отдельных регионов на территориях нового освоения он будет существенным. Поэтому инвестиционный импульс, иниции-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> См. отчет по гранту за 2022 г. по теме: Апробация моделей развития Азиатской России и разработка средств нормативного сценарного проектирования и анализа (заключительный, этап 3). Книга 1. Раздел 1.

рованный предложенными пилотными проектами, следует рассматривать как стартовый для развития промышленного потенциала на территориях Азиатской России. Немаловажное значение имеет и мультиплицированное пилотными проектами повышение качества жизни проживающего здесь населения (рост жилищного строительства, развитие транспортной инфраструктуры, социальной сферы и др.), что, в конечном итоге, будет способствовать росту рабочих мест и закреплению населения на этих территориях.

Дальнейший рост эффекта «большого инвестиционного им-

Дальнейший рост эффекта «большого инвестиционного импульса» следует ожидать от развития технологических связей в промышленном производстве, сельском хозяйстве, других отраслях экономики, основанных на инновационном прорыве в производстве продукции, стимулирующем внутренний спрос, и создание новых высокотехнологичных рабочих мест. Речь идет, конечно, и о производственных связях в виде поставок продукции и оказании услуг в рамках кооперативной интеграции производителей на выпуск конечной продукции в виде потребительских инвестиционных товаров, товаров для экспорта, но не только. На каждом этапе возникают социальные выгоды в виде обмена знаниями, роста взаимного доверия, формирующих нематериальные активы компаний, а также налоговых поступлений в бюджетную систему, правильное использование которых также увеличивает благосостояние сообществ. К сожалению, таких цепочек в России пока чрезвычайно мало, а имеющиеся коротки и не дотягивают до передовых стандартов, включая лишь процессы освоения сырьевых ресурсов и получения полупродуктов.

Переработка — это только один фрагмент общей сети создания социальной ценности, формируемой углублением степени переработки ресурса. В России при ее колоссальном потенциале добыча не сопровождается адекватной глубиной переработки. В результате, экспортируя сырье или первые переделы цепочек переработки, Россия вынуждена в массовом порядке закупать готовые продукты, чтобы покрывать внутренний спрос. Чтобы приблизить предложение товаров к внутренней структуре спроса, необходима действенная помощь государства. Отсюда вытекает важнейшая особенность реализации того подхода, который мы здесь обсуждаем — это не только формирование цепочек, не только и не столько поддержка крупных игроков, но и в значительной

степени действенные шаги по формированию внутреннего спроса через различные инструменты фискальной, научно-технологической, структурной, транспортной политики.

#### Литература к главе 7

- Костюкович Н.В. Мультипликационный эффект в российской экономике // Вестник ТвГУ. Серия "Экономика и управление". 2016. № 1. С. 33–41
- 2. Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года. Правительство РФ, 1 октября 2021 г. 308 с.
- 3. Pirson K. On lines and planes of closest fit to systems of pointsin space. Phil.Mag. (6), 2, 559–572, 1901.
- 4. Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. Journal of Educational Psychology, 24, 417–441, and 498–520.
- 5. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton // NJ: Princeton University Press, 1976. 404 p.
- 6. Гинис Л.А. Истоки современного когнитивного моделирования // Известия Южного федерального университета. Технические науки. -2005. T. 50. N = 6. C. 119 = 128.
- 7. Морозова М.Е., Шмат В.В. Среднесрочное прогнозирование российской экономики с использованием когнитивной модели // Проблемы прогнозирования. -2017. -№3. С. 19–25.
- 8. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М.: Наука, 1986.
- Захарова Е.Н. О когнитивном моделировании устойчивого развития социально-экономических систем // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 1: Регионоведение: философия, история, социология, юриспруденция, политология, культурология. – 2007. – №1. – С. 184–190.
- Белан А.К., Шмат В.В. Анализ влияния ресурсных и нересурсных факторов на рост экономики Томской области с применением когнитивного подхода // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. – 2015. – Т. 15. – Вып. 1. – С. 78–93.
- 11. Широв А.А., Янтовский А.А. Оценка мультипликативных эффектов в экономике. Возможности и ограничения // ЭКО. № 2, 2011. с. 40–58.

#### Глава 8

## АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНЧУРНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### 8.1. Постановка задачи и введение в проблему исследования

Одним из элементов системы КОМПАС-ДАР являются имитационные финансовые модели инвестиционных проектов. Информация по результатам прогнозных расчетов с использованием этих моделей может быть использована в моделях экономики различных регионов, отраслевых комплексов и в межрегиональных динамических моделях (см. рис. 1.2 в разделе 1 монографии). Результаты прогнозных расчетов по финансовым имитационным моделям крупных инвестиционных проектов могут быть использованы также и в ДММ-КАМИН для оценки влияния реализации этих проектов на макроэкономическую и отраслевую динамику экономики России.

В период после 2014 г. особую актуальность для российской экономики приобрела проблем импортозамещения в высокотехнологических отраслях и активная реализация инвестиционных проектов инновационного характера. По нашему мнению, одним из факторов, сдерживающих внедрение инноваций в экономику России, является недостаточное распространение специальных методов финансирования инновационных проектов, для которых во многих случаях весьма высока неопределенность в достижении намеченных финансово-экономических результатов. Одним из методов финансирования инновационных проектов является венчурное инвестирование. В использовании этого метода финансирования инноваций Россия радикально отстает от ведущих экономик мира. В 2021 г. венчурные инвестиции в Китае составили 130,6 млрд долл., в США — 296,6 млрд. долл., а в России 109 млн долл., т.е. были меньше на три порядка (см. [1], [2]).

Венчурный капитал выступает одним из наиболее эффективных источников финансирования инновационных компаний и инновационных проектов. В качестве одной из важных задач в рамках стимулирования научно-технического прогресса в России и решения проблемы импортозамещения можно обозначить развитие рынка венчурного инвестирования. Развитие данного направления проектного финансирования будет способствовать укреплению экономики нашей страны в долгосрочной перспективе.

срочной перспективе.

На наш взгляд, одной из ключевых проблем, сдерживающих развитие венчурного финансирования в России, является отсутствие адекватной методологической базы оценки финансовой эффективности инновационных проектов, финансируемых за счет средств венчурного капитала. В свете необходимости скорейшего решения проблемы импортозамещения в России и регионах Азиатской части России формирование и развитие такой базы является весьма актуальным вопросом. По нашему мнению, перспективным направлением для развития теории и методологии оценки инноваций является концепция реалиных опционов. инноваций является концепция реальных опционов.

Современное состояние исследований в данной области В отечественной научной литературе представлены публикации, в которых для оценки коммерческой эффективности инновационных проектов используется инструментарий концепции реальных опционов. Это такие работы как, например, [3–5] и пр. Однако не получили широкого распространения научные исследования, в рамках которых метод реальных опционов используется для оценки финансовой эффективности инновационных проектов, финансируемых за счет средств венчурного капитала.

Применение метода реальных опционов в качестве инстру-

мента оценки проектов широко представлено в зарубежной экономической литературе. Не менее широко освещены результаты исследований зарубежных ученых по венчурному капиталу. Однако следует отметить, что публикации, посвященные использованию теории реальных опционов для оценки эффективности участия венчурного инвестора в финансировании проекта, весьма немногочисленны.

Стоит особо отметить немногочисленные зарубежные публикации [6–12], в которых представлены исследования, посвященные реальным опционам, характерным для процесса финансирования инновационного проекта за счет средств венчурного инвестора. Данные публикации имеют одну общую особенность: не принимается во внимание такой важный, по нашему мнению, аспект, что венчурный фонд обладает своими финансовыми потоками, которые отличаются от потоков всего проекта. Среди недостатков перечисленных работ необходимо отметить следующее: излишнее увлечение математическими выкладками без представления экономической интерпретации полученных в результате расчетов показателей; во многих работах практическая апробация предлагаемых подходов не выполняется; в публикациях, где проводятся расчеты на условных примерах, опять же отсутствует интерпретация результатов с финансово-экономических позиций.

Таким образом, использование опционного подхода для целей оценки финансовой эффективности инновационного проекта, в финансировании которого участвует венчурный фонд, широко не представлено в работах отечественных и зарубежных ученых и является перспективным направлением исследований. Усилия авторов данной статьи сосредоточены именно на данном направлении [13].

## Венчурный капитал как источник активизации инвестиционно-инновационного процесса в Азиатской России

Проведем анализ основных трендов на рынке венчурного инвестирования в регионах Азиатской части РФ. Дадим определения используемым далее терминам в трактовке Российской ассоциации венчурного инвестирования (РАВИ), представленной в публикуемых ею статистических сборниках:

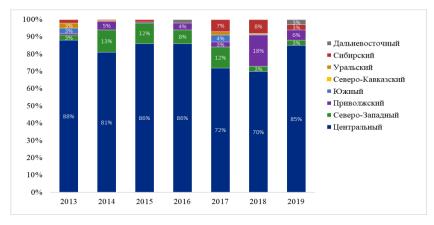
- «VС инвестиция инвестиция в компанию на венчурных стадиях (посевная, начальная, ранняя и в некоторых случаях – расширение); объем инвестиции – менее 100 млн долл.» [14, с. 4];
- «РЕ инвестиция инвестиция в компанию на зрелых стадиях (расширение, поздняя); без ограничения объема инвестиций» [14, с. 4].

### Текущее состояние венчурного инвестирования в регионах Азиатской России

Центральный федеральный округ занимает лидирующие позиции в распределении совокупного объема VC инвестиций по федеральным округам (рис. 8.1). Его доля в 2019 г. составила примерно 85%, вернувшись к значениям 2015—2016 гг. после падения до 70—72% в 2017—2018 гг. Среди других федеральных округов выделяется Приволжский, получивший в 2018 г. 18% всего объема VC инвестиций. В период с 2014 по 2017 год значимую долю занимал Северо-Западный федеральный округ, однако в 2018—2019 гг. его доля снизилась до 3% [15].

Регионы Азиатской России занимают незначительную долю от общего объема VC инвестиций. Однако следует отметить, что на Сибирский федеральный округ в 2017 г. и 2018 г. приходилась, хоть и небольшая, но заметная доля VC инвестиций: 7% — в 2017 г. и 8% — в 2018 г. В 2019 г. доля Сибирского федерального округа составила лишь 3%.

Если говорить о Дальневосточном федеральном округе, то в региональном распределении VC инвестиций данные о нем фигурирует только в 2016 г. (доля -2%) и в 2019 г. (доля -3%).



Puc.~8.1. Распределение объемов VC инвестиций по федеральным округам в 2013—2019 гг., %

В распределении числа VC инвестиций (рис. 8.2) нет существенных отличий. Центральный федеральный округ занимает наибольшую долю по числу VC инвестиций за весь анализируемый период с 2013 по 2019 год. Среди других регионов в распределении числа VC инвестиций в 2019 г. выделяются Северо-Западный (10%) и Сибирский (6%) федеральные округа.

Для регионов Азиатской России наблюдается тенденция, аналогичная региональному распределению объема VC инвестиций: эти регионы занимают весьма скромную долю от общего количества VC инвестиций. В распределении числа VC инвестиций в региональном разрезе в период с 2013 по 2019 год Сибирский федеральный округ стабильно занимал долю на уровне в среднем 5%. Доля Дальневосточного федерального округа в 2016 г. и 2019 г. составляла 4%.

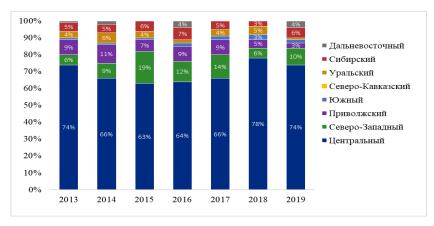


Рис. 8.2. Распределение числа VC инвестиций по федеральным округам в 2013–2019 гг., %

На Центральный федеральный округ в 2018–2019 гг. также пришлась большая часть объема РЕ инвестиций: доля составила 97% в 2018 г. и 93% – в 2019 г. (рис. 8.3). В 2019 г. 7% РЕ инвестиций пришлось на Приволжский федеральный округ. Отметим, что в период с 2015 по 2017 год распределение было более равномерным: существенную долю инвестиций получали Сибирь и Северо-Запад (по 20–40%).

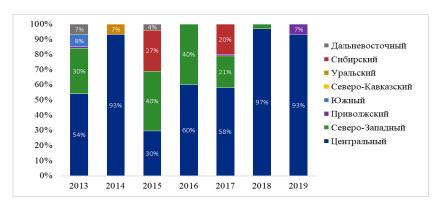


Рис. 8.3. Распределение объемов РЕ инвестиций по федеральным округам в 2013–2019 гг., %

В распределении объемов РЕ инвестиций среди регионов Азиатской России наиболее заметную долю занимает Сибирский федеральный округ: его доля в 2015 г. составила 27% от совокупного объема РЕ инвестиций, в 2017 г. эта доля снизилась до 20%. На протяжении временного интервала 2013—2019 гг. СФО отсутствует в региональном распределении РЕ инвестиций в 2013 г., 2014 г., 2016 г., 2018 г., а также в 2019 г. Дальневосточный федеральный округ занимал долю 7% от общего объема РЕ инвестиций в 2013 г. и 4% — в 2015 г. В остальные годы анализируемого периода доля ДВФО была равна нулю.

Схожие тенденции наблюдаются и в распределении числа VC инвестиций. Лидирующие позиции занимает Центральный федеральный округ. В 2019 г. доля в распределении объемов РЕ инвестиций составила 93%, а в распределении числа РЕ инвестиций — 84% (рис. 8.4). Что же касается регионов Азиатской России, то их доля также незначительна, как и в распределении VC инвестиций. Так, например, доля Сибирского федерального округа в общем количестве РЕ инвестиций была заметной лишь в 2015 г. и составляла 15%, в 2017 г. ее значение составило 7%, в остальные годы рассматриваемого временного интервала она принимала нулевые значения. Аналогичная ситуация складывалась и в Дальневосточном федеральном округе: только в 2015 г. доля была заметной и составляла 15%, в 2013 г. значение было на уровне 7%, а в остальные годы РЕ инвестиции в этом федеральном округе отсутствовали.

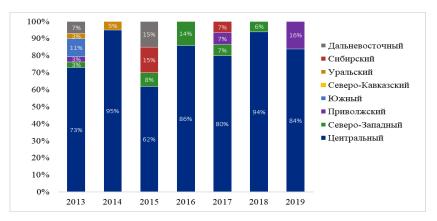


Рис. 8.4. Распределение числа РЕ инвестиций по федеральным округам в 2013–2019 гг., %

Таким образом, можно обозначить следующие *основные* тренды на рынке венчурного инвестирования в регионах России и Азиатской России:

- 1. Наибольший объем VC и PE инвестиций направлен в Центральный федеральный округ. Остальные регионы весьма слабо вовлечены в формирование рынка венчурного инвестирования России.
- 2. На втором месте по объему венчурных инвестиций находится Северо-Западный федеральный округ. Заметную роль в разные годы начинает играть Приволжский федеральный округ.
- 3. Регионы Азиатской России, несмотря на свой потенциал, занимают небольшую долю как VC, так и PE инвестиций и по объему, и по числу инвестиций. Следует отметить, что в распределении объемов PE инвестиций эти регионы занимают большую долю по сравнению с долей в распределении VC инвестиций. Иными словами, в регионах Азиатской России преобладают венчурные инвестиции в инновационные компании на более зрелых стадиях развития (расширение, поздняя), в то время как в объеме венчурных инвестиций на ранних стадиях (посевная, стартап, ранний рост) эти регионы занимают весьма скромную долю. Это свидетельствует о том, что малые инновационные компании ранних стадий развития

в этих регионах испытывают дефицит финансирования со стороны венчурного капитала.

### Проблемы венчурного инвестирования в России и Азиатской России

Как было отмечено выше, венчурный бизнес в России развивается достаточно медленно, для обеспечения научнотехнического прорыва необходимы более высокие темпы его роста. Существует ряд нерешенных проблем, которые, по нашему мнению, характерны для российского рынка венчурного инвестирования в целом, а также для регионов Азиатской России.

- 1. Недостаточный объем венчурных инвестиций в России и малое число венчурных фондов. Отрасль венчурного инвестирования является относительно новой для российской экономики. Для решения данной проблемы Российская венчурная компания (РВК) приглашает профессиональных инвесторов для создания новых венчурных фондов: классические венчурные фонды, фонды поддержки НТИ, фонды поздних стадий, корпоративные венчурные фонды. Немаловажным фактором развития венчурного рынка может стать активное привлечение иностранных инвесторов на рынок, а также заимствование опыта у зарубежных коллег [16].
- 2. Трудоемкость процесса поиска венчурных инвесторов для руководителей перспективных проектов. По данным аналитиков ТАСС, 47% стартапов в России сталкивается со значительными трудностями при поиске возможностей для финансирования собственного проекта. При этом самостоятельный поиск инвестора для стартапа успешен только в 14% случаев. Тем не менее многие основатели компаний отказываются от инвестиционного посредника и пытаются осуществить процесс поиска инвестора самостоятельно. Данная стратегия поиска, как правило, ошибочна, так как в итоге процесс оказывается длительным и безрезультатным. По мнению аналитиков, проблема поиска инвесторов связана и с низкой осведомленностью основателей проектов о существующей государственной поддержке. Предприниматели пытаются привлечь средства через бизнес-ангелов и частные компании, которые не всегда готовы вкладывать финансовые ресурсы на ранних стадиях из-за высоких рисков. Стоит отменить, что в связи с коронакризисом для венчурных инвесторов появились

- более привлекательные направления для инвестирования (дистанционное образованнее, здравоохранение, игры и пр.) [17].

  3. Слабое развитие институтов. Венчурное инвестирование передовая отрасль, требующая современных институтов. Ввиду связи венчурных фондов с высокими технологиями, остро встает вопрос защиты прав собственности, определяемой верховенством права. Низкие позиции России в рейтинге стран по индексу верховенства права (101 из 139) оцениваются инвесторами, в основном иностранными как риск, который отражается в требуемой доходности венчурных фондов [18]. Снижение этого риска позволито бы привлечь больший объем венчурных инвестиций в страну ло бы привлечь больший объем венчурных инвестиций в страну и ее регионы. Однако решение этой проблемы возможно лишь при изменении законодательства.
- при изменении законодательства.

  4. Налоговая система мешает развитию венчурных инвестиций в регионах. Для развития венчурного инвестирования в регионах необходимо участие региональных органов исполнительной власти. Большинство трансфертов из федерального бюджета носят целевой характер, что не позволяет регионам гибко подходить к вопросу поддержки венчурных фондов. Необходима налоговая реформа с перераспределением налоговых поступлений в пользу регионов в части их использования для целей поддержки венчурного финансирования, а также введение мер налогового стимулирования венчурного инвестирования (в качестве примера успешного развития региональной венчурной среды возможно взять Приволжский федеральный округ, а именно Республику Татарстан).

  5. Наличие асимметрии в распределении венчурных инвести-
- 5.~ Наличие асимметрии в распределении венчурных инвестиций в регионах  $P\Phi$  и неполное использование потенциала регионов. Наблюдается сильный перекос в распределении VC и PE инвестиций по федеральным округам (концентрация венчурного капитала в Центральном федеральном округе). Остальные регионы, в том числе и регионы Азиатской России, обладающие мощными в том числе и регионы Азиатской России, обладающие мощными ресурсами и научно-техническим потенциалом, не играют заметной роли на венчурном рынке России. Необходимо создание в этих регионах венчурных фондов в форме инвестиционного товарищества и привлечение в них средств для финансирования развития малых инновационных компаний. В России уже есть опыт создания сети региональных венчурных фондов Европейским банком реконструкции и развития: в 1994—1996 гг. было соз-

дано 11 фондов, в том числе Западно-Сибирский и Дальневосточный венчурные фонды. Необходима разработка целевых программ по стимулированию развития венчурного инвестирования в крупных региональных центрах, например, в г. Новосибирске (проект Академгородок 2.0) и в г. Владивостоке (в рамках развития научного центра на острове Русский).

6. Отсутствие развитой предпринимательской культуры ведения венчурного бизнеса в России в целом и в Азиатской России. Отсутствие квалифицированных предпринимателей с достаточным опытом работы в венчурном бизнесе, как это имеет место быть в США. Из опыта развития венчурного бизнеса в США, где впервые зародился сам механизм венчурного инвестирования инноваций, можно заимствовать следующее: стимулировать создание исследовательских парков рядом с ведущими университетами, внедрять программы повышения экономической и предпринимательской грамотности в образовательный процесс ВУЗов. В результате возможно будет усилить связь науки и бизнеса, обеспечивать помощь в коммерциализации научных разработок, предоставлять возможность получать необходимые знания, навыки и опыт всем заинтересованным лицам.

Высококвалифицированные кадры должны стать из ключевых элементов инновационной инфраструктуры развития венчурного предпринимательства в регионах России, обланаучно-техническим лаюших значительным потенциалом. Так, центрами подготовки специалистов в сфере венчурного предпринимательства могут стать ведущие региональные ВУЗы Азиатской России: например, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (г. Новосибирск), Томский государственный университет (г. Томск), Дальневосточфедеральный университет (г. Владивосток), Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова (г. Якутск), Владивостокский государственный университет экономики и сервиса (г. Владивосток) и пр. В рамках этих ВУЗов возможно организовать как обучение новых специалистов в сфере венчурного капитала, так и функционирование программ переподготовки и повышения квалификации.

7. Неразвитость нормативно-правовой базы. В России отсутствует федеральный закон, регулирующий венчурную деятельность. Разработан проект «Стратегии развития рынка венчурных и прямых инвестиций в Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу до 2030 года», но данный документ не принят до сих пор [19].

- 8. Отсутствие официальной статистики по венчурному инвестированию в России на государственном уровне. Необходимо организовать сбор статистических данных и утвердить единую методологию анализа и расчета показателей венчурного рынка в рамках деятельности Федеральной службы государственной статистики. В настоящее время сбором и публикацией статистических данных по рынку венчурного капитала в России занимается РАВИ, представляющая собой профессиональную организацию, объединяющую участников венчурного рынка.
- 9. Слабое развитие фондового рынка в России. Данное обстоятельство затрудняет «выход» венчурных фондов из бизнеса проинвестированных российских компаний через IPO. Необходимо создание условий для интенсивного развития российского рынка ценных бумаг.
- 10. Ограниченный круг источников финансирования венчурных инвестиций. Необходимо расширение источников венчурного капитала как на уровне страны в целом, так и на региональном уровне. Необходимо разрешить на законодательном уровне инвестировать часть средств в венчурный капитал пенсионным фондам и страховым компаниям, являющимся мощным аккумулятором финансовых ресурсов.

#### 8.2. Методология исследования

В работе [13] нами бала развита методология оценки коммерческой эффективности инновационных проектов в различных отраслях промышленности, финансируемых за счет средств венчурных инвесторов, на основе опционного и нечеткомножественного подходов. Представлена авторская методика оценки финансовой эффективности инновационных проектов в промышленности, привлекающих для реализации проекта средства венчурных фондов [13]. Данная методика может быть применима для оценки инновационных проектов, имеющих важное

народнохозяйственное значение и обеспечивающих импортозамещение в промышленности. На рис. 8.5 представим блок-схему этого методического подхода [20, с. 182].

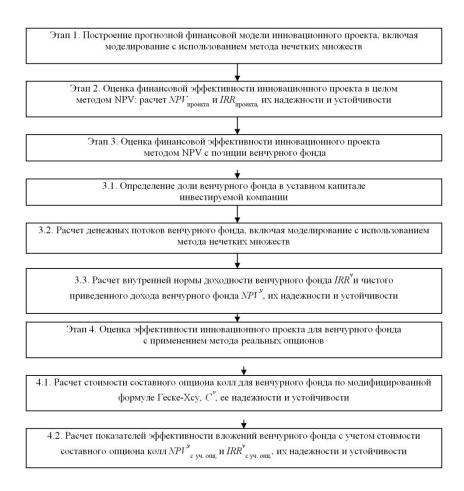


Рис. 8.5. Оценка коммерческой эффективности инновационных проектов в промышленности, финансируемых за счет средств венчурных инвесторов, на основе опционного и нечетко-множественного подходов

Источник: построено авторами.

В работе [13] нами представлена финансово-экономическая интерпретация элементов модели Геске-Хсу применительно к процессу венчурного финансирования инновационных проектов:

$$C^{\nu} = V^{\nu} N_{2} (h + \sqrt{\sigma_{1}^{2} \tau_{1}}, l + \sqrt{\sigma_{1}^{2} \tau_{1} + \sigma_{2}^{2} \tau_{2}}; \rho) - I_{1}^{\nu} e^{-r\tau_{1}} N_{1} (h),$$

$$(8.1)$$

где C' – стоимость составного опциона колл, который может приобрести венчурный фонд;

V — текущая стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду;

- $\sigma_{l}$  уровень рискованности операций проинвестированной компании в течение промежутка времени  $(0,T_{l})$ ;
- $\sigma_2$  уровень рискованности операций проинвестированной компании в течение промежутка времени ( $T_1, T_2$ );

$$h = \frac{\ln \frac{V^{\nu}}{\overline{V}^{\nu}} + r\tau_1 - \frac{1}{2}\sigma_1^2\tau_1}{\sqrt{\sigma_1^2\tau_1}};$$

$$l = \frac{\ln \frac{V^{\nu}}{I_{2}^{\nu}} + r\tau - \frac{1}{2}(\sigma_{1}^{2}\tau_{1} + \sigma_{2}^{2}\tau_{2})}{\sqrt{\sigma_{1}^{2}\tau_{1} + \sigma_{2}^{2}\tau_{2}}};$$

$$\rho = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 \tau_1}{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}};$$

 $I_1^{\nu}$  – цена исполнения составного (внешнего) опциона колл;

 $I_{2}^{\nu}$  – цена исполнения внутреннего опциона колл;

R — безрисковая ставка процента;

$$\tau_1 = T_1 - t$$
,  $\tau_2 = T_2 - T_1$ ,  $\tau = T_2 - t = \tau_1 + \tau_2$ ;

 $N_2(h,l;
ho)$  — функция двумерного стандартного нормального распределения;

 $N_1(\cdot)$  – функция стандартного нормального распределения;

 $\overline{V}$  — такое значение стоимости акций инвестируемой компании в момент времени  $T_l$  (  $V_{T_1}$  ), для которого выполняется следующее равенство:

$$V_{T_1} N_1(l^* + \sqrt{\sigma_2^2 \tau_2}) - I_2^{\nu} e^{-r\tau_2} N_1(l^*) = I_1^{\nu},$$
(8.2)

где  $l^*$  – величина l в момент времени  $T_l$  [13, с. 192–193];

$$l^* = \frac{ln\frac{V_{T_1}}{l_2^{\nu}} + r\tau_2 - \frac{1}{2}\sigma_2^2\tau_2}{\sqrt{\sigma_2^2\tau_2}}.$$
(8.3)

Для оценки стоимости составного опциона колл на четвертом этапе авторской методики нами была использована модифицированная модель Геске-Хсу. Использование данной модели в методике и расчетах обусловлено следующими обстоятельствами. Формула Блэка-Шоулза [21] и модель Геске [22], которая развивает ее в направлении определения стоимости колл-опциона, состоящего из двух стадий, применимы только в случае неизменной волатильности стоимости базисного актива опциона. Однако инвестиции в высокорисковые инновационные проекты могут характеризоваться разным уровнем риска на разных стадиях развития инновационной компании. В работе [7] Хсу развил модель Геске с постоянной волатильностью для случая переменной волатильности.

# 8.3. Результаты оценки коммерческой эффективности инновационного проекта импортозамещения в сфере парфюмерно-косметической промышленности методом реальных опционов

С использованием предложенного нами теоретикометодологического подхода оценим финансовую эффективность с точки зрения инвестора венчурного капитала — венчурного фонда инновационного проекта, реализуемого в одном из регионов Азиатской части России, который имеет важное значение для решения проблемы импортозамещения в промышленности нашей страны. Анализируемый нами инновационный проект является проектом по разработке и организации производства парфюмернокосметической продукции (кремов и биологически активных добавок) на основе соединений германия с применением инновационных технологий, что позволит снизить зависимость экономики России от поставок импортной продукции.

Реализация данного инновационного проекта будет иметь важное значение, а именно: позволит разработать инновационные рецептуры и технологии производства косметической продукции, а также организовать производство и продвижение на рынке данной продукции, что окажет позитивное воздействие на здоровье населения и приведет к снижению импорта косметической продукции в РФ.

В работе [20] нами были опубликованы результаты расчетов по первым двум этапам разработанной нами методики. В рамках этих этапов была построена финансовая модель инновационного проекта по разработке и производству косметической продукции на основе соединений германия (кремов и биологически активных добавок), а также проведена оценка финансовой эффективности инновационного проекта в целом с точки зрения инициаторов проекта на основе традиционного метода дисконтированных денежных потоков. Реальные названия и номенклатура продукции, а также название компании-инициатора проекта в данной статье не даются с целью обеспечения сохранения коммерческой тайны.

В настоящем исследовании мы выполнили расчеты по анализу и оценке коммерческой эффективности данного инновационного проекта с точки зрения потенциального инвестора — венчурного фонда. Нами будут реализованы второй и третий этапы авторской методики (см. рис. 8.5) в четком виде, т.е. без использования нечетко-множественного анализа. Нами была проведена оценка финансовой эффективности инновационного проекта методом NPV с позиции венчурного фонда, а затем выполнены расчеты по оценке финансовой эффективности проекта с использованием метода реальных опционов. Далее рассчитывается стоимость составного опциона колл, содержащегося в данном проекте, а также

определяется так называемая «полная» стоимость проекта с учетом стоимости реального опциона.

Результаты оценки инновационного проекта по разработке и организации производства продукции парфюмернокосметической промышленности на основе соединений германия классическим методом NPV с позиции венчурного фонда

Выполним традиционный расчет оценки финансовой эффективности проекта с позиции участника проекта – венчурного фонда, т.е. на основе финансовых потоков фонда.

Согласно прогнозу денежных потоков, потребность в финансовых ресурсах для анализируемого проекта в период с 2022 по 2024 год составляет 350 000 тыс. руб. [20, с. 183]. Одним из источников финансирования проекта будут являться средства венчурного фонда. Объем инвестиций данного участника проекта будет насчитывать 53 756 тыс. руб.

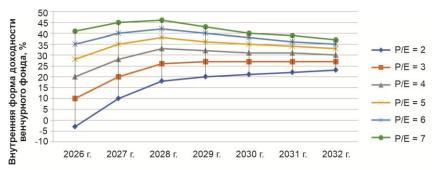
Стоимость инвестируемой компании будет составлять 537 561 тыс. руб. — оценка, полученная на основе расчета чистого приведенного дохода — NPV проекта в целом. По согласованию с первоначальными собственниками-инициаторами проекта доля венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании будет составлять 10%. В этом случае сумма инвестируемых венчурным фондом средств составит 53 756 тыс. руб. В общем объеме финансовых ресурсов, необходимых для осуществления данного проекта, доля венчурного фонда будет равна 15,4%.

Венчурный фонд будет осуществлять финансирование проекта поэтапно, что является обычной практикой работы венчурных фондов. Процесс финансирования будет включать в себя две стадии. На первой стадии реализации проекта — в 2022 г. — объем финансовых ресурсов, предоставляемых венчурным фондом, составит 30 756 тыс. руб., или 57% от общего объема инвестиций фонда. В обмен на эти вложения фонд получит 5,7% акций проинвестированной компании (30 756 / 537 561 \* 100 % = 5,7 %).

На второй стадии реализации проекта – в 2024 г. – при условии успешного развития проекта, будут инвестироваться оставшиеся 43% инвестиций фонда, или 23 000 тыс. руб. В обмен на

предоставленные финансовые ресурсы венчурный фонд приобретает 4,3% акций инвестируемой компании.

Выполним вариантный расчет  $IRR^{\nu}$  на основе классического подхода для нескольких годов «выхода» венчурного фонда из бизнеса профинансированной компании. Результаты расчета представлены на рис. 8.6.



Год «выхода» венчурного фонда из бизнеса проинвестированной компании

 $Puc.\ 8.6.\ Динамика внутренней нормы доходности венчурного фонда IRR<math>^{\rm v}$  для разных годов «выхода» из бизнеса проинвестированной компании

*Источник*: результаты расчетов авторов на основе финансовой модели инновационного проекта по производству парфюмернокосметической продукции.

На рис. 8.6 хорошо видно, что наибольшие значения внутренней нормы доходности венчурного фонда при разных значениях ожидаемой величины отношения цены акции к получаемому по ней доходу P/E=4, 5, 6 и 7 наблюдаются в 2028 г. В более ранние годы, а также в последующие годы внутренние нормы доходности венчурного фонда при обозначенных P/E снижаются, т.е. 2028 год является «переломной» точкой. Таким образом, 2028 г. будет выбран в качестве года «выхода» венчурного фонда из бизнеса финансируемой компании.

Выполним вариантный расчет показателей коммерческой эффективности анализируемого нами инновационного проекта. Согласно полученным результатам расчетов по проекту разработки

и создания производства косметической продукции на основе соединений германия приемлемая для венчурного фонда  $IRR^{\nu}$  (т.е. равная либо превышающая нижнюю границу 20%) равна 26% при P/E=3, т.е. при доходности 25%. При более высоких доходностях, свойственных венчурному бизнесу,  $IRR^{\nu}$  равна 18% (при значении P/E=2, т.е. достаточно высокой доходности 50%).

Расчет чистого приведенного дохода венчурного фонда (NPV) выполним для разных ставок дисконтирования, используемых венчурными фондами на развивающихся рынках, к которым относится и Россия: 20%, 30%, 35% и 40%. Мы можем наблюдать, что при всех взятых нами вариантах ставок дисконтирования при значении показателя P/E=2 величины чистой приведенной стоимости проекта для участника проекта — венчурного фонда принимают отрицательные значения.

Чистый приведенный доход  $NPV^v$ , рассчитанный с позиции венчурного фонда, принимает положительное значение лишь при P/E=3, т.е. доходности 33,3%, но для случая нижнего порогового значения ставки дисконтирования, а именно при r=20%  $NPV^v=13$  642 тыс. руб. Для других, более высоких ставок дисконтирования, свойственных механизму венчурного финансирования,  $NPV^v$  становится меньше нуля: для случая r=30%  $NPV^v=-6$  468 тыс. руб.; для случая r=35%  $NPV^v=-12$  924 тыс. руб.; для случая r=40%  $NPV^v=-17$  814 тыс. руб. Для значения показателя P/E=4, т.е. доходности, 25%,  $NPV^v=-17$ 

фонда принимает положительные значения только при ставках случая дисконтирования 20% И 30%: для NPV' = 31 716 тыс. руб.; для случая  $r = 30\% \ NPV' = 4$  714 тыс. руб. Значения чистого приведенного дохода NPV, рассчитанные с позиции венчурного фонда на основе классического подхода, для ставок дисконтирования 30%, 35% и 40% при значениях P/E=2и P/E = 3 являются отрицательными. Иными словами, при условиях, характерных действительно для высокорискового венчурного финансирования, в большинстве случаев вариантного расчета значения чистого приведенного дохода венчурного фонда отрицательны. Таким образом, можно сделать вывод, что анализируемый нами инновационный проект по разработке и созданию производства инновационной парфюмерно-косметической продукции

на основе соединений германия не является эффективным с позиции венчурного фонда и не должен получить финансирование.

Результаты оценки инновационного проекта по разработке и организации производства продукции парфюмернокосметической промышленности на основе соединений германия методом реальных опционов

Представим финансово-экономическую интерпретацию составного опциона колл для инновационного проекта по разработке и организации производства продукции парфюмернокосметической промышленности на основе соединений германия.

косметической промышленности на основе соединений германия. Применительно к процессу венчурного финансирования составной опцион колл в нашей интерпретации представляет собой опцион, базисным активом по которому выступает внутренний опцион колл на получение некоего актива, в данном случае — прибыли, которую может получить венчурный фонд от продажи принадлежащих ему акций профинансированной компании [13, с. 190].

2022 г. будет выступать нулевым моментом времени  $T_0$ ; 2024 г. — моментом времени  $T_l$ ; 2028 г. (момент времени  $T_2$ ) будет являться годом «выхода» венчурного фонда из бизнеса профинансированной компании. Затратами на приобретение составного опциона колл будут являться инвестиции в проект со стороны венчурного фонда в 2022 г. Они составят 30 756 тыс. руб.  $(I_0^{\nu})$ . Составной опцион колл предоставляет инвестору венчурного капитала — венчурному фонду — право, но не обязательство приобрести через определенное время (в анализируемом проекте этот период равен двум годам) в 2024 г. (момент времени  $T_l$ ) оставшуюся часть зарезервированных за ним акций профинансированной компании. Применительно к нашему проекту цена этих акций составит 23 000 тыс. руб. (величина  $I_l^{\nu}$ ).

В разработанной нами финансово-экономической интерпретации составного опциона колл применительно к процессу венчурного финансирования инновационных проектов [13] приобретение венчурным фондом части акций в момент времени  $T_I$  по цене  $I_I^{\nu}$ трактуется нами как покупка внутреннего опциона колл на приобретение актива со сроком исполнения  $T_2$  и ценой исполнения  $I_2^{\nu}$ . Этим активом, право на покупку которого приобретает венчурный инвестор в момент времени  $T_I$ , является его прибыль, которую он

может получить в момент времени  $T_2$  после продажи своих акций, приобретенных в моменты времени  $T_0$  и  $T_I$  [13, c. 190].

Применительно к анализируемому нами инновационному проекту разработки и создания производства парфюмерно-косметической продукции на основе соединений германия срок исполнения составного (внешнего) опциона колл $T_1$  составит 2 года. Срок исполнения внутреннего опциона  $T_2$  составит 6 лет.

Согласно предложенному нами в работе [13] методическому подходу, при продаже акций в момент времени  $T_2$  венчурный фонд теряет прибыль текущего периода, пропорциональную своей доле в уставном капитале проинвестированной компании. Данная величина интерпретируется нами как его неявные издержки и цена исполнения внутреннего опциона колл  $I_2^v$  [13, c. 191].

В предложенной нами в работе [13] финансовоэкономической интерпретации «входных» параметров модели Геске-Хсу текущая стоимость базового актива представляет собой текущую стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду (V) [13, c. 192].

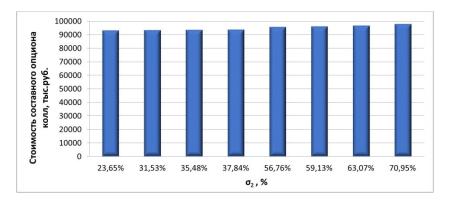
Применительно к анализируемому нами инновационному проекту разработки и создания производства парфюмерно-косметической продукции на основе соединений германия для расчетной доли венчурного фонда 10% при значении P/E=4 величина V' составит: V'=659 479 тыс. руб. \* 0.1\*4=215 884 тыс. руб.

Значение безрисковой ставки процента примем равной величине средней ставки по депозитам по состоянию на 11.02.2022 г. (вложения в альтернативные активы) для юридических лиц — ПАО Сбербанк, который является одним из наиболее крупных и надежных банков в Российской Федерации. Таким образом, r=8,26%1.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Результаты расчетов, представленные в данном исследовании, были выполнены на определенный момент времени и являются иллюстрацией примене-

В качестве значения  $\sigma_I$ , примем величину коэффициента вариации «Индекса МосБиржи инноваций» MOEXINN за период с 10.01.2010 г. (момент начала расчета индекса) по 11.02.2022 г. [23]. Анализируемый нами инвестиционный проект по созданию производства парфюмерно-косметической продукции на основе соединений германия является инновационным и осуществляется в одном из регионов Азиатской части России. По этим причинам был выбран «Индекс МосБиржи инноваций». Коэффициент вариации данного индекса будет составлять 47,3%.

Построим график зависимости стоимости составного опциона «колл» от значений  $\sigma_2$  (результаты расчета представлены для одного из значений при P/E=4) (см. рис. 8.7). Видим, что вариация значений показателя уровня рискованности операций проинвестированной компании в течение промежутка времени  $(T_1, T_2)$ ,  $\sigma_2$ , не оказывает существенного влияния на изменение стоимости составного колл опциона. Результат для других значений показателя P/E будет аналогичным.



Puc.~8.7. Динамика изменения стоимости составного опциона колл в зависимости от значений  $\sigma 2$ при P/E=4

ния методики авторов для инновационных проектов импортозамещения в промышленности.

В связи с вышесказанным в качестве значения показателя  $\sigma_2$  возьмем его наибольшее значение:  $\sigma_2 = 37,84\%$ . Это наихудший случай при условии соблюдения сделанного нами предположения о снижении уровня риска проекта в процессе его реализации.

Результаты расчета стоимости составного опциона колл отображены на рис. 8.8.

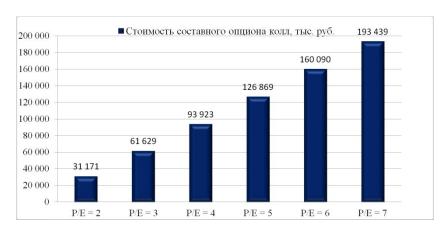
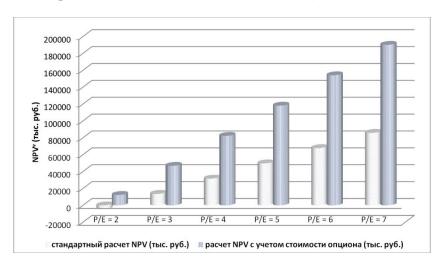


Рис. 8.8. Стоимость составного опциона колл при разных значениях показателя Р/Е

*Источник*: результаты расчетов авторов на основе финансовой модели инновационного проекта по производству парфюмернокосметической продукции

Выполним вариантный расчет чистого приведенного дохода и внутренней нормы доходности венчурного фонда на основе опционного подхода, т.е. принимая во внимание ценность составного опциона колл. Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о том, что в случае учета стоимости реального опциона в стоимости анализируемого инновационного проекта по созданию производства парфюмерно-косметической продукции на основе соединений германия показатели эффективности проекта с позиции венчурного фонда значительно улучшаются. Инновационный проект становится эффективным с точки зрения венчурного фонда, который примет решение выделить финансовые ресурсы на его реализацию.

Результаты расчетов чистого приведенного дохода венчурного фонда ( $NPV^{\circ}$ ), полученные на основе классического и опционного подходов при разных значениях показателя P/E, представим на одном графике. Расчет был выполнен для разных ставок дисконтирования, используемых венчурными фондами на развивающихся рынках, к которым относится и Россия: 20%, 30%, 35% и 40% (рис. 8.9, 8.10, 8.11 и 8.12 соответственно).



Puc. 8.9. Результаты расчета чистого приведенного дохода венчурного фонда при ставке дисконтирования 20%

*Источник*: результаты расчетов авторов на основе финансовой модели инновационного проекта по производству парфюмернокосметической продукции

Результаты расчетов внутренней нормы доходности венчурного фонда ( $IRR^{\nu}$ ), полученные на основе классического и опционного подходов при разных значениях показателя P/E, представим на одном графике (рис. 8.13, 8.14, 8.15 и 8.16 соответственно).

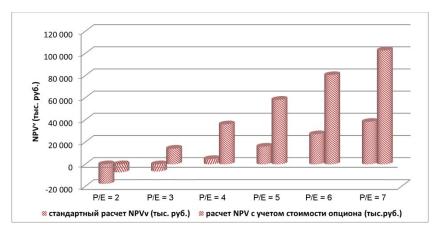
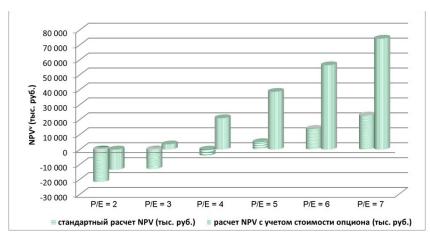
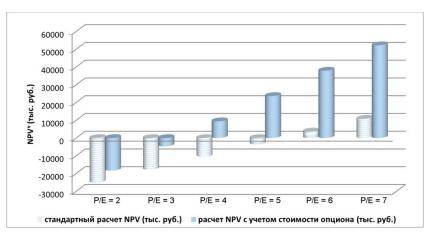


Рис. 8.10. Результаты расчета чистого приведенного дохода венчурного фонда при ставке дисконтирования 30%

*Источник*: результаты расчетов авторов на основе финансовой модели инновационного проекта по производству парфюмернокосметической продукции.

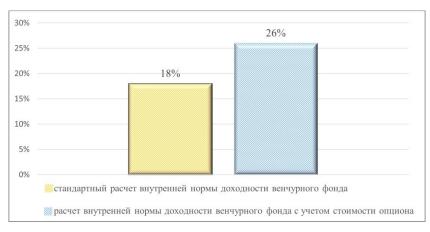


*Puc.* 8.11. Результаты расчета чистого приведенного дохода венчурного фонда при ставке дисконтирования 35%

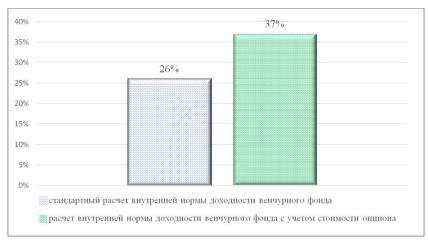


*Рис.* 8.12. Результаты расчета чистого приведенного дохода венчурного фонда при ставке дисконтирования 40%

*Источник*: результаты расчетов авторов на основе финансовой модели инновационного проекта по производству парфюмернокосметической продукции

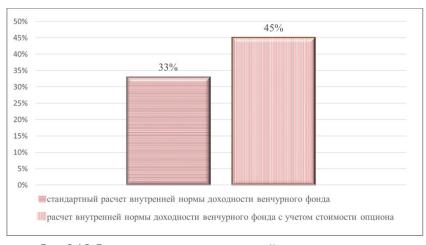


 $Puc.\ 8.13.\$ Результаты расчета внутренней нормы доходности венчурного фонда при значении показателя P/E=2

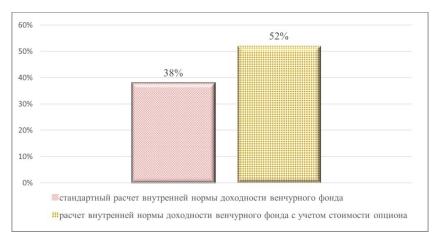


Puc.~8.14.~ Результаты расчета внутренней нормы доходности венчурного фонда при значении показателя P/E=3

*Источник*: результаты расчетов авторов на основе финансовой модели инновационного проекта по производству парфюмернокосметической продукции.



 $Puc.\ 8.15.$  Результаты расчета внутренней нормы доходности венчурного фонда при значении показателя P/E=4



Puc. 8.16. Результаты расчета внутренней нормы доходности венчурного фонда при значении показателя P/E=5

*Источник*: результаты расчетов авторов на основе финансовой модели инновационного проекта по производству парфюмернокосметической продукции.

На основе проведенных нами расчетов по оценке коммерческой эффективности инновационного проекта по разработке и организации производства парфюмерно-косметической продукции на основе соединений германия можно сделать следующие выводы. В большинстве выполненных нами вариантных расчетах на основе классического метода NPV чистый приведенный доход венчурного фонда принимает отрицательные значения, а полученные значения внутренней нормы доходности меньше 20%, иными словами, меньше нижней границы ставки дисконтирования венчурного фонда.

Таким образом, согласно классическому расчету при действительно «венчурных» условиях анализируемый нами инновационный проект по производству парфюмерно-косметической продукции, скорее всего, не будет профинансирован венчурным фондом. Однако если составной опцион колл на поэтапное финансирование, содержащейся в проекте, будет принят во внимание при оценке его коммерческой эффективности, в большинстве вариантов расчетов стоимость проекта станет положительной. Рассмат-

риваемый инновационный проект становится эффективным с позиции венчурного фонда, может быть одобрен его инвестиционным комитетом, и компания-инициатор проекта получит финансовые ресурсы на его реализацию.

Применение метода реальных опционов в оценке финансовой эффективности инновационных проектов позволяет дать количественное обоснование целесообразности финансирования этих проектов даже при получении отрицательных значений их стоимости классическим методом дисконтированных денежных потоков. У венчурных фондов появляется возможность получать более точные оценки высокорисковых инновационных проектов и принимать более взвешенные, количественно обоснованные решения по инвестированию в те или иные стратегические проекты, обладающие существенным потенциалом и имеющие важное народнохозяйственное значение.

Результаты проведенного исследования, а также полученные в данной статье выводы и рекомендации могут применяться венчурными фондами в практике их работы при оценке и отборе инновационных проектов для финансирования, имеющих важное народнохозяйственное значение и обеспечивающих импортозамещение в промышленности. Полученные результаты могут использоваться органами власти при разработке программ развития венчурного финансирования иннований в России.

## Литература к главе 8

- 1. Обзор российского рынка венчурных инвестиций. VentureRussia. 2021. Российская ассоциация венчурного инвестирования. 2022. URL: http://www.rvca.ru/upload/files/lib/RVCA-yearbook-2021-Russian-PE-and-VC-market-review-ru.pdf.
- 2. Венчурные инвестиции в Китае. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F.
- 3. Баев И.А., Алябушев Д.Б. Экономическая оценка инновационных проектов по методу реальных опционов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2010. № 39, вып. 16. С. 25 31.
- 4. Круковский А.А. Использование модели реальных опционов для управления инновационными проектами и оценки соответствую-

- щих инвестиций: автореф. дис. ... канд. экон. наук. М., 2009.  $29 \, \mathrm{c}$
- Салихов М.Р. Использование методологии реальных опционов для оценки эффективности инвестиций в инновационные проекты // Инновации. – 2007. – № 9. – С. 97–100.
- Botteron P., Casanova J.-F. Start-ups Defined as Portfolios of Embedded Options // FAME – International Center for Financial Asset Management and Engineering. – 2003. – Research Paper № 85. – P. 1–14.
- 7. Hsu Y.-W. Staging of Venture Capital Investment: A Real Options Analysis [Электронный ресурс] // EFMA 2002 London Meetings. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\_id=312012 (дата обращения: 07.02.2022).
- 8. Huixia Z., Tao Y. Venture Capital Decision Model based on Real Option and Investor Behavior // Economics and Management School. Wuhan University, China. 2007. P. 221–225.
- 9. Li Y. Duration analysis of venture capital staging: A real options perspective // Journal of Business Venturing. 2008. № 23. P. 497–512.
- 10. Li Y., Mahoney J.T. When are venture capital projects initiated? // Journal of Business Venturing. 2011. Vol. 26. P. 1–42.
- 11. Seppa T.J., Laamanen T. Valuation of venture capital investments: empirical evidence // R&D Management. 2001. № 31 (2). P. 215–230.
- 12. Vanhaverbeke W., Van de Vrande V., Chesbrough H. Understandings the Advantages of Open Innovation Practices in Corporate Venturing in Terms of Real Options // Creativity and Innovation Management. − 2008. Vol. 17. № 4. P. 251–258.
- 13. Баранов А.О., Музыко Е.И., Павлов В.Н. Оценка эффективности инновационных проектов с использованием опционного и нечеткомножественного подходов: монография. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2018. 336 с.
- 14. Обзор российского рынка венчурных инвестиций. Venture Russia 2020 СПб: РАВИ, 2020. 66 с.
- 15. Обзор рынка. Прямые и венчурные инвестиции в России. 2019. СПб: РАВИ, 2019. 86 с.
- 16. Управляющим компаниям / РВК [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.rvc.ru/investments/selection/ (дата обращения: 17.01.2022).
- 17. Исследование: половина московских стартапов не может найти инвестора / TACC, 2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://tass.ru/msp/11241913 (дата обращения: 25.01.2022).

- WJP Rule of Law Index / World Justice Project [Электронный ресурс].
   Режим доступа: https://worldjusticeproject.org/rule-of-law-index/ (дата обращения: 14.01.2022).
- 19. Стратегия развития рынка венчурных и прямых инвестиций в Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу до 2030 года / Российская венчурная компания [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.rvc.ru/investments/strategy (дата обращения: 10.02.2022).
- 20. Баранов А.О., Музыко Е.И.Оценка эффективности инновационного проекта в парфюмерно-косметической промышленности // Финансовый бизнес. 2021. № 10 (220). С. 181–185.
- 21. 21. Black F., Scholes M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities // Journal of Political Economy. 1973. № 81 (3). P. 637–659.
- 22. Geske R. The valuation of compound options // Journal of Financial Economics. 1979. № 7(1). P. 63 81.
- 23. Индекс МосБиржи инноваций [Электронный ресурс]. URL: https://www.moex.com/ru/index/MOEXINN/archive/?from=2010-01-10&till=2022-02-11&sort=TRADEDATE&order=desc (дата обращения: 11.02.2022).

#### Глава 9

#### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕЗОУРОВНЯ

# 9.1. Развитие и трансформация моделирования отраслевых подсистем ТЭК комплекса: эволюция, иерархия, тенденции

Исследования в области моделирования многоотраслевых комплексов, разработка прогнозов и планов развития различных подсистем проводятся с применением разных методик — от использования методов прямого счета, балансовых расчетов до развитого модельно-методического аппарата. Методологически правомерным представляется подход к оценке направлений развития топливно-энергетического комплекса с системных позиций, когда рассматривается вся совокупность условий производства, распределения и использования продукции. Адекватный инструментарий для отображения этой совокупности условий — система экономико-математических моделей различного типа и назначения.

Оптимизационные экономико-математические модели можно разделить по характеру переменных, используемых в моделях (непрерывные и дискретные), по числу уровней планирования (одно- и многоуровневые) и по способу учета динамики основных плановых показателей (статические, полудинамические и динамические). С точки зрения адекватного отражения особенностей отраслей ТЭК, как объекта оптимизации, разные типы экономикоматематических моделей имеют достоинства и недостатки. Стремление к наиболее полному отражению всех условий и факторов вступает в противоречие с объемом подготовки исходной информации и возможностями реализации.

Практика использования оптимизационных моделей развития, размещения и взаимодействия предприятий подотраслей ТЭК в ИЭОПП СО РАН имеет длительную историю [1–5]. Можно выделить два основных типа моделей: 1) постановка задачи развития многоотраслевого энергетического комплекса и 2) задачи развития отдельных отраслей ТЭК. В первом случае учитываются важнейшие внешние связи энергетики совместно с комплексом ее

внутренних взаимосвязей, в том числе в аспекте их производственно-территориальной составляющей. Во второй постановке происходит изолированное рассмотрение развития отдельной отрасли (в дальнейшем мы будем рассматривать угольную отрасль).

Впервые постановка задачи оптимизации отраслевой системы, включающей этапы добычи и транспортировки угля, была осуществлена в ИЭОПП совместно с ЦЭНИИ при Госплане РСФСР [1]. Она предусматривала построение двух моделей для разных уровней планирования — для страны (модель охватывала всю территорию страны при укрупненном представлении объектов планирования) и для отдельных бассейнов (модель описывала возможности развития входящих в бассейны угледобывающих предприятий).

В дальнейшем инструментарий совершенствовался, создавалась иерархичная система моделей, которая могла довольно гибко подстраиваться под изменяющиеся условия функционирования экономики.

Кроме учета моделей развития отдельной отрасли ТЭК в ИЭОПП СО РАН развивался подход, основанный на конструировании специализированных модельных комплексов, охватывающих все народное хозяйство, но с акцентом на отдельные аспекты развития [6-7]. К его основным особенностям относятся: формирование относительно замкнутых подсистем моделей сводного народнохозяйственного, отраслевого и территориального планирования. В рамках данного подхода разрабатывался проект СОНАР, охватывающий модели народнохозяйственного уровня (точечные и пространственные) и модели собственно отраслевых систем, ориентированный на исследование развития многоотраслевых комплексов в системе народного хозяйства, а также проблем моделирования внешних связей отраслевых систем. В модельном комплексе СОНАР-ТЭК (о чем выше в главах было детально изложено) моделью верхнего уровня является специализированная народнохозяйственная взаимосвязей модель энергетики ОМММ-ТЭК.

Модели отдельных отраслей энергетики являются элементами нижнего уровня системы СОНАР-ТЭК, и предназначены, вопервых, для конкретизации проблем, исследуемых на основе моделей верхнего уровня, во-вторых, для решения задач, возникающих на данном отраслевом уровне. В качестве отраслевых моделей в СОНАР-ТЭК ранее выступали: модель оптимизации территориально-производственной структуры ТЭК (разработанная в СЭИ), модель оптимизации баланса котельно-печного топлива (БКПТ), модель оптимизации углеводородного сырья (МОБУС) и модель оптимизации добычи и использования коксующихся углей (МОДИКУС).

Современная динамика развития ТЭК позволяет восстановить сферу применения оптимизационных моделей, благодаря имеющимся преимуществам сбалансированного, комплексного представления развития отраслей ТЭК. Все возрастающий интерес к проблемам долгосрочного прогнозирования обусловил повышенную потребность в адекватном инструментарии разработки экономических прогнозов, обеспечивающем более высокое качество таких прогнозов по сравнению с теми, которые могут дать методы, основанные на использовании лишь очень ограниченного круга показателей, простых эконометрических моделях или просто балансовом способе расчета.

Важным условием реалистичности разрабатываемого прогноза является возможность его отраслевой и пространственной разверстки, непротиворечивости (сбалансированности) отраслевых и региональных прогнозов, реалистичности каждого из последних. В условиях быстрого экономического роста влияние начинают оказывать такие факторы, как наличие и динамика ввода основных производственных мощностей, обеспеченность ресурсами, возможности роста производительности труда и изменений в технологиях производства.

В последние годы математический аппарат модифицировался, и в настоящее время в ИЭОПП СО РАН разработка прогнозов развития отраслей ТЭК, оптимизация территориально-производственной структуры ТЭК и ТЭБ осуществляется с помощью согласованной системы энергетических моделей, в которую входят:

- Энергетическая модель России (ЭМР),
- Модели перспективного развития ТЭК регионов (РТЭК),
- Отчетный и прогнозный топливно-энергетические балансы регионов  $(T\Im B)$ .

Их подробное содержание приведено в подразделах 9.2–9.4.

Энергетические модели мезоуровня информационно целесообразно увязывать с моделью народнохозяйственного уровня *ОМММ-ТЭК* для формирования ограничений по величинам потребления топлива и энергии и лимиту расхода народнохозяйственных ресурсов. Для обмена информацией между моделями разработаны переходные блоки, в которых объемы производства и потребления энергетической продукции, получаемые из модели *ОМММ-ТЭК* дезагрегируются по энергетическим объектам, районам размещения и видам энергетической продукции. С другой стороны, в переходных блоках с использованием детализированной информации, полученной в результате расчетов по *ЭМР* формируются натуральные и стоимостные показатели агрегированных региональных способов производства и потребления топлива, электро- и теплоэнергии для модели ОМММ-ТЭК.

Результаты решения по модели отраслевого уровня (ЭМР) частично могут напрямую передаваться в Модель развития ТЭК региона (РТЭК), а по остальной части необходимо их преобразование в переходном блоке до уровня детализации, достаточного для отражения региональных условий производства и потребления топлива и энергии.

### 9.2. Энергетическая модель России

Модель позволяет достаточно детально описывать производственные связи ТЭК. В первую очередь это относится к взаимосвязям между топливно-энергетическими отраслями и территориально сгруппированными (по районам) потребителями топлива и энергии. Учет этих связей обуславливает ярковыраженную блочную структуру модели. Она содержит три почти независимых блока (газовый, угольный и мазутный), а также блоки электроэнергетики и теплоснабжения. Все блоки дифференцированы по территориям и объединены матрицей удельных расходов топлива на производство электроэнергии и теплоэнергии. Кроме того, блоки связаны общими ограничениями на некоторые лимитированные ресурсы, например, капиталовложения или трудовые ресурсы.

Энергетическая модель рассматривает взаимосвязи топливноэнергетического комплекса с экономикой в целом и производственные связи внутри комплекса, а также учитывает пространственный аспект. При использовании модели рассчитывается перспективный план производства и потребление топлива и энергии,
как для федеральных округов РФ в целом, так и в разрезе субъектов Федерации, входящих в Сибирский федеральный округ, кроме
того учитывается несколько экспортных и импортных направлений поставок топлива.

Модель рассчитана на прогнозирование развития ТЭК регионов РФ на таком временном интервале, чтобы можно было оценивать эффективность проведения крупных и долговременных проектов.

Критериями оптимальности развития ТЭК могут приниматься, как минимизация суммарных приведенных затрат, так и максимизация прибыли. В модели учитывается производство и потребление 8 видов топливно-энергетических ресурсов: газ, антрацит, каменный уголь (рядовой, сортовой, отсевы), бурый уголь (рядовой, сортовой, отсевы), мазут топочный, прочие виды топлива, электроэнергия, теплоэнергия. Детализация производителей топлива предполагает выделение 25 узлов (66 месторождений) газ, уголь — 25 производителей, мазут — 20 НПЗ, электроэнергия и теплоэнергия — производители по районам АЭС, ГЭС, ТЭЦ, КЭС, котельные.

Все множество энергетических объектов делится на две группы: существующие на начало расчетного этапа и предполагаемые к строительству в течение рассматриваемого периода. Модель рассчитана на прогнозирование развития ТЭК регионов РФ на таком временном интервале, чтобы можно было оценивать эффективность проведения крупных и долговременных проектов. Крупные объекты включаются в задачу самостоятельными производственными способами в вариантном представлении. Отдельными способами представлены новые энергетические технологии с детализацией по типам технологий, ассортименту конечных продуктов. Настройка модели по оценке технологий связана с существенным расширением блоков переработки угля и использования топлива за счет введения переменных и ограниче-

ний, описывающих условия производства и потребления новых продуктов.

Перечень экзогенных параметров. Любой производственный способ описывается следующими показателями:

- выпуск основной продукции (электроэнергия для ГЭС, ТЭЦ и прочих генерирующих установок, теплоэнергия для ТЭЦ, котельных и прочих источников, уголь, нефть и прочие виды топлива для объектов топливной промышленности) в натуральном и стоимостном измерении;
- удельные расходы топлива по видам, а также электро- и теплоэнергии на функционирование объектов ТЭК;
- потребность в капитальных вложениях и трудовых ресурсах;
- текущие годовые издержки.

Для действующих объектов варианты различаются способом реконструкции, сроком и динамикой ее реализации. По намечаемым к строительству новым станциям могут быть рассмотрены варианты, различающиеся мощностью, используемым топливом и сроками ввода.

Рассматриваются два вида магистрального транспорта топлива: железнодорожный — для углепродуктов и топочного мазута и трубопроводный — для природного газа. Для железнодорожного транспорта предусматривается развозка топлива от топливных баз до условных центров экономических районов. Для трубопроводного транспорта предусмотрено подключение потребителей экономического района к разным точкам транспортной системы. Транспорт природного газа представлен сетью из действующих газопроводов и новых, к которым относятся строящиеся и предлагаемые к строительству газопроводы.

Каждый район представляется в виде совокупности категорий топливо-потребляющих установок. В зависимости от возможности использования различных видов котельно-печного топлива различают потребителей со взаимозаменяемым и невзаимозаменяемым топливом. Потребители, использующие невзаимозаменяемое топливо, группируются по виду топлива и в задаче представляются в виде обязательной потребности экономического района в соответствующих видах топлива. Потребители, использующие взаимозаменяемое топливо, в зависимости от возможно-

сти подключения к единой газоснабжающей системе делятся на расположенные в зоне газоснабжения и не в зоне газоснабжения.

В каждом районе потребители группируются по функциональному признаку — электростанции, котельные; топливоиспользующие установки коммунально-бытового и сельского хозяйства. Внутри каждой группы потребителей объединяются по таким показателям, как удельные приведенные затраты в топливоиспользование и коэффициент расхода топлива по сравнению с природным газом.

Все условия добычи, переработки, транспортировки и потребления энергоресурсов рассматриваются для одного года планируемого периода.

Рассматриваемая модель обеспечивает *проведение многова- риантных расчетов* при различных критериях и условиях, т.е. позволяет проводить расчеты по различным сценариям. Это особенно важно при прогнозировании на длительный период, так как в начале невозможно учесть в одном расчете все возможные изменения, которые могут возникнуть в процессе реализации плана. Модель позволяет оперативно проводить уточняющие расчеты по мере возникновения новых условий, т.е. реализовывать *процесс непрерывного планирования и корректировки* первоначальной траектории.

Перечень эндогенных показателей. При выполнении ограничений по ресурсам (возможности развития добычи и производства), по условиям транспортировки и потребности и при минимизации приведенных затрат на добычу (производство), переработку, транспортировку и использование топлива для всех субъектов Федерации по всем годам прогнозируемого периода определяются:

- объемы добычи (производства) различных энергоресурсов по отдельным месторождениям (пунктам, нефтеперерабатывающим заводам);
- объемы переработки различных видов топлива по отдельным пунктам;
- распределение энергоресурсов между отдельными экономическими районами с предварительным распределением их внутри районов между основными категориями потребителей;

- объемы и направления перевозок различных видов топлива магистральным железнодорожным транспортом, газопроводами, передача электроэнергии по линиям электропередачи (ЛЭП);
- рациональные виды топлива для тепловых электростанций и котельных, работающих на органическом топливе;
- объемы производства электроэнергии и теплоэнергии на новых, реконструируемых и действующих электростанциях и в котельных.

Основные параметры энергобаланса страны передаются как контрольные (целевые) показатели для задач нижнего уровня, где сценарии энергопотребления страны детализируются в территориальном разрезе и на их основе формируются прогнозы развития производственной базы отдельных отраслей ТЭК.

# 9.3. Модель перспективного развития ТЭК региона (РТЭК)

#### 9.3.1. Экономико-математическая постановка модели

В результате расчетов по модели ТЭК региона (в дальнейшем *РТЭК*) определяется стратегия формирования структуры прогнозного топливно-энергетического баланса региона с учетом собственных энергоресурсов и рациональных потоков топлива и энергии при минимизации совокупных приведенных затрат на добычу, переработку, перевозку и использование топлива, а также на производство и передачу электрической и тепловой энергии.

Расчеты по модели PTЭК позволяют решать следующие задачи:

- Определить рациональную структуру используемых энергоносителей.
- Определить экономически целесообразные пропорции между использованием собственных и привозных энергоресурсов.
- Определить рациональные масштабы развития объектов энергетики и объемы производства и преобразования всех видов ТЭР.

Модель  $PT\mathcal{I}K$  — оптимизационная, балансового типа, в квазидинамической постановке, с непрерывными переменными, что означает, что для каждого очередного этапа (продолжительностью 5 лет) решается статическая задача, но исходное состояние каждого последующего этапа принимается по результатам оптимизации предыдущего.

Модель разрабатывается для регионов на уровне субъекта РФ и выше. В региональной модели более детально по сравнению с Энергетической моделью России рассматриваются условия про-изводства топлива и энергии местными предприятиями. В модель введены также способы, описывающие производство топлива, электроэнергии и тепла на объектах нетрадиционной энергетики.

электроэнергии и тепла на объектах нетрадиционной энергетики. В модели выделяются следующие виды энергоносителей: энергетические угли (каменные, бурые и антрацит); природный и попутный газ; топочный мазут, моторное топливо, прочие виды топлива (торф, сланцы, дрова и др.), а также электрическая и тепловая энергия. Детализированно рассматриваются возможные поставщики топлива из-за пределов области. В качестве вариантов внешнего энергоснабжения рассматривается передача электроэнергии по ЛЭП из ОЭС других регионов.

Конечные потребители топлива и энергии представлены по классификации ОКВЭД, предусматривается выделение основных разделов ОКВЭД: Сельское хозяйство. Рыболовство, рыбоводство. Добыча полезных ископаемых. Обрабатывающие производства (с выделением отдельных производств). Производство и распределение газа и воды. Строительство. Транспорт. Связь. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг. Прочие виды деятельности, а также население, потери, запасы.

Модель используется в имитационном режиме, при рассмотрении различных сценарных условий изменения экзогенных параметров. В результате расчетов по модели определяется стратегия формирования структуры прогнозного топливно-энергетического баланса региона с учетом собственных энергоресурсов и рациональных потоков топлива и энергии при минимизации совокупных приведенных затрат на добычу, переработку, перевозку и использование топлива, а также на производство и передачу электрической и тепловой энергии.

Перечень экзогенных параметров:

- объемы потребности в топливе и энергии конечных потребителей по регионам;
- верхние и нижние границы на объемы выпуска основной продукции (электроэнергия для ГЭС, ТЭЦ и прочих генерирующих установок, теплоэнергия для ТЭЦ, котельных и прочих источников, уголь, нефть и прочие виды топлива для объектов топливной промышленности) в натуральном и стоимостном измерении;
- удельные расходы топлива по видам, а также электро- и теплоэнергии на функционирование объектов ТЭК;
- удельные капитальные вложения и трудоемкость по способам, описывающим производство топлива и энергии по регионам;
- верхние и нижние границы на объемы поставок и использования энергоресурсов;
- текущие издержки на производство, транспортировку и использование топлива и энергии.

Все множество энергетических объектов делится на две группы: существующие на начало расчетного этапа и предполагаемые к строительству в течение рассматриваемого периода. Крупные объекты включаются в задачу самостоятельными производственными способами в вариантном представлении.

Модель дает возможность учесть капитальные вложения на строительство новых и реконструкцию действующих мощностей (ТЭС, котельные), строительство ЛЭП (для поставки недостающей электроэнергии), а также на сооружение дополнительно-необходимой газораспределительной сети от магистрального газопровода до пункта потребления газа (компрессорные станции и линейные участки).

Для переменных, описывающих поступление электроэнергии и топлива из-за пределов области, задаются верхние ограничения на объем поставок, а текущие затраты определяются по формуле цены  $\text{СИ}\Phi$  (цена производителя плюс транспортные расходы).

Структура модели РТЭК. Модель состоит из четырех блоков и функционала. Первый блок включает производство первичных энергоресурсов, ввоз и вывоз энергоресусов и изменение запасов.

Второй блок описывает преобразование одних энергоресурсов в другие, в нем определяется топливный баланс электро- и теплоэнергетики. Третий блок отражает конечное потребление энергоносителей в различных секторах экономики и по видам экономической деятельности. В четвертом блоке производится расчет экономических показателей, характеризирующих развитие ТЭК региона (например, требуемый объем инвестиций, объем товарной продукции, численность занятых и фонд заработной платы, размеры отчислений в бюджеты различных уровней и др.).

Общая схема данной модели представлена на рис. 9.1.

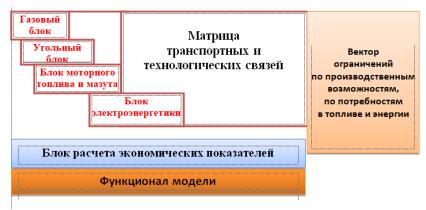


Рис. 9.1 Структура модели РТЭК

Критериями оптимальности развития ТЭК могут приниматься как минимизация суммарных приведенных затрат, так и максимизация прибыли.

Модель формируется по этапам расчетного периода как квазидинамическая, для каждого очередного этапа (продолжительностью 5 лет) решается статическая задача, при этом исходное состояние каждого последующего этапа принимается по результатам оптимизации предыдущего. Модель используется в имитационном режиме, при рассмотрении различных сценарных условий изменения экзогенных параметров.

В результате расчетов для рассматриваемого региона по всем годам прогнозируемого периода определяются следующие эндогенные показатели:

- объемы добычи (производства) различных энергоресурсов по отдельным месторождениям (пунктам, нефтеперерабатывающим заводам);
- объемы переработки различных видов топлива по отдельным пунктам;
- распределение энергоресурсов между основными категориями потребителей;
- объемы и направления поставок различных видов топлива магистральным железнодорожным транспортом, газопроводами, передача электроэнергии по линиям электропередачи (ЛЭП);
- рациональные виды топлива для тепловых электростанций и котельных, работающих на органическом топливе;
- объемы производства электроэнергии и теплоэнергии на новых, реконструируемых и действующих электростанциях и в котельных.

#### 9.3.2. Математическая запись модели РТЭК

Введем обозначения:

i — индекс вида угля;

I — множество индексов видов угля;

j — индекс месторождения угля;

J – множество индексов месторождений угля;

l – индекс нефтеперерабатывающего завода;

L- множество индексов нефтеперерабатывающих заводов;

 $p, p^{l}$  – индексы перерабатывающих узлов сети газопроводов;

P — множество индексов перерабатывающих узлов сетей газопроводов;

k – индекс района;

K – множество индексов районов;

q — индекс конечного узла сети газопроводов;

 $Q_k$  – множество индексов конечных узлов сети газопроводов в районе;

r – индекс способа добычи (производства) топлива;

 $R_{j}$  — множество индексов способов добычи угля на j-м месторождении;

- $R_p$  множество индексов способов добычи газа на месторождениях, прилегающих к p -му узлу сети газопроводов;
- $R_l$  множество индексов способов производства мазута на l-м перерабатывающем заводе;
- $R_k$  множество индексов способов производства прочего топлива в k-м районе;
  - t индекс способа переработки угля;
- $T_i$  множество индексов способов переработки угля на месторождении j;
  - n индекс категории потребления;
  - $N_k$  множество индексов категорий потребления в районах;
- $N_k^1$  подмножество индексов потребителей топлива в районе k; производящих электроэнергию и тепло;
- S-индекс способа передачи газа по сети газопровода;  $S_{pp}{}^{l}$ ,  $S_{pq}-$  множество индексов способов передачи газа по сети газопровода от узла  $pp^{l}$  к узлу pq;
- $\alpha_{ii}^{t}$  коэффициент выхода сортового угля при переработке способом t угля i -го вида месторождения j;
- $oldsymbol{eta}_{ii}^{t}$  коэффициент выхода отсева угля при переработке способом t угля i -го вида месторождения j;
- $\gamma^y_{ii}$ ,  $\gamma^{yc}_{ii}$  коэффициент перевода в условное топливо соответственно рядового и сортового угля i-го вида j месторождения;
- $\gamma_l^{\scriptscriptstyle{M}}$  коэффициент перевода в условное топливо мазута l-го завода:
- $\lambda_{in}^y$  ,  $\lambda_{in}^{yc}$  ,  $\lambda_n^{M}$  ,  $\lambda_n^{N}$  коэффициенты эффективности использования потребителем по сравнению с газом соответственно рядового и сортового угля вида i, мазута и прочего топлива;
- $b_{nk}^{\circ}, b_{nk}^{men}$  коэффициенты выработки из 1 т. условного топлива соответственно электроэнергии и тепла на объекте n в регионе k;
- $A_{ii}^{yr}$  максимально допустимый объем добычи угля вида i на месторождении j по способу r;
- $B_{ii}^{t}$  максимально допустимый объем переработки угля вида i на месторождении j по способу m;

- $A_p^{\it er}$  максимально допустимый объем добычи газа на месторождениях, примыкающих к узлу газопровода p, по способу r;
- $B_l^{{}_{M\!r}}$  максимально допустимый объем производства мазута на нефтеперерабатывающем заводе l по способу r;
- $A_k^\varepsilon$  максимально допустимый объем добычи местного газа в районе k;
- $A_k^{nr}$  максимально допустимый объем производства прочего топлива в районе k по способу r;
- $T_{pq}^{\it es},\ T_{\it pp^1}^{\it es}$  максимально допустимый объем передачи газа от узла газопровода  $\it pp^1$  до узла  $\it pq$  по способу  $\it s$ ;
- $\Pi_{nk}$  потребность в топливе (в газовой норме) потребителя n в районе k;
- $C_{ij}^{yr}$  удельные приведенные затраты на добычу угля вида i на месторождении j по способу r;
- $C_{ij}^{t}$  удельные приведенные затраты на переработку угля вида i на месторождении j по способу t;
- $C_p^{\mbox{\tiny\it er}}$  удельные приведенные затраты на добычу газа p в узле по способу r;
- $C_l^{Mr}$  удельные приведенные затраты на производство мазута на нефтеперерабатывающем заводе l по способу r;
- $C_k^{nr}$  удельные приведенные затраты на производство прочего топлива в районе k по способу r;
- $C_k^{\varepsilon}$  удельные приведенные затраты на добычу местного газа в районе k;
- $C_{ijk}^{y}$ ,  $C_{ijk}^{yc}$  удельные приведенные затраты на транспортировку соответственно рядового и сортового угля вида i от месторождения j до района k;
- $C_{lk}^{M}$  удельные приведенные затраты на перевозку мазута от нефтеперерабатывающего завода l до района k;

 $C_{pp^1}^{ss}$ ,  $C_{pq}^{ss}$  — удельные приведенные затраты на передачу газа от узла  $pp^l$  до узла pq по способу s;

 $d_{ink}^{y} d_{ink}^{yc} d_{nk}^{M} d_{nk}^{\varepsilon} d_{nk}^{n}$  — удельные приведенные затраты на использование соответственно рядового и сортового угля вида i, мазута, газа и прочего топлива потребителем n в районе k;

 $d_{nk}$  — удельные приведенные затраты на производство электроэнергии и тепла (без топливной составляющей) на объекте n в районе k;

Переменными в данной задаче являются:

 $X_{ij}^{\ yr}$  — объем добычи угля вида i на месторождении j по способу r;

 $Y_{ij}^{t}$  — объем добычи угля вида i на месторождении j по способу t;

 $Y_l^{{}^{M\!r}}-$  объем производства мазута на нефтеперерабатывающем заводе l по способу r;

 $X_{p}^{zr}$  – объем добычи газа в узле p по способу r;

 $X_k^{\mathit{nr}}$  – объем производства прочего топлива в районе k по способу r;

 $X_{\nu}^{c}$  – объем добычи местного газа в районе k;

 $Z_{ijk}^{y} Z_{ijk}^{yc} Z_{ijk}^{yo}$  – объемы перевозки соответственно угля рядового, сортового и отсев вида i от месторождения j до района k;

 $Z_{p^1p}^{zs}$   $Z_{pq}^z$  — объемы передачи газа от узла  $pp^I$  до узла pq по способу s;

 $Z_{lk}^{M}$  — объем перевозки мазута от нефтеперерабатывающего завода l до района k;

 $Z_{vk}^{\mathfrak{I}} \ Z_{vl}^{\mathfrak{I}}$  – объем поставки электроэнергии из района в район;

 $U_{ink}^{y}U_{ink}^{yc}U_{nk}^{M}U_{nk}^{z}U_{nk}^{n}$  — объем использования соответственно рядового и сортового угля вида i, мазута газа и прочего топлива потребителей n в районе k;

В принятых обозначениях модель рассматриваемой задачи записывается следующим образом (9.1–9.24):

Найти неотрицательные значения переменных:

$$\begin{split} X_{ij}^{yr}, X_{p}^{er}, \ Y_{ij}^{t}, \ Y_{l}^{mr}, \ X_{k}^{nr}, \ X_{k}^{e}, \ Z_{ijk}^{y}, \ Z_{ijk}^{yc}, \ Z_{ijk}^{yo}, \ Z_{p^{1}p}^{es}, \ Z_{pq}^{e}, \\ Z_{lk}^{m}, U_{ink}^{y}, U_{ink}^{yc}, U_{nk}^{m}, U_{nk}^{e}, U_{nk}^{n}, \end{split}$$

образующих план добычи, производства, переработки, поставки и использования топлива, согласно которому выполняются условия:

$$\sum_{r \in R_{j}} X_{ij}^{yr} - \sum_{m \in M_{j}} Y_{ij}^{t} - \sum_{k \in K} Z_{ijk}^{y} = 0, \quad i \in I, j \in J$$
(9.1)

- баланс добычи и распределения рядового угля вида i на месторождении j;

$$\sum_{t \in T_j} \alpha_{ij}^t Y_{ij}^t - \sum_{k \in K} Z_{ijk}^y = 0, \quad i \in I, j \in J$$
 (9.2)

— баланс распределения сортового угля вида i на месторождении j;

$$\sum_{t \in T_i} \beta_{ij}^t Y_{ij}^t - \sum_{k \in K} Z_{ijk}^{yc} = 0, \qquad i \in I, j \in J$$
(9.3)

- баланс распределения отсевов угля вида i на месторождении j;

$$\sum_{r \in R_{p}} X_{p}^{zr} + \sum_{p^{1} \in P} \sum_{s \in S_{pp^{1}}} Z_{pp^{1}}^{zs} - \sum_{p^{1} \in P} \sum_{s \in S_{pp^{1}}} Z_{pp^{1}}^{zs} - \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q} \sum_{s \in S_{pq}} Z_{pq}^{zs} = 0,$$

$$p \in P$$
(9.4)

 баланс газа в перераспределительных узлах сети газопроводов;

$$\sum_{r \in R_j} Y_l^{Mr} - \sum_{k \in K} Z_{lk}^{M} = 0, \qquad l \in L$$
 (9.5)

- баланс производства и распределения мазута на нефтеперерабатывающем заводе l;

$$\sum_{j \in J} \gamma_{ij}^{y} \left( Z_{ijk}^{y} + Z_{ijk}^{yo} \right) - \sum_{n \in N_{k}} U_{ink}^{y} = 0, \ i \in I, k \in K$$
 (9.6)

— баланс использования рядового и отсевов угля вида i в районе k;

$$\sum_{j \in J} \gamma_{ij}^{yc} Z_{ijk}^{yc} - \sum_{n \in N_k} U_{ink}^{yc} = 0, \ i \in I, k \in K$$
(9.7)

— баланс использования сортового угля вида i в районе k;

$$\sum_{l \in L} \gamma_l^{M} Z_{l_k}^{M} - \sum_{n \in N_k} U_{nk}^{M} = 0, \ k \in K$$
(9.8)

- баланс использования мазута в районе k;

$$\sum_{p \in P_q} \sum_{q \in Q_k} \sum_{s \in S_{pq}} Z_{pq}^{cs} + X_k^c - \sum_{n \in N_k} U_{nk}^c = 0, \ k \in K$$
(9.9)

- баланс использования газа в районе k;

$$\sum_{r \in R_k^n} X_k^{nr} - \sum_{n \in N_k} U_{nk}^n = 0, \ k \in K$$
(9.10)

- баланс использования прочего топлива в районе k;

$$\lambda_{in}^{y} U_{ink}^{y} + \lambda_{in}^{yc} U_{ink}^{yc} + \lambda_{n}^{M} U_{nk}^{M} + \lambda_{n}^{N} U_{nk}^{M} + \lambda_{n}^{p} U_{nk}^{R} + \lambda_{n}^{p} U_{nk}^{e} \ge \Pi_{nk}$$
(9.11)

— условие удовлетворения потребности в топливе потребителя n в районе k;

$$\lambda_{in}^{y}U_{ink}^{y} + \lambda_{in}^{yc}U_{ink}^{yc} + \lambda_{n}^{M}U_{nk}^{M} + \lambda_{n}^{n}U_{nk}^{n} + \lambda_{n}^{c}U_{nk}^{c} - U_{nk} = 0,$$

$$n \in \mathbb{N}_{k}^{1}, k \in K$$

$$(9.12)$$

– условие удовлетворения потребности в топливе объектов n, производящих электроэнергию и тепло в районе k;

$$-Z_{kv}^{\mathfrak{I}} + \sum_{n \in N_k^1} b_{nk}^{\mathfrak{I}} U_{nk} \ge 0 \tag{9.13}$$

- объем вывоза электроэнергии из района k в район v не превышает объем производимой электроэнергии в районе k

$$Z_{vk}^{\mathfrak{I}} - Z_{kv}^{\mathfrak{I}} + \sum_{n \in N_{k}^{\mathfrak{I}}} b_{nk}^{\mathfrak{I}} U_{nk} \ge \Pi_{k}^{\mathfrak{I}}$$
(9.14)

- условие удовлетворения потребности в электроэнергии в районе k;

$$\sum_{n \in N_k^1} b_{nk}^{men} U_{nk} \ge \Pi_k^{men} \tag{9.15}$$

- условие удовлетворения потребности в тепле в районе k; Ограничения на отдельные переменные:

на объемы добычи угля

$$X_{ij}^{yr} \le A_{ij}^{yr}, i \in I, j \in J, r \in R$$
 (9.16)

> на объемы переработки угля

$$Y_{ij}^{t} \le B_{ij}^{t}, i \in I, j \in J, m \in M_{j}$$
 (9.17)

на объемы добычи газа

$$X_p^{2r} \le A_p^{2r}, \ p \in P, r \in R_p$$
 (9.18)

> на объемы производства мазута

$$Y_l^{Mr} \le B_l^{Mr}, \ l \in L, r \in R_l$$
 (9.19)

> на объемы добычи местного газа

$$X_k^2 \le A_k^2, \ k \in K \tag{9.20}$$

> на объемы производства прочего топлива

$$X_k^{nr} \le A_k^{nr}, \ k \in K, r \in R_k$$
 (9.21)

на объемы передачи газа

$$Z_{pp^{1}}^{zs} \le T_{pp^{1}}^{zs}, \ p^{1} \in P, p \in P, s \in S_{pp^{1}}$$
 (9.22)

$$Z_{pq}^{2S} \le T_{pq}^{2S}, k \in K, p \in P, q \in Q_k, s \in S_{pq}$$
 (9.23)

Целевая функция задачи записывается по формуле:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R_{j}} C_{ij}^{yr} X_{ij}^{yr} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T_{j}} C_{ij}^{t} Y_{ij}^{t} + \sum_{l \in L} \sum_{r \in R_{j}} C_{l}^{Mr} Y_{l}^{Mr} + \\
+ \sum_{k \in K} \sum_{r \in R_{k}} C_{k}^{nr} X_{k}^{nr} + \sum_{p \in P} \sum_{r \in R_{p}} C_{p}^{rr} X_{p}^{2r} + \sum_{k \in K} C_{k}^{z} X_{k}^{z} + \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} C_{lk}^{M} Z_{lk}^{M} + \\
+ \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{ijk}^{y} \left( Z_{ijk}^{y} + Z_{ijk}^{yo} \right) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{ijk}^{yc} Z_{ijk}^{yc} + \sum_{p \in P} \sum_{p^{1} \in Ps \in S_{pp^{1}}} \sum_{k \in K} C_{pp^{1}}^{xc} X_{pp^{1}}^{cr} + \\
+ \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q_{k}} \sum_{s \in S_{pq}} C_{pq}^{cs} Z_{pq}^{cs} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{ink}^{y} U_{ink}^{y} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{ink}^{y} U_{ink}^{yc} + \\
+ \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{M} U_{nk}^{M} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{n} U_{nk}^{n} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{z} U_{nk}^{z} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \\
+ \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{M} U_{nk}^{M} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{n} U_{nk}^{n} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{z} U_{nk}^{z} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \\
+ \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{M} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{n} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{y} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{yc} U_{nk}^{yc} + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_{k}} d_{nk}^{yc} U_{nk}^{yc} + \sum$$

# 9.4. Модели регионального топливно-энергетического баланса

Топливно-энергетические балансы описывают следующие энергетические потоки на территории региона:

- поступающие первичные энергоресурсы (топливо или энергия),
- преобразованные в конечные для потребления,
- транспортировка,
- потери на стадиях преобразования, транспортировки, потребления,
- конечное потребление энергоресурсов.

Отичетный топливно-энергетический баланс региона (РТЭБ) — база оперативного мониторинга и оперативного принятия решений, обеспечивающих нормальное функционирование подсистем региональной экономики, задействованных в процесс энергопроизводства и энергопотребления. Анализ отчетных балансов позволяет выявить тенденции, узкие места обеспечения энергобезо-

пасности региона, задает ориентиры для верификации данных последующих балансов.

*Ответный РТЭБ* позволяет проводить анализ и делать заключение по следующим направлениям:

- формированию рациональной структуры топливноэнергетического баланса региона;
- объемам (энергетическим потокам) поступления и преобразования и направлениям движения и распределения по видам топлива и преобразованным энергоресурсам;
- объемам потребления как первичных, так и преобразованных энергоресурсов различными группами потребителей (энергетическими предприятиями, отраслями экономики, населением и др.),
- потерям в энергетическом секторе и при конечном потреблении того или другого энергоресурса,
- энергетической эффективности использования энергоресурсов.

Прогнозные топливно-энергетические балансы являются инструментом прогнозирования и планирования развития предприятий топливно-энергетического комплекса региона и отдельных сфер энергопотребления, опережающего выявления энергетических угроз и оценки эффективности путей их преодоления [6–9]. Составление прогнозных ТЭБ связано с прогнозированием развития региональной экономики, что предполагает использование для исследования возможных вариантов развития экономикоматематических моделей. Прогнозы потребности в энергетических ресурсах для различных групп потребителей на перспективу представляют интерес как для энергоснабжающих организаций при решении ими задач планирования производства, так и для администраций регионов при формировании ими статей бюджета, относимых на оплату потребления энергетических ресурсов бюджетными организациями.

Данная модель – балансового типа, в статической постановке, с непрерывными переменными.

Отраслевая и региональная номенклатура. РТЭБ имеет вид таблицы, состоящей из строк (статьи приходной и расходной частей) и столбцов (виды топлива и энергии). Структура баланса приведена в табл. 9.1.

Структура регионального топливно-энергетического оаланса									
		Твердое топливо	Нефть	Нефтепродукты	Газ	Гидроэнергия и НВЭИ	Электроэнергия	Теплоэнергия	Всего
Приход- ный блок	Производство первичных ТЭР/добыча								
	Ввоз ТЭР								
	Вывоз ТЭР								
	Изменение запасов								
Блок пре- образо- вания	Переработка топлива								
	Производство электроэнергии								
	Производство теплоэнергии								
	Потери								
	Собственные нужды энергетического сектора								
Блок ко- нечного потреб- ления	Сектор 1								
	Сектор N								

Модель разрабатывается для регионов на уровне — субъекта  $P\Phi$  и выше. PTЭБ могут быть различной отраслевой детализации, так российская статистика ежегодно представляет «Баланс энергоресурсов страны», в котором выделяется 9 групп и отдельных энергоносителей. Конечные потребители топлива и энергии так-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> В модели отчетного *РТЭБ* региона обычно рассматривается следующая номенклатура энергоносителей: Твердое топливо: Уголь (каменный, антрацит и бурый), Торф топливный, Дрова для отопления, а также продукты переработки углей – Угольный концентрат, Кокс и Прочие виды твердого топлива. Нефть: Сырая нефть и газовый конденсат. Нефтепродукты: Мазут, Топливо дизельное, Печное бытовое, Бензин автомобильный, Бензин авиационный, Керосин и Прочие нефтепродукты. Газ: Природный газ, Сжиженный газ и Газ искусственный. Электроэнергия: Атомная энергия, Гидроэнергия и Электроэнергия, производимая на тепловых электростанциях. Тепловая энергия.

же, как и в модели ТЭК региона, могут быть представлены по классификации ОКВЭД.  $^{1}$ 

Структура модели включает в себя три блока:

- приход топливно-энергетических ресурсов (ТЭР): собственное производство, поступление, отпуск другим организациям, изменение запасов.
- трансформация и энергетический сектор: выработка электроэнергии на ГЭС, АЭС, ТЭС; производство тепла на ТЭС; производство тепла в котельных и на прочих установках; переработка угля; нефтепереработка; газопереработка; собственные нужды и потери при распределении;
- конечное потребление по видам экономической деятельности.

Объемы заносятся в натуральных единицах измерения (тоннах, кубометрах, ГВт-ч и Гкал). На основе этих данных с использованием соответствующих тепловых эквивалентов для различных энергоносителей автоматически заполняется таблица РТЭБ такой же структуры строк и столбцов, измеренная в тоннах условного топлива.

В целом эффективность использования ТЭР в регионе определяется как отношение конечного потребления энергоресурсов к суммарному объему энергоресурсов, поступивших для внутреннего потребления.

Прогнозный топливно-энергетический баланс строится на основе отчетного баланса в той же или более агрегированной структуре показателей с учетом (обоснованием) величины отклонений и внесением корректив на прогнозный период.

Все направления расхода топлива и энергии характеризуются однократным и безвозвратным потреблением. В направлениях расхода энергии отсутствуют сырьевые направления ее расхода и использование в качестве материала.

На основе отчетного *РТЭБ* определяются абсолютные пока-

На основе отчетного *РТЭБ* определяются абсолютные показатели объемов: собственное производство энергоресурсов, их поступление, отпуск другим организациям, изменение запасов;

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> По видам экономической деятельности выделяются такие потребители как: Сельское хозяйство. Рыболовство, рыбоводство. Добыча полезных ископаемых. Обрабатывающие производства (с выделением тех производств, которые развиты в данном регионе и характеризуются значительной энерготопливоемкостью). Производство и распределение газа и воды. Строительство. Транспорт. Связь. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг. Прочие виды деятельности. Население. Потери. Запасы.

выработка электроэнергии на ГЭС, ТЭС; производство тепла на ТЭС; производство тепла в котельных и на прочих установках; переработка угля; собственные нужды и потери энергии при распределении, а также конечное потребление топлива и энергии по отраслям экономики. Кроме того, могут быть рассчитаны удельные характеристики расхода топлива на выработку электро- и теплоэнергии на тепловых станциях и котельных.

Формирование и оценка параметров модели ЕТЭБ. При моделировании спроса на потребление ТЭР, строятся функции для каждого сектора. Они зависят от цен и тарифов на энергоносители, от климатических условий, от развития НТП, от экономической активности региона [6–10].

В модели ЕТЭБ используется следующий подход к прогнозированию спроса на энергию: для любого сектора потребления энергии:

$$E_{it} = \sum_{j} Eijt = \sum_{j} e_{it} * Y_{ijt}; (9.25)$$

$$e_{it} = \frac{\sum_{j} e_{ijt} * Y_{ijt}}{\sum_{j} Y_{ijt}};$$
 (9.26)

где:  $E_{ijt}$  и  $e_{ijt}$  – абсолютное и удельное потребление энергии на производство j-го продукта или услуги в i-м секторе в момент времени t;

 $Y_{ijt}$  — производство j-го продукта или услуги в i-м секторе в момент времени t.

В этом случае динамика параметров экономической активности  $Y_{ijt}$  задается в явном виде, а моделируется (и затем прогнозируется) динамика  $e_{ijt}$ . В модели ЕТЭБ оценка параметров этой зависимости осуществляется для следующего выражения:

$$E_{it} = Y_{it} * e_{it}; e_{it} = Te_{it} * e_{it-1};$$
(9.27)

$$Te_{it} = ATP_t + a * Tu_t + b * T_{inc} + c * Tp_t + d * Tcl_t;$$

где:  $Te_{jt}$  – темп изменения энергоемкости;

 $ATP_t$  — темп снижения энергоемкости за счет автономного НТП (не зависящего от изменения цен на энергию) и реализации региональных программ энергосбережения;

 $Tu_t$  – темп изменения загрузки производственных мощностей (равен 0 при достижении полной загрузки, а при приближении к ней меняется мало, практически не оказывая влияния на динамику энергоемкости);

 $T_{inc}$  — темп прироста реальных доходов населения (используется для описания потребления энергии населением, где в качестве параметра экономической активности используется жилая площадь);

 $Tp_t$  – темп изменения средневзвешенной цены на все энергоносители в данном секторе, скорректированной на индекс цен продукции данного сектора. Может использоваться запаздывающее значение цены для отражения запаздывания между ростом цены и реакцией потребителей;

 $Tcl_t$  — темп изменения суммы числа градусо-суток отопительного периода и периода кондиционирования.

Диапазон параметров a,b,c,d рассмотрен в работах [6-10]. При оценке коэффициентов эластичности a, b, c и d для каждого сектора и для каждого фактора задается узкий диапазон их возможных «базовых» значений.

Оценка параметров функций спроса на отдельные энергоносители по секторам потребления. В данной модели прогноз конечного спроса в каждом секторе, топливного баланса и энергобаланса определяется следующим образом: определяется доля каждого энергоносителя в каждом секторе:

$$d_{ijt}^{*} = d_{ij0} * \{ (y_t / y_o)^{aij} * [(p_{ijt} / p_{it}) / (p_{ijo} / p_{io})]^{bij} \};$$

$$d_{ijt} = d_{ijt}^{*} / \sum_{j} d_{ijt}^{*};$$
(9.28)

где:

 $d_{ijt}$  и  $d_{ijo}$  — доли в *i*-м секторе *j-го* энергоносителя при t=t,0; — эта часть выражения (9.28) помогает нормировать так, чтобы сумма долей равнялась единице;

 $y_t$  и  $y_o$  — средний доход на душу населения при t=t,0;

 $a_{ij}$  — параметр эластичности спроса по доходу на j-й энергоноситель в i-м секторе при t=t,0;

 $p_{ijt}$  и  $p_{ijo}$  — цена j-го энергоносителя в i-м секторе экономи-ки при t=t,0;

 $p_{jt}$  и  $p_{io}$  — средняя цена всех энергоносителей в i-м секторе экономики при t=t,0;

 $b_{ij}$  — коэффициент эластичности спроса по цене на энергоресурс, где j — энергоноситель, а i — сектора.

Выражение (9.28) учитывает влияние основных принципов развития и изменения структуры энергобаланса:

- изменение доли качественных энергоносителей по мере изменения уровня экономического развития (коэффициент эластичности  $a_{ij}$ );
- существование межтопливной ценовой борьбы среди отдельных видов энергоресурсов (параметр эластичности  $b_{ij}$ ).

Положительные коэффициенты *а* указывают, например, на развитие газификации, электрификации, а отрицательные — на сокращение потребления жидкого топлива.

Выражение (9.28) показывает, что при уменьшении или увеличении тарифа на любой энергоноситель, потребление энергии может также увеличиваться или уменьшаться. Изменения больше при высокой долт такого энергоносителя и высоком значении параметра  $b_{ij}$  по модулю.

Для калибровки параметров зависимости (9.28) нужна информация о изменении цен на энергоносители в течение нескольких лет в каждом секторе экономики, реальные цены (т.е. индексы цен) и информация о долях энергоносителей. Если цена меняется, то меняется и средняя цена на энергию конкретного сектора, что влечет за собой изменения доли энергоносителя в данном секторе. Получается, что чем выше по модулю параметр *b*, тем в этих секторах проще заменить одно топливо на другое.

Параметры a и b оцениваются на основе информации из отчетных балансов ЕТЭБ с «методом настройки». Использование в этих целях регрессионного анализа затруднительно из-за небольшой выборки. С помощью МНК (минимазация среднеквадратических отклонений расчетных значений от фактических) получится достаточно точно описать структуру энергобаланса.

Потребление в секторе i энергоносителя j равно произведению потребления энергии в этом секторе, определенного по формуле (9.27), на долю данного энергоносителя, определенную по формуле (9.28):

$$E_{iit} = d_{ijt} * E_{ii}; (9.29)$$

Суммарное конечное потребление энергоносителя j равно сумме его потребления по всем секторам:

$$E_{jt} = \sum_{i} E_{ijt}; (9.30)$$

#### Литература к главе 9

- 1. Оптимизация развития и размещения угледобывающей промышленности. Новосибирск: Наука, 1975. 132 с.
- 2. Экономико-математические методы в планировании многоотраслевых комплексов и отраслей / Б.Б.Розин, и др. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1988. 413 с.
- 3. Перспективное отраслевое планирование: экономико-математические методы и модели / отв. ред. А.Г. Аганбегян. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1986.
- 4. Оптимизационные межрегиональные межотраслевые модели / отв. ред. А.Г. Гранберг, И.С. Матлин. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1989.
- 5. Моделирование взаимодействия многоотраслевых комплексов в системе народного хозяйства / отв. ред. Б.Б. Розин. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1992.
- 6. Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов / отв. ред. В.В. Кулешов, Н.И. Суслов; РАН, Сиб. отд-ние, ИЭОПП СО РАН. Новосибирск, 2014.
- 7. Методология и практика построения и использования региональных топливно-энергетических балансов / ИЭОПП СО РАН. Новосибирск, 2010.
- 8. Башмаков И.А. Топливно-энергетический баланс как инструмент анализа, прогноза и индикативного планирования развития энергетики // Энергетическая политика. Выпуск 2, 2007, С. 16–25.
- 9. Башмаков, И.А. Энергетические балансы РФ и субъектов РФ как основа разработки и мониторинга программ повышения энергоэффективностив// Энергосовет.— 2012. №4 (23). С. 21–29.
- 10. Методические рекомендации по формированию региональных прогнозных топливно-энергетических балансов, мониторингу их исполнения и порядку взаимодействия федеральных и региональных органов исполнительной власти Российской Федерации при организации этой работы // М., Министерство промышленности и энергетики (Минпромэнерго), 2006 г., с. 35.

#### Научное издание

### МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ: АЗИАТСКАЯ РОССИЯ В ЭКОНОМИКЕ СТРАНЫ

Под редакцией Александра Олеговича Баранова и Виктора Ивановича Суслова

 Редактор
 В.Ю. Юхлина

 Художник обложки
 Н.В. Гудченко

 Дизайн обложки
 А.С. Кузнецова

 Оригинал-макет
 С.А. Дучкова

Подписано к печати 01 сентября 2023 г. Формат бумаги  $60×84^{1}/_{16}$ . Гарнитура «Таймс». Объём п.л. 27,25. Уч.-изд.л. 25,5. Тираж 500 экз. Заказ № 95.

#### Издательство ИЭОПП СО РАН

Тел. (383) 330-17-95, e-mail: s.duchkova@ieie.nsc.ru Участок оперативной полиграфии ИЭОПП СО РАН, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 17.