

Данный файл является фрагментом электронной копии издания,
опубликованного со следующими выходными данными:

УДК 338.92
ББК 65.9(2Р) 30-2
М 744

А в т о р ы :

В.И. Суслов, Ю.С. Ершов, О.И. Гулакова, Д.А. Доможиров, Н.М. Ибрагимов,
Л.В. Мельникова, Т.С. Новикова, А.А. Цыплаков

М 744 **Модели, анализ и прогнозирование пространственной экономики** / отв. ред. В.И. Суслов, науч. ред. Ю.С. Ершов. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2022. – 480 с.

ISBN 978-5-89665-364-6

DOI: 10.36264/978-5-89665-364-6-2022-001-480

В настоящей работе изложены результаты исследований в области экономико-математического моделирования, выполнявшихся с начала века в Институте экономики и организации промышленного производства СО РАН на основе межрегиональных межотраслевых моделей. Дается достаточно подробное описание используемых моделей. Показаны возможности их использования для расчета вариантов долгосрочных народнохозяйственных прогнозов и для анализа особенностей межрегиональных взаимодействий в экономике России.

Монография может быть полезной для научных сотрудников, студентов и аспирантов экономических специальностей, интересующихся проблемами прогнозирования и особенностями отраслевой и пространственной структуры экономики

Монография подготовлена в рамках планов НИР ИЭОПП СО РАН по проекту 5.6.6.4 (0260–2021–0007) «Инструменты, технологии и результаты анализа, моделирования и прогнозирования пространственного развития социально-экономической системы России и её отдельных территорий», № 121040100262–7.

ISBN 978-5-89665-364-6

DOI: 10.36264/978-5-89665-364-6-2022-001-480

УДК 338.92
ББК 65.9(2Р) 30-2
М 744

© ИЭОПП СО РАН, 2022 г.
© Коллектив авторов, 2022 г.

Полная электронная копия издания расположена по адресу:
<http://lib.ieie.nsc.ru/docs/2022/001.pdf>

Глава 6

АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА БАЗЕ МОДЕЛЕЙ ЗАТРАТЫ–ВЫПУСК

6.1. Методологические основы подхода

Агентно-ориентированный подход состоит в использовании имитационных моделей, основанных на взаимодействии множества децентрализованных агентов. Агенты действуют по сравнительно простым правилам, не решают сложных оптимизационных задач, но могут адаптироваться путем обучения и эволюции. Обзор экономических агентно-ориентированных моделей (далее АОМ) можно найти в [Tesfatsion L, 2006]; см. также [Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., 2013].

Особенностью АОМ является то, что у системы в целом нет каких-то общих целей, цели могут быть только у агентов. Преследуя индивидуальные цели, множество агентов приводит систему в новое состояние, описываемое макроэкономическими характеристиками. Принципиально важным преимуществом подхода, по мнению М. Ленгника [Lengnick M., 2013], является то, что макроэкономический результат имеет микроэкономические основания, но не является простой суммой действий агентов. Агрегированная экономическая система имеет свою собственную структуру и свойства, которые нельзя получить непосредственно из оптимизации целевых функций агентов. Сравнительный анализ начального и конечного состояний системы является неотъемлемой частью агентно-ориентированного моделирования.

Задание начального состояния системы – важный этап построения АОМ. Наполнение АОМ адекватной (т.е. приближенной к публикуемой статистике) информацией представляет собой серьезную проблему, поскольку требуется выделить достаточное число агентов, задать их географическое расположение, организовать их взаимодействия в производственных цепочках, выбрать производственные функции, оценить структуру потребления и многие другие параметры.

Поэтому на этапе инициализации агентно-ориентированной модели естественной представляется идея использования таблиц «затраты–выпуск» (далее ЗВ). Таблицы ЗВ, представляя входя-

щие и исходящие потоки товаров и услуг по каждому сектору, дают информацию о его связях с поставщиками и потребителями. Так, де Андраде и др. [De Andrade P.R., Monteiro A.M.V., Camara G., 2010] предлагают выделять агентов на основе региональной таблицы ЗВ таким образом, чтобы каждый сектор был представлен одним агентом.

Таблицы ЗВ также используются как источник информации о технологических коэффициентах производственной функции и о производственных цепочках. Имея таблицу ЗВ для Пьемонта, Боэро [Boero R., 2012] разработал так называемую «Агентно-ориентированную модель затраты–выпуск» региональной экономики, основанную на методологии системы национальных счетов (СНС). В этой модели производственные мощности фирм ограничены их размерами, фирмы с большей вероятностью взаимодействуют с ближайшими контрагентами. Кроме того, в модель встроен региональный мультипликатор: добавленная стоимость возвращается в экономику. Мандель и др. [Mandel A. et al., 2009] для инициализации модели Lagom generiC для экономики Германии использовали таблицы «затраты–выпуск» Германского статистического института.

Таблицы ЗВ могут использоваться в качестве и входных, и выходных характеристик моделируемой экономики. Бекенбах и др. [Beckenbach F., Briegel R., Daskalakis M., 2007] использовали построение региональных таблиц ЗВ в динамике для анализа изменений, происходящих в региональной экономике в результате распространения инноваций, моделируемых с помощью агентно-ориентированного подхода.

Национальные таблицы ЗВ являются ключевым элементом в реализованной Ху, Чжаном Й. и Чжаном Н. модели китайской экономики, названной авторами «Равновесная модель отклика агентов» (Agent Response Equilibrium model) [Hu Z., Zhang J., Zhang N., 2015]. Эта модель построена на основе теории «умной инженерии» (intelligent engineering) и мультиагентного подхода. В ней типы производственных агентов соответствуют 42 секторам китайской экономики наряду с такими агентами, как «Население», «Правительство», «Центральный банк», «Коммерческий банк», «Рынок труда», «Товарный рынок», «Финансовый рынок», «Внешний товарный рынок». Исходное состояние в базовом году описывается отчетной ТЗВ в разрезе 42 секторов, а конечное состояние – прогнозной ТЗВ и недельными индексами цен

42 продуктов. Переход от начального состояния к конечному происходит по «умной» траектории, включающей сценарные параметры и внешние цены на товары. Этот подход позволил воспроизвести отчетные таблицы за 2007–2010 гг., провести эксперименты с различными типами фискальной и монетарной политики на 2011–2014 гг. и сгенерировать ряд таблиц ЗВ китайской экономики на 2015–2025 годы.

В предлагаемом нами подходе используется информация о межотраслевых связях и технологиях производства, полученная из малоразмерной версии оптимизационной многорегиональной межотраслевой модели (ОМММ), которая в свою очередь воспроизводит данные статистики национальных счетов Российской Федерации по состоянию на 2010 г. Решение ОМММ служит также базой для сравнения результатов, получаемых на агентно-ориентированной многорегиональной модели «затраты–выпуск» (АОМММ).

6.1.1. Принципы построения модели

Подробное описание модели АОМММ можно найти в статьях [Суслов В.И., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Костин В.С., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А., 2014; Суслов В.И., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Костин В.С., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А., 2016]. Ниже изложены только основные принципы, положенные в ее основу.

Модель АОМММ относится к классу агентно-ориентированных моделей. Такого рода модели позволяют изучать экономические процессы с помощью компьютерного моделирования. По своей структуре АОМММ похожа на модели общего равновесия, поскольку представляет экономику в целом (одна из первых конструкций подобного рода описана Джинтисом в [Gintis H., 2007]). В этой модели различные агенты, такие как фирмы и домашние хозяйства, взаимодействуют через товарные рынки, покупая и продавая товары.

Модельно-программный комплекс, лежащий в основе АОМММ, по своей структуре является блочным, расширяемым и обладает большой универсальностью, что позволяет развивать модели самой разной конфигурации. В данной модели описываемым объектом является экономика России с разделением на регионы. На этапе инициализации используется различная информация, относящаяся к российской экономике, такая как географиче-

ческое расположение на карте и размеры населения городов. Кроме того, особенностью модели является то, что она совместима и обменивается информацией со стандартной ОМММ страны. В частности, она использует ту же региональную и производственную номенклатуру, те же коэффициенты в леонтьевских производственных функциях и т. д.

Предполагается, что в перспективе модель должна достаточно адекватно описывать экономику России. Конечной целью является использование АОМММ для оценки воздействия на экономику промышленной и пространственной политики.

Географическая структура модели

При инициализации модели используется информация о региональной структуре российской экономики. Модель имеет иерархическую структуру (рис. 6.1). Территория России делится на три макрорегиона по границам федеральных округов (рис. 6.2). Технологии, используемые в макрорегионах, различаются, что отражает физико-географические различия в условиях производства. Далее, каждый из макрорегионов содержит несколько десятков субъектов, которые в явном виде не моделируются, но статистическая информация о них используется при инициализации модели. В свою очередь, субъекты содержат города, со своими координатами центральных точек, размером населения и данными о числе фирм. Города также в явном виде не моделируются. Наконец, вокруг центральных точек городов располагаются агенты – домохозяйства и фирмы.



Рис. 6.1. Иерархическая структура модели

Вне этой иерархии имеется три внешних рынка (условно «Китай», «Центральная Азия» и «Европа») со своими географическими координатами, а также государственные предприятия, производящие транспортные услуги и федеральные общественные блага. Имеются также агенты «Федеральное правительство» и «Пенсионный фонд». В частности, правительство собирает налоги, платежи за перевозки, финансирует производство транспортных услуг и общественных благ и т.д. В модель также заложена возможность ввести региональные правительства и предприятия, производящие региональные общественные блага.

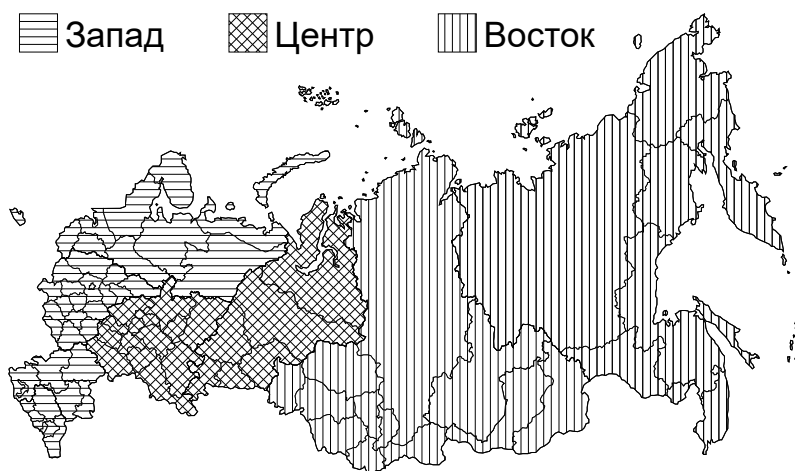


Рис. 6.2. Три макрорегиона по границам федеральных округов.
 «Запад»: Северо-Западный, Центральный, Южный, Северо-Кавказский;
 «Центр»: Приволжский, Уральский;
 «Восток»: Сибирский, Дальневосточный

Важной особенностью модели является то, что она в явном виде учитывает расположение агентов в пространстве. Агенты могут иметь географические координаты (широта и долгота). Стоимость перевозки товара зависит от расположения двух взаимодействующих агентов – ее переменная часть пропорциональна расстоянию между двумя агентами. Эти издержки агенты учитывают при торговле друг с другом.

Отрасли и рынки

Фирмы однопродуктовые и принадлежат к одной из 4 отраслей: добыча, обработка, строительство, услуги. Транспорт – дополнительная отрасль. Транспортные услуги производятся государственным предприятием и финансируются государством за счет транспортных тарифов. Еще один производимый в модели товар – это общественное благо, которое также производится государственным предприятием и финансируется государством за счет собираемых налогов.

Как обычные фирмы, так и государственные предприятия производят продукцию по леонтьевским технологиям. Согласно леонтьевской производственной функции, если y – выпуск фирмы, то затраты i -го производственного фактора равны $a_i y$, где a_i – технологический коэффициент. При этом издержки производства составляют $c(\rho, y) = y \sum_i \rho_i a_i$, где ρ_i – цена i -го фактора, ρ – вектор этих цен. Объем производства ограничен размером капитала фирмы. Фирмы стремятся максимизировать ожидаемую прибыль (но с элементом неполной рациональности), исходя из своих прогнозов цен и прогнозов функции спроса на продукцию.

Домохозяйства при распределении дохода по разным секторам ориентируются на свои функции полезности и прогнозы цен.

Домохозяйства, фирмы, внешние рынки и государственные предприятия взаимодействуют через товарные рынки, покупая и продавая товары одного из пяти секторов. Имеется пять товарных рынков по числу секторов. В каждом периоде продавцы выставляют свои пакеты «количество–цена» на рынок, а покупатели конкурируют друг с другом заявками на эти пакеты. Процесс торговли продолжается до сходимости.

Покупатели сравнивают представленные на рынке пакеты на основе цен с учетом транспортных издержек. В модель заложены неполнота информации и не полная рациональность выбора. Это приводит к тому, что не всегда выбирается пакет с наименьшей ценой. В целом имеет место конкуренция между продавцами, и транспортные издержки влияют на выбор покупателем продавца, а, значит, и на географию транспортных потоков.

На рис. 6.3 структура взаимосвязей агентов в АОМММ представлена в виде схемы. Для упрощения эта схема не включает пенсионный фонд и некоторые взаимосвязи.

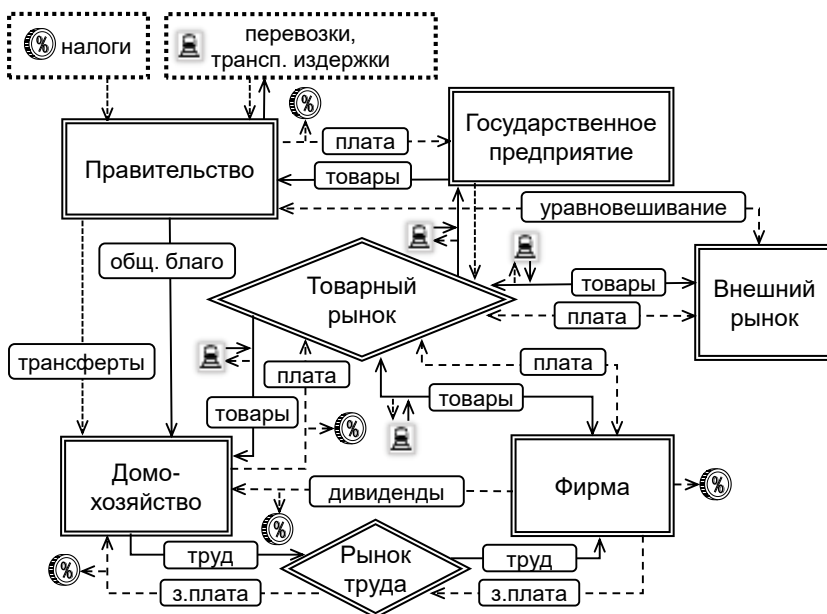


Рис. 6.3. Основные агенты и их взаимосвязи в АОМММ

6.1.2. Таблицы и модели «затраты–выпуск»

Таблицы «затраты–выпуск»

Система таблиц «затраты–выпуск» (ЗВ) является одним из концептуальных элементов СНС, основные положения которой изложены в [Система национальных счетов..., 2012]. Симметричная таблица ЗВ, известная также как межотраслевой баланс производства и распределения продукции, – это система статистических показателей, характеризующая в детализированном виде потоки товаров и услуг в экономике за некоторый временной интервал. Таблица содержит перекрестную классификацию выпуска, промежуточного потребления и добавленной стоимости и ее компонентов по институциональным секторам и отраслям. Анализ этих таблиц позволяет получить комплексное представление о структуре экономики, межотраслевых и/или межрегиональных связях. Таблицы могут использоваться для мониторинга развития экономики и макроэкономического анализа.

Таблицы ЗВ состоят из трех частей (квадрантов), различных по своему экономическому содержанию. В первом квадранте отображаются потоки продукции из одних отраслей в другие в процессе производства, т.е. промежуточное потребление. Каждая строка таблицы показывает распределение продукции данной отрасли по отраслям-потребителям, а каждый столбец – состав производственных затрат данной отрасли по отраслям-поставщикам. Второй квадрант характеризует конечный спрос по его функциональным элементам в отраслевом разрезе: по строкам показаны поставки для целей конечного потребления домохозяйств, государственного управления, валового накопления и внешних рынков, а по столбцам – отраслевой состав расходов перечисленных конечных потребителей. В третьем квадранте детализируется стоимостной состав валовой добавленной стоимости: строки представляют распределение услуг производственных факторов по отраслям, а столбцы – затраты на оплату труда, налоги, валовую прибыль, и пр. в каждой отрасли.

Импорт отражается в виде строки (как один из ресурсов), а экспорт – в виде столбца (как одно из направлений использования произведенного продукта), хотя возможны и другие варианты учета внешних связей.

Поскольку СНС опирается на принцип двойной записи, в симметричной таблице ЗВ суммы по столбцам и по строкам совпадают, что подразумевает равенство значений ВВП, рассчитанного производственным методом, методом формирования по источникам доходов и методом конечного использования доходов.

Таблицы «затраты–выпуск» являются основным источником дезагрегированной информации для моделей, учитывающих отраслевую структуру экономики (например, вычислимых моделей общего равновесия; см. [Грассини М., 2009]). При наличии информации могут быть построены региональные и межрегиональные таблицы ЗВ.

Модели «затраты–выпуск»

Модели «затраты–выпуск» строятся на фундаменте таблиц ЗВ, которые позволяют определить для экономики в целом матричную производственную функцию в разрезе отраслей. Основная идея состоит в том, что для производственных процессов экономики постулируются линейные (леонтьевские) технологии. Данное предположение позволяет описывать взаимосвязи между

валовым выпуском, компонентами конечного спроса и промежуточного потребления с помощью мультипликаторов. Развитие и популяризация моделей «затраты–выпуск» связаны, прежде всего, с именем В. Леонтьева [Leontief W., 1986].

Модели ЗВ относятся к макроэкономическим моделям в связи с тем, что экономические процессы в них рассматриваются агрегированно, без рассмотрения действий отдельных агентов. В то же время, с ростом детализации они могут приближаться к микроэкономическому уровню, к анализу производства и потребления отдельных агентов, составляющих экономику. Например, при достаточно дробной отраслевой и территориальной классификации одна отрасль в регионе может быть представлена одной фирмой. Более того, как метод систематического измерения взаимосвязей между различными секторами сложной экономической системы, анализ ЗВ применяется не только на национальном уровне, но и на уровне предприятия в целях финансового учета, анализа технологических процессов, административного управления и стратегического планирования [Мельникова Л.В., 2011].

Естественным развитием анализа ЗВ для экономики в целом является межрегиональный анализ. Пионером этого подхода был У. Айзард [Isard W., 1951; Moses L.N., 1955], предложивший полную межрегиональную модель n -отраслевой m -региональной экономики, описываемой поставками x_{ij}^{rs} из i -й отрасли r -го региона в j -ю отрасль s -го региона. Мозес [Moses L.N., 1955] и Ченери [см.: Гранберг А.Г., 1973] построили менее требовательную к информации многорегиональную межотраслевую модель с торговыми коэффициентами g_i^{rs} , которые указывали на долю r -го региона в общем использовании продукции i -й отрасли в s -м регионе, общую для всех отраслей-потребителей. Межрегиональные межотраслевые модели позволяют проводить анализ межотраслевых и межрегиональных взаимосвязей в экономике, оценивать влияние изменений пространственной структуры на различные макроэкономические показатели. С одной стороны, их можно рассматривать как способ соединения региональных межотраслевых моделей в единую модель, с другой – как пространственную развертку «точечных» межотраслевых моделей национальной экономики. Обзор межрегиональных межотраслевых моделей дан в [Hewings G.J.D., Jensen R.C., 1986].

Экономико-математические исследования пространственного развития экономики требуют модельных экспериментов на реальных данных. Такая возможность обеспечивается использованием прикладных пространственных моделей «затраты–выпуск». А.Г. Гранберг положил начало разработке целого класса таких прикладных моделей, как оптимизационные многорегиональные межотраслевые модели (ОМММ) [Гранберг А.Г., 1965; Гранберг А.Г., 1973; Гранберг А.Г., 2007]. Эти модели решают задачу выбора сбалансированных межотраслевых и межрегиональных связей с точки зрения определенных критериев. Сама ОМММ является результатом интегрирования межотраслевых моделей отдельных регионов, моделей межрегиональной транспортировки продукции и условий выбора оптимальных народнохозяйственных решений из множества допустимых (сбалансированных). В настоящее время данной моделью занимается научный коллектив ИЭОПП СО РАН под руководством В.И. Сулова.

Такие модели применяются как инструменты оценки возможностей регионов, сценарного анализа и построения долгосрочных прогнозов развития экономики в пространственно-отраслевом разрезе, обоснования инвестиционных проектов, анализа альтернативных вариантов использования природных ресурсов и размещения производства. С помощью модели также решаются задачи коалиционного анализа пространственной структуры экономики (с ОМММ ассоциируется кооперативно-игровая постановка), поиска состояний эквивалентного (с ОМММ ассоциируется модель общего равновесия) и взаимовыгодного обмена (ядро кооперативно-игровой постановки ОМММ).

ОМММ

ОМММ можно представить, как уже отмечалось ранее, как задачу линейной векторной оптимизации. Целевыми критериями выступают переменные конечного потребления регионов, взятые в фиксированной экзогенной отраслевой структуре. Векторная оптимизация сводится к параметрической задаче линейного программирования, в которой параметром выступает вектор территориальных пропорций конечного потребления (целевых переменных регионов). С помощью данного параметра скаляризуется векторный целевой критерий. Данный способ скаляризации задачи многокритериальной оптимизации является частным случаем метода достижения целей из теории векторной оптимизации

[Gembicki F., Haimes Y.Y., 1975]. По своему экономическому содержанию оптимизационные многорегиональные межотраслевые модели являются инструментом получения системы взаимосвязанных непротиворечивых межотраслевых балансов регионов и оптимизации их совокупности по выбранному критерию.

Эндогенными переменными модели являются объемы производства в каждом регионе в разрезе отраслей $(x_j^r, \Delta x_j^r)$, объемы инвестиций в каждом регионе по каждой из капиталобразующих отраслей (u_j^r) , объемы межрегиональных перевозок для каждой пары регионов и каждой транспортабельной отрасли $(x_j^{ss'})$, объемы экспорта и импорта по каждому региону, внешнему рынку и транспортабельной отрасли (v_j^{sk}, v_j^{ks}) и конечное потребление каждого региона (z^r) .

Переменные модели связаны между собой региональными и общесистемными ограничениями. В каждом регионе действуют ограничения на балансы производства и распределения продукции, балансы капитальных вложений, балансы трудовых ресурсов и ограничения на производственные мощности. Общесистемный блок ограничений включает ограничение на сальдо внешнеторгового баланса, ограничение на территориальную структуру конечного потребления и квоты на экспорт и импорт.

В ограничениях модели используются следующие основные экзогенные параметры:

- $A^r, \Delta A^r$ – матрицы технологических способов производства на его поддержание и на прирост (включают материальные капитальные и трудовые затраты);
- B^r – матрица способов производства и использования инвестиций, или способов линеаризации нелинейного закона роста инвестиций в r -м регионе;
- $C_r^{ss'}$ – матрица транспортных способов r -го региона для перевозок из s -го региона в регион s' (единицы / минус единицы в строках транспортабельных отраслей и транспортные затраты в строках транспортных отраслей);
- $D_r^{\bar{ks}}$ – матрица транспортных способов r -го региона для импортируемой продукции в s -й регион с внешнего рынка;

- $D_r^{s\bar{k}}, D_r^{\bar{k}_1\bar{k}_2}$ – аналогичная матрица для экспортируемой продукции и для продукции международного транзита;
- α^r – вектор-столбец отраслевой структуры конечного потребления в r -м регионе;
- λ^r – доля r -го региона в конечном потреблении в общем по системе;
- $g_s^{\bar{k}_s}$ – вектор-строка внешних цен (во внешней валюте); продукции, импортируемой в s -й регион с \bar{k} -го внешнего рынка;
- $g_s^{\bar{k}}$ – аналогичный вектор-строка внешних цен на экспортируемую продукцию;
- $g_s^{\bar{k}_1\bar{k}_2}$ – вектор-строка внешних тарифов за международный транзит по территории страны;
- H – сумматор по типам транспортных связей: в строке каждого вида продукции стоят единицы в столбцах разных типов транспортных связей;
- q^r – вектор-столбец правой части ограничений на балансы производства, труда и капитала;
- $N^r, \Delta N^r$ – ограничения на старые мощности и на приросты производства по регионам;
- \hat{u}^r – ограничения на региональный рост инвестиций;
- \bar{S}_{sv} – сальдо внешнеторгового баланса во внешней валюте;
- \hat{v}^-, \hat{v}^+ – общие таможенные квоты по импорту и по экспорту.

Основным источником информации для формирования указанных матриц, как уже отмечалась ранее, служат оценочные таблицы «затраты–выпуск» регионов. Некоторые экзогенные параметры модели формируются экспертно, исходя из ресурсных возможностей и технологической специализации регионов.

На рис. 6.4 структура модели ОМММ показана в виде блок-схемы. На схеме приведен блок ограничений (строк) региона r , а также блок общесистемных ограничений.

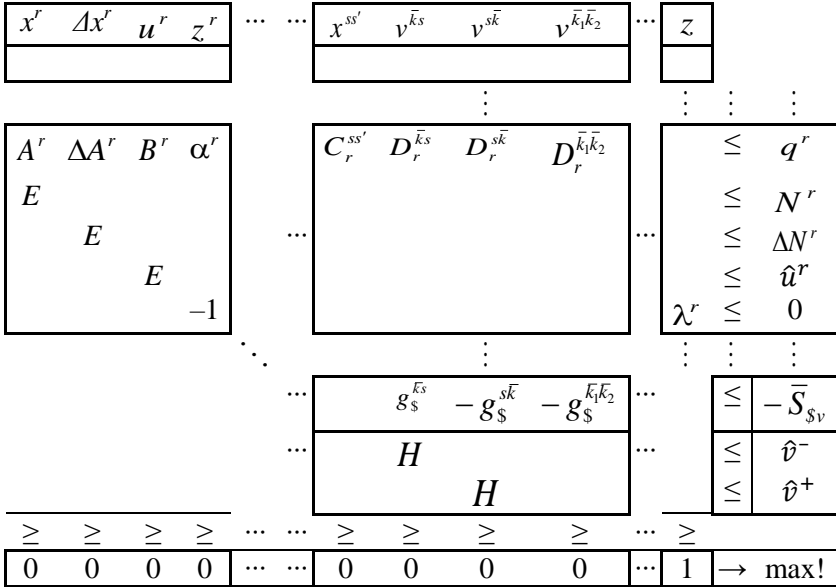


Рис. 6.4. Структура малоразмерной ОМММ

В верхней части блок-схемы приведены переменные модели, справа – векторы правых частей строк-ограничений модели. Подразумевается, что переменная входит в ограничение умноженной на матрицу коэффициентов, которая стоит на пересечении столбца переменных и строки ограничения. Слева направо:

- с верхним индексом r приведен блок региональных переменных. Они присутствуют только в ограничениях региона r . Если распространить схему для всех r , матрица коэффициентов для региональных переменных будет иметь клеточно-диагональный вид;
- с верхними индексами s, s' приведен блок межрегиональных и внешних связей. Пара верхних индексов в этом блоке обозначает перевозку (между двумя регионами, либо регионом и внешним рынком). Нижний индекс – индекс региона контрагента, предоставляющего транспорт в данной перевозке. Таким образом, переменные данного блока присутствуют с ненулевыми коэффициентами в строках

всех регионов r , участвующих в соответствующей перевозке в качестве отправителя, получателя либо транзитера. Если распространить схему на все регионы, то матрицы коэффициентов для переменных перевозок будут иметь пересечения со строками сразу нескольких регионов.

В действующей версии ОМММ применен соответствующий методологии СНС 40-отраслевой классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД), территориальная сетка включает 8 регионов – федеральных округов. Формальная постановка модели приведена в [Ершов Ю.С., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В., 2007], а опыты ее прикладного применения в 2000-е годы – в [Ершов Ю.С., Мельникова Л.В., Суслов В.И., 2009].

Малоразмерная ОМММ

АОМММ берет за основу существующий малоразмерный вариант ОМММ [Гамидов Т.Г., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., 2013]. Он был создан с целью апробации тонких теоретических конструкций (равновесия, ядра) и тестирования различных вычислительных методов поиска особенных состояний экономики.

В математическом смысле малоразмерная ОМММ является задачей линейного или сепарабельного программирования, решение которой определяет состояние экономики региона на последний (10-й) год заданного периода времени. Первый год периода обозначается как 0-й год.

Производство в условной экономике представлено в разрезе 5 отраслей (видов деятельности): добыча, обработка, строительство, транспорт и услуги. Из них добыча и обработка производят транспортабельную продукцию, которая участвует в транспортно-экономическом взаимодействии регионов между собой и с внешними рынками. Строительство и услуги введены в условную экономику как поставщики нетранспортабельной продукции. Наличие таких отраслей существенно меняет свойства многорегиональных моделей, и поэтому их учет при моделировании весьма желателен для адекватного отражения реальных экономических отношений. Обработка и строительство являются капиталобразующими отраслями.

Условная экономика разделена на три региона: Запад с развитой обработкой и недостатком природных ресурсов, Центр с

большими возможностями развития добычи и относительно низким уровнем обработки, Восток, характеризующийся сырьевой направленностью производства и, кроме того, суровыми природно-климатическими условиями и большой удаленностью от западных и центральных регионов.

ОМММ и АОМММ

На техническом уровне АОМММ использует информацию малоразмерной ОМММ для инициализации параметров агентов и экономики. В частности, для задания производственных функций агентов типа «фирма» используются коэффициенты материалоёмкости, трудоемкости и капиталоемкости соответствующих отраслей и регионов. Верхние границы на производственные мощности распределяются по фирмам региона и служат основой для задания размера основного капитала этих фирм. Коэффициенты транспортных затрат по межрегиональным перевозкам служат основой для расчета коэффициентов транспортных затрат на единицу расстояния в АОМММ. Отраслевая структура конечного потребления по регионам используется для инициализации потребительских предпочтений домохозяйств. Объем трудовых ресурсов по регионам используется для распределения объема труда по домохозяйствам.

На содержательном уровне у АОМММ тоже много общего с ОМММ и другими моделями ЗВ (и моделями общего равновесия): модель АОМММ отражает взгляд на экономику как на сложную систему с взаимозависимыми частями и количественно описывает взаимосвязи между этими частями. В частности, производственные процессы в экономике связаны системой взаимодействий, отражающих сложившееся разделение труда. Например, продукция отрасли А может использоваться в качестве сырья для продукции отрасли Б, в то время как продукция отрасли Б в свою очередь может использоваться в производственном процессе отрасли А. Производственные цепочки могут быть достаточно длинными и сложными, и образовывать циклы. Эти цепочки порождают также потоки добавленной стоимости, служащей источником инвестиций, государственного и личного потребления.

В то же время имеется ряд принципиальных отличий. Ключевое отличие состоит в характере самих моделей. АОМММ – это имитационная модель, в которой множество независимых агентов ведут экономическую деятельность по собственным

алгоритмам поведения. Агенты могут ориентироваться в принятии решений на максимизацию своих целевых функций, но, в отличие от ОМММ, для вычисления состояния экономики в целом оптимизация не используется. Соответственно, ограничения по труду и основным фондам в ОМММ относятся к экономике в целом, а в АОММ надо подобные ограничения учесть при моделировании работы отдельной фирмы.

В ОМММ и в моделях ЗВ в целом акцент делается, прежде всего, на описании и анализе производственной структуры экономики. В ОМММ в отличие от АОМММ не детализируется представление о потребительских предпочтениях экономических агентов; они отражены в ОМММ агрегированно в параметрах отраслевой структуры конечного потребления региона.

В ОМММ в явном виде не моделируются рыночные и ценовые механизмы. Возникающие в ОМММ «теневые цены» (двойственные оценки ограничений) не являются ценами в традиционном определении. В АОМММ моделируется рыночное взаимодействие агентов, ценообразование на рынках осуществляется непосредственно каждым агентом. Цена, с которой агент выходит на рынок, – это динамический элемент его поведения.

Важными являются также отличия в представлении пространства. В ОМММ, как в большинстве классических и неоклассических моделей регионального роста и развития, экономика представлена дискретным абстрактным пространством. Это своего рода граф, в котором каждый регион соответствует одной вершине. Продукция одной отрасли одного региона в ОМММ анализируется в целом. В АОМММ агенты существуют и ведут экономическую деятельность в непрерывном физическом двумерном пространстве. С точки зрения взаимодействия агентов важен не регион, а их расположение в пространстве, поскольку от этого зависят затраты на перевозку продукции. Потоки товаров между агентами полностью дезагрегированы – до уровня отдельных сделок на товарных рынках.

Продукция одной отрасли ОМММ рассматривается как однородная. В АОМММ на разных этапах продукция одной отрасли может рассматриваться как однородная (если товар уже приобретен, то источник происхождения не важен), так и неоднородная (при моделировании выбора покупателем продавца используется конструкция Диксита–Стиглица, позволяющая отразить «стремление к разнообразию»). Это, в частности, позволяет отразить

встречные перевозки между парами регионов в рамках одного и того же сектора.

Резюмируя изложенное выше, отметим, что структурный (в том числе пространственный) анализ экономических процессов с помощью моделей «затраты–выпуск» имеет многолетнюю историю. Модель АОМММ, которую мы разрабатываем, во многом аналогична уже имеющимся моделям «затраты–выпуск», в частности, модели ОМММ. Может возникнуть законное сомнение, дает ли агентно-ориентированный подход какие-либо новые возможности по сравнению с традиционными и уже устоявшимися методами анализа. Было описано два альтернативных подхода – агентно-ориентированный и подход «затраты–выпуск», проведено их сопоставление и даны ответы на некоторые из возникающих вопросов.

В целом можно сделать вывод, что подходы не противоречат друг другу и имеется хороший потенциал для их интеграции. С одной стороны, модель «затраты–выпуск» можно использовать как источник дезагрегированной информации на этапе инициализации АОМ. Это открывает перспективы постепенного превращения АОМ из инструмента анализа искусственной экономики в экспериментальный полигон реальной экономики. С другой стороны, следует обратить внимание на тот факт, что в АОМ, как и в реальной экономике, информация дезагрегирована и в исходном виде представляет собой набор показателей, характеризующих отдельных агентов. Для того чтобы понять, что происходит в искусственной экономике, нам, как и в реальной жизни, надо сформировать осмысленные агрегированные показатели. На этом этапе могут помочь идеи, лежащие в основе анализа «затраты–выпуск». Об этом речь пойдет в следующем разделе.

6.2. Пример межрегионального анализа малоразмерной экономики

В этой части демонстрируются возможности пространственного анализа, предоставляемые агент-ориентированной многорегиональной моделью «затраты–выпуск» (АОМММ) российской экономики. Основная гипотеза АОМММ состоит в том, что решения агентов на микроэкономическом уровне приводят к пространственным изменениям на макроуровне. Подтверждение гипотезы требует экспериментальных расчетов с изменением раз-

нообразных параметров, влияющих на решения агентов, таких как цены, налоги, тарифы и пр. Анализ результатов расчетов требует перейти от микроэкономических данных на макроуровень. В данном разделе предложен метод структурного анализа результатов модельных расчетов с использованием таблиц «затраты–выпуск». Данный метод предполагает статистическую агрегацию результатов расчетов, построение региональных, национальной и межрегиональной таблиц «затраты–выпуск» и структурный анализ полученных таблиц, включающий построение региональных леонтьевских мультипликаторов. С помощью предложенного метода изучено влияние величины транспортных издержек на географическую структуру товарных потоков. Результаты экспериментов подтвердили, что при росте транспортных затрат экономические агенты предпочитают взаимодействовать с ближе расположенными агентами, что приводит к сокращению межрегионального обмена продуктами и экономическому «замыканию» регионов.

6.2.1. Межрегиональные межотраслевые таблицы

При анализе работы экономической АОМ, особенно если она включает несколько отраслей и несколько регионов, интерес могут представлять не только показатели, которые агрегируют информацию по группам агентов (например, доходы домохозяйств, объем производства в некоторой отрасли), но и показатели, которые описывают взаимодействия между парами групп агентов. В частности, можно изучать потоки продуктов внутри экономики (в том числе межрегиональные). Естественным инструментом такого анализа являются различные таблицы «затраты–выпуск».

Рассмотрим технологию заполнения таблиц ЗВ в рамках АОМММ. Заметим, что при составлении таких таблиц в экономической АОМ мы потенциально можем учесть любую нужную транзакцию и занести ее в соответствующую клетку таблицы.

На рис. 6.3 стрелки со сплошными линиями, выходящие из фигуры «Товарный рынок», соответствуют покупкам, а стрелки со сплошными линиями, входящие в эту фигуру, – продажам. Каждой стрелке со сплошной линией соответствует стрелка в противоположном направлении с пунктирной линией – плата за товар. Когда транзакция проходит через товарный рынок,

то соответствующая сумма (не включающая затраты на транспорт) добавляется в клетку таблицы ЗВ на пересечении строки продавца и столбца покупателя. Продавцами могут являться фирмы или внешние рынки («Импорт»). Покупателями могут являться фирмы, государственные предприятия, домохозяйства или внешние рынки («Экспорт»).

При заполнении таблицы ЗВ мы исходим из того, что транспорт оплачивает покупатель. Соответственно, оплата услуг транспорта вносится в ячейку на пересечении строки Сектора 4 («Транспорт») и столбца покупателя. На рис. 6.3 около сплошных линий, соответствующих покупкам товаров, помещены пиктограммы «Транспорт» и стрелками изображено предоставление услуг транспорта и соответствующая плата.

Производство общественных благ оплачивается федеральным и региональными правительствами. Соответствующая сумма добавляется в клетку таблицы ЗВ на пересечении строки общественных благ и столбца правительства.

Вместо налога на добавленную стоимость в модели используется похожий налог на конечное потребление. Этот налог платят домохозяйства и правительство (налог на экспорт нулевой). Налог добавляется в клетку на пересечении строки «НДС» (в нашем варианте аналог «Чистым налогам на продукты» в стандартной таблице ЗВ) и столбца во втором квадранте, соответствующему агенту, потребляющему товар.

Остальные строки таблицы (третий квадрант) относятся к добавленной стоимости. В строку «Оплата труда» включается заработная плата, включающая подоходный налог и социальные взносы. Это относится и к обычным фирмам, и к государственным предприятиям. В строку «Субсидии(-)» добавляются государственные субсидии фирмам со знаком минус. В строку «Валовая прибыль» добавляются операционные доходы фирм без разбиения на направления дальнейшего использования (таким как налог на прибыль и дивиденды с соответствующим подоходным налогом).

Заметим, что в текущем варианте АОМММ не учитываются инвестиции, поэтому соответствующий столбец в таблице ЗВ отсутствует. При наличии инвестиций следует отличать покупки фирмой обычных товаров (сырья, материалов и т. п.) от покупки основных фондов, поскольку они учитываются в разных частях таблицы (в первом и втором квадранте соответственно).

Таблица ЗВ может служить инструментом структурного анализа результатов расчетов по АОМ, пример чего приведен далее. С другой стороны, эта таблица может служить средством отладки компьютерного кода модели. Расчеты сумм по строкам и столбцам ведутся по разным принципам независимо друг от друга, но в результате они должны совпадать (как, например, в табл. 6.1). Если какие-то операции учитываются неправильно, то суммы не совпадут, и это дает сигнал о том, что надо искать ошибку в программе.

6.2.2. Влияние транспортных издержек

Основной особенностью АОМММ является учет пространственного размещения агентов, и нас, прежде всего, интересует межрегиональный аспект модели. Поэтому мы проведем анализ межрегиональных таблиц без разбиения на секторы. Для этого агрегируем блок производственного потребления. Пусть вся экономика состоит из одной отрасли. Конечный спрос будет включать в себя конечное потребление и экспорт. Производство продукции региона будет требовать следующих затрат (по столбцу): продукция собственного производства; продукция, ввозимая из двух других регионов; импорт из-за рубежа и затраты труда и капитала. Продукция региона будет потребляться в следующих целях (по строке): для собственного производства; на вывоз для производственного потребления в другой части страны, для конечного потребления и на экспорт за рубеж. Соответствующая таблица, обобщающая один из экспериментов с моделью, приведена в табл. 6.2.

Мы хотим исследовать влияние транспортных издержек на товарные потоки. Табл. 6.2 соответствует базовому уровню издержек, который выбран на основе данных малоразмерной ОМММ. Кроме этого рассмотрим случай нулевых и высоких транспортных издержек (в три раза выше базового уровня). Такой анализ можно провести, сравнивая таблицы ЗВ для разных уровней издержек. При этом возникает проблема несопоставимости цен в этих таблицах. С другой стороны, мы можем проанализировать структуру взаимодействий, рассматривая разбиение валового продукта по направлениям использования в процентах.

Аналог табл. 6.2 дан в табл. 6.3. Рассматривается только использование, т.е. 3-й квадрант таблицы отсутствует. Можно увидеть, что выделяются две «диагонали», соответствующие потреблению продукта фирмами и домохозяйствами домашнего регио-

на. Так, 20% валового выпуска, производимого в регионе «Запад», потребляется в производстве фирмами того же региона, а 32% используются местными домохозяйствами. В то же время на «Востоке» лишь 10,5% валового выпуска используется местными производителями, и 49,9% идут на удовлетворение конечного спроса домохозяйств на территории региона.

Таблица 6.2

Таблица «затраты–выпуск».
Случай базового уровня транспортных издержек

	Промежуточный спрос						Конечное использование					Итого выпуск	
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Домохозяйства			Фед. пр-во	Экспорт		Итого к. исп.
Запад	987.7	451.8	90.7	341.2	519.9	2391.4	1583.4	691.1	238.6	0.0	36.6	2549.6	4941.0
Центр	499.8	581.2	104.4	206.9	336.9	1729.2	383.6	723.2	191.8	0.0	22.4	1321.0	3050.1
Восток	43.8	46.0	93.8	57.1	85.4	326.2	46.1	67.0	444.7	0.0	6.6	564.3	890.5
С.4	176.1	142.2	53.0	15.1	29.6	416.0	212.9	189.8	145.4	0.0	27.6	575.7	991.7
Фед. о.б.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2168.6	0.0	2168.6	2168.6
Итого внут. потр.	1707.4	1221.2	341.9	620.3	971.9	4862.7	2226.0	1671.1	1020.4	2168.6	93.1	7179.2	12041.9
Импорт	14.3	9.4	4.7	21.1	15.1	64.6	14.3	10.1	9.4	0.0	0.0	33.8	98.5
Итого исполъз.	1721.7	1230.6	346.6	641.4	987.0	4927.4	2240.3	1681.2	1029.8	2168.6	93.1	7213.0	12140.4
НДС	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	403.3	302.6	185.4	390.3	0.0	1281.6	1281.6
Оплата труда	1244.1	790.1	276.2	356.0	1181.6	3848.1							
Субсидии(-)	0.0	0.0	0.0	-5.8	0.0	-5.8							
Вал. прибыль	1975.2	1029.4	267.7	0.0	0.0	3272.3							
Итого доб.ст.	3219.3	1819.5	543.9	350.2	1181.6	7114.6							
Итого выпуск	4941.0	3050.1	890.5	991.7	2168.6	12041.9							

Таблица 6.3

Структура использования валового продукта.
Случай базового уровня транспортных издержек

	Промежуточный спрос						Конечное использование					Итого выпуск	
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Домохозяйства			Фед. пр-во	Экспорт		Итого к. исп.
Запад	20.0%	9.1%	1.8%	6.9%	10.5%	48.4%	32.0%	14.0%	4.8%	0.0%	0.7%	51.6%	100.0%
Центр	16.4%	19.1%	3.4%	6.8%	11.0%	56.7%	12.6%	23.7%	6.3%	0.0%	0.7%	43.3%	100.0%
Восток	4.9%	5.2%	10.5%	6.4%	9.6%	36.6%	5.2%	7.5%	49.9%	0.0%	0.7%	63.4%	100.0%
С.4	17.8%	14.3%	5.3%	1.5%	3.0%	41.9%	21.5%	19.1%	14.7%	0.0%	2.8%	58.1%	100.0%
Фед. о.б.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%
Итого внут. потр.	14.2%	10.1%	2.8%	5.2%	8.1%	40.4%	18.5%	13.9%	8.5%	18.0%	0.8%	59.6%	100.0%

Установление транспортных издержек на нулевом уровне приводит к тому, что использование более равномерно распределяется по группам регионов-потребителей (табл. 6.4). Главные диагонали теперь не выделяются максимальными значениями.

Агентам становится безразлично, при прочих равных условиях, покупать ли товар в своем домашнем регионе или в другом регионе. Например, домохозяйство из Калининграда может покупать товары, производимые фирмами из Владивостока.

Таблица 6.4

**Структура использования валового продукта.
Случай нулевых транспортных издержек**

	Промежуточный спрос						Конечное использование					Итого выпуск	
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Домохозяйства			Фед. пр-во	Экспорт		Итого к. исп.
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Запад	Центр	Восток	Фед. пр-во	Экспорт	Итого к. исп.	Итого выпуск
Запад	16.6%	12.9%	4.5%	2.2%	11.5%	47.7%	23.0%	17.4%	10.5%	0.0%	1.4%	52.3%	100.0%
Центр	21.9%	16.4%	5.3%	1.8%	10.7%	56.1%	18.2%	13.8%	8.2%	0.0%	3.7%	43.9%	100.0%
Восток	11.8%	8.9%	3.1%	1.7%	8.5%	34.0%	29.6%	22.3%	13.3%	0.0%	0.8%	66.0%	100.0%
С.4	24.3%	17.8%	5.6%	1.5%	10.0%	59.3%	16.7%	12.6%	7.6%	0.0%	3.9%	40.7%	100.0%
Фед. о.б.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%
Итого внут. потр.	14.9%	11.3%	3.8%	1.6%	8.9%	40.6%	17.8%	13.5%	8.1%	18.2%	1.8%	59.4%	100.0%

Напротив, в условиях высоких транспортных издержек агенты предпочитают покупать продукты своего региона. Преобладающая часть закупок концентрируется на главных диагоналях таблицы ЗВ. Теперь фирмы и домохозяйства «Запада» потребляют уже по 23,2 и 35% выпуска, производимого фирмами своего региона, а соответствующие цифры на «Востоке» достигают 14,6 и 61,2% (табл. 6.5). Таким образом, изучение таблиц ЗВ подтвердило, что изменение величины транспортных издержек влияет на структуру использования продукции региона ожидаемым образом: при увеличении транспортных издержек наблюдается тенденция к автаркии регионов, когда продукция потребляется в основном внутри региона.

Таблица 6.5

**Структура использования валового продукта.
Случай высоких транспортных издержек**

	Промежуточный спрос						Конечное использование					Итого выпуск	
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Домохозяйства			Фед. пр-во	Экспорт		Итого к. исп.
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Запад	Центр	Восток	Фед. пр-во	Экспорт	Итого к. исп.	Итого выпуск
Запад	23.2%	7.2%	1.1%	9.8%	10.3%	51.6%	35.0%	10.0%	3.0%	0.0%	0.4%	48.4%	100.0%
Центр	14.2%	23.0%	3.3%	9.1%	10.3%	59.8%	6.9%	28.2%	4.7%	0.0%	0.4%	40.2%	100.0%
Восток	1.8%	3.0%	14.6%	6.3%	6.3%	32.0%	2.0%	4.1%	61.2%	0.0%	0.7%	68.0%	100.0%
С.4	19.2%	16.4%	6.1%	1.5%	2.0%	45.3%	20.1%	19.3%	13.8%	0.0%	1.6%	54.7%	100.0%
Фед. о.б.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%
Итого внут. потр.	15.0%	10.7%	3.0%	6.8%	7.4%	42.8%	18.0%	13.5%	8.3%	17.0%	0.5%	57.2%	100.0%

6.2.3. Анализ мультипликаторов

Полученные выводы подтверждаются анализом межрегиональных коэффициентов леонтьевского матричного мультипликатора $(I-A)^{-1}$, где I – единичная матрица и A – матрица прямых материальных затрат. Являясь отношением валового выпуска к конечному спросу, обратная матрица характеризует прямые и косвенные эффекты в экономике в результате изменений в конечном спросе. Прирост конечного спроса дает импульс росту производства через механизм прямых и обратных взаимосвязей между экономическими агентами в процессе производства и потребления. Вычисление коэффициентов $(I-A)^{-1}$ позволяет оценить и анализировать мультипликативное влияние различных событий на экономику.

Леонтьевские мультипликаторы, построенные на основе межрегиональной односекторной таблицы ЗВ, учитывают эффекты межрегиональных связей. Они позволяют оценить для каждого региона, как прирост конечного спроса на его продукцию повлияет на экономику этого региона, на экономику остальной части страны и на всю экономику страны. Эти мультипликаторы называются региональный мультипликатор, межрегиональный мультипликатор (мультипликатор межрегионального перелива) и национальный мультипликатор. Чем выше транспортные издержки, тем выше региональные (расположенные по диагонали) коэффициенты и ниже межрегиональные (внедиагональные) коэффициенты взаимодействия.

В таблице 6.6 в 1-м столбце региональный мультипликатор 1,31 показывает, на сколько должен вырасти валовой выпуск продукции в регионе «Запад», если конечный спрос на продукцию этого региона вырастет на единицу. Сумма коэффициентов 0,18 и 0,02 дает значение межрегионального мультипликатора. Это означает, что при росте конечного спроса на продукцию «Запада» на единицу валовой выпуск в остальной части страны увеличивается на 0,2. Сумма коэффициентов по первому столбцу, равная 1,51, – это национальный мультипликатор; он показывает, на сколько вырастает валовой выпуск в экономике РФ при том же предположении. Сравнение столбцов таблицы выявляет, что «Восток» наиболее зависим от межрегиональных поставок (имея самый высокий межрегиональный мультипликатор 0,43), а «Запад» – наиболее самодостаточен (имея самый высокий региональный мультипликатор 1,31).

Таблица 6.6

**Мультипликаторы межрегиональных взаимодействий.
Случай базового уровня транспортных издержек**

Показатель	Запад	Центр	Восток
Запад	1,31	0,27	0,22
Центр	0,18	1,29	0,21
Восток	0,02	0,03	1,13
Всего	1,51	1,60	1,56

Аналогичный анализ для случаев нулевых (табл. 6.7) и высоких (табл. 6.8) транспортных издержек дал следующие результаты.

Таблица 6.7

**Мультипликаторы межрегиональных взаимодействий.
Случай нулевых транспортных издержек**

Показатель	Запад	Центр	Восток
Запад	1,28	0,29	0,32
Центр	0,26	1,27	0,29
Восток	0,04	0,04	1,05
Всего	1,58	1,60	1,66

Таблица 6.8

**Мультипликаторы межрегиональных взаимодействий.
Случай нулевых транспортных издержек**

Показатель	Запад	Центр	Восток
Запад	1,37	0,26	0,19
Центр	0,19	1,36	0,23
Восток	0,01	0,02	1,18
Всего	1,57	1,64	1,60

Снижение транспортных издержек до нуля приводит к уменьшению региональных мультипликаторов и росту межрегиональных, что свидетельствует об усилении взаимных поставок регионов. В целом возрастают национальные мультипликаторы «Запада» и «Востока» (с 1,51 и 1,56 до 1,58 и 1,66, соответственно) при сохранении значения мультипликатора «Центра» на

уровне 1,6. Это означает, что поскольку эффективность межрегиональных закупок выросла, то в конечном спросе на продукцию региона доля внешнего спроса стала существенно выше. Поэтому для удовлетворения конечного спроса на свою продукцию регионы Запад и Восток должны увеличить объемы выпуска по сравнению с базовым случаем.

Повышение транспортных издержек производит обратный эффект. Интенсивность взаимных поставок, измеряемая межрегиональными мультипликаторами, ослабевает, усиливается самодостаточность регионов (региональные коэффициенты возрастают до 1,37, 1,36 и 1,18). Теперь, в ответ на рост конечного спроса на продукцию происходит рост выпуска, в основном, в данном регионе, а доля внешних закупок сокращается. Это свидетельствует об автаркизации трехрегиональной экономики.

Резюме. Проведенное исследование демонстрирует возможности пространственного анализа, предоставляемые агент-ориентированной многорегиональной моделью «затраты–выпуск» (АОМММ) российской экономики. Мы предложили метод обобщения результатов симуляции модели, включающий в себя статистическую агрегацию результатов расчетов, построение региональных, национальной и межрегиональной таблиц «затраты–выпуск» и структурный анализ полученных таблиц.

Результаты экспериментов по изменению величины транспортных издержек подтвердили, что этот показатель влияет на структуру использования продукции региона ожидаемым образом. В случае нулевых транспортных издержек структура использования продукции несущественно различается по принадлежности потребителя продукции к конкретному региону. При увеличении транспортных издержек наблюдается тенденция к автаркии регионов, когда продукция потребляется в основном внутри региона.

Данные выводы подтверждаются также анализом региональных леонтьевских мультипликаторов. Чем выше транспортные издержки, тем выше региональные коэффициенты и ниже межрегиональные коэффициенты взаимодействия.

Примененные в данном исследовании методы позволяют моделировать и анализировать различные экономические явления, связанные с потоками продукции внутри экономики. Одним из перспективных направлений дальнейших исследований могут быть эксперименты в русле новой теории торговли и новой эко-

номической географии; см. напр. [Combes P.-P., Mayer T., Thisse J.-F., 2008]. Один из интересных наблюдаемых в жизни эффектов – это так называемая внутриотраслевая торговля, когда близкие товары перевозят навстречу друг другу. Обычно этот феномен упоминают в контексте международной торговли, но он наблюдается и в товарных потоках внутри одной страны: товар, производимый в регионе *A*, может потребляться в регионе *B*, и одновременно такой же по названию товар, производимый в регионе *B*, может потребляться в регионе *A*. В новой теории торговли этот эффект получают на основе возрастающей отдачи от масштаба и стремления покупателей к разнообразию в рамках модели Диксита–Стиглица. В рассмотренных экспериментах наблюдалась ненулевая внутриотраслевая торговля даже при высоких транспортных издержках, поскольку стремление к разнообразию встроено в АОМММ. В то же время требуется дальнейшее развитие этой модели для учета мобильности производства и возрастающей отдачи (сейчас в АОМММ используются леонтьевские технологии с постоянной отдачей).

Представляется также, что модель с межотраслевой структурой типа АОМММ может быть подходящим средством для изучения проблемы возникновения агрегированных флуктуаций, поставленной Acemoglu и др. [34] с помощью многоотраслевой динамической модели вычислимого общего равновесия. Оказалось, что топология сети, образованной цепочками межотраслевых связей, а именно наличие поставщиков, значимых для большинства отраслей, серьезно влияет на флуктуационные свойства всей системы, так что микрошоки на уровне фирм могут приводить к потрясениям на макроуровне.

В целом можно утверждать, что агентно-ориентированные модели, включающие блок мониторинга пространственных взаимодействий агентов на основе отчетных таблиц ЗВ, обладают большим потенциалом для исследования изменения макропоказателей экономической системы в результате изменения поведения отдельных агентов.

Литература

1. *Tesfatsion L.* Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory // Tesfatsion L. and Judd K.L. (Eds.) Handbook of computational economics, Vol.II. Amsterdam: North-Holland, 2006. – Pp. 831–880.
2. *Макаров В.Л., Бахтизин А.Р.* Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). – М.: Экономика, 2013. – 295 с.
3. *Lengnick M.* Agent-based macroeconomics: A baseline model // Journal of Economic Behavior & Organization. 2013. Vol. 86. – Pp. 102–120.
4. *De Andrade P.R., Monteiro A.M.V., Camara G.* From input-output matrices to agent-based models: A case study on carbon credits in a local economy // In: Proceedings of the 2010 Second Brazilian Workshop on Social Simulation (BWSS '10). IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2010. – Pp. 58–65.
5. *Boero R.* Short and medium term evolution of a regional economy after the crisis: Forecasting the near future of Piedmont with an agent-based input output model // In: G. Russo and P. Terna (eds.). Innovare in Piemonte. Torino: Edizioni Otto, 2012.
6. *Mandel A., Fürst S., Lass W., Meissner F., Jaeger C.* Lagom generic: An agent-based model of growing economies // ECF Working Paper 1/2009. 2009. – 21 p. Режим доступа: http://diva-model.net/fileadmin/ecf-documents/publications/ecf-working-papers/mandel-fuerst-lass-meissner-jaeger_ecf-working-paper_2009-01.pdf, свободный. Загл. с экрана (дата обращения: ноябрь 2016 г.).
7. *Beckenbach F., Briegel R., Daskalakis M.* The influence of regional innovation systems on regional economic growth: Linking regional input-output analysis and agent-based modeling // Papers on agent-based economics. 2007. No. 1, University of Kassel. 33 p. Режим доступа: https://www.beckenbach.uni-kassel.de/files/pdfs/papers/roabe_nr1.pdf, свободный. Загл. с экрана (дата обращения: ноябрь 2016 г.).
8. *Hu Z., Zhang J., Zhang N.* China's economic gene mutations: By electricity economics and multi-agent. Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. – 491 p.
9. *Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А.* Интеграция подхода «затраты–выпуск» в агентно-ориентированное моделирование: межрегиональный анализ в искусственной экономике // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17.
10. *Суслов В.И., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Костин В.С., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А.* Опыт агент-ориентированного моделирования пространственных процессов в большой экономике // Регион: экономика и социология. 2014. № 4. – С. 32–54.

11. 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.
12. 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.
13. Gintis H. The dynamics of general equilibrium // Economic Journal. 2007. Vol. 117. Issue 523. – С. 1280–1309.
14. Система национальных счетов 2008 [Электронный ресурс] / Европейская комиссия. МВФ, ОЭСР, ООН, Всемирный банк. Нью-Йорк, 2012. – 827 с. Режим доступа: <http://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/SNA2008Russian.pdf>, свободный. Загл. с экрана (дата обращения: май 2016 г.).
15. Грассини М. Проблемы применения вычислимых моделей общего равновесия для прогнозирования экономической динамики // Проблемы прогнозирования. 2009. Вып. № 2. – С. 30–48.
16. Leontief W. Input-output economics. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1986. – 436 p.
17. Мельникова Л.В. Применение принципа «затраты – выпуск» на микроуровне // ЭКО. 2011. № 8. С. 44–52.
18. Isard W. Interregional and regional input-output analysis: A model of a space-economy // The Review of Economic Statistics. 1951. Vol. 33. No. 4. – Pp. 318–328.
19. Изард У. Методы регионального анализа: введение в науку о регионах. М.: Прогресс, 1966. – 660 с.
20. Moses L.N. The stability of interregional trading patterns and input-output analysis // American Economic Review. 1955. Vol. 45. No. 5. – Pp. 803–832.
21. Chenery H.B. Regional analysis // The structure and growth of the Italian economy / H.B. Chenery, P.G. Clark, and V. Cao Pinna, eds. Rome: U.S. Mutual Security Agency, 1953. – Pp. 97–129.
22. Hewings G.J.D., Jensen R.C. Chapter 8. Regional, interregional and multi-regional input-output analysis // Handbook of regional and urban economics. Vol. I / Ed. P. Nijkamp. Elsevier, 1986. – Pp. 295–355.
23. Гранберг А.Г. Межотраслевые модели оптимального размещения производительных сил СССР // Модели и методы оптимального развития и размещения производства. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 1965 / Науч. тр. Сер. экон. – Вып. 3.
24. Гранберг А.Г. Оптимизация территориальных пропорций народного хозяйства. – М.: Экономика, 1973. – 248 с.

25. Гранберг А.Г. Моделирование пространственного развития национальной и мировой экономики: эволюция подходов // Регион: экономика и социология. 2007. № 1. – С. 87–106.
26. *Gembicki F., Haimes Y.Y.* Approach to performance and sensitivity multiobjective optimization: The goal attainment method // IEEE Transactions on Automatic Control. 1975. Vol. 20. No. 6. – Pp. 769–771.
27. Ершов Ю.С., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В. Современные постановки прикладных межрегиональных межотраслевых моделей // Исследования многорегиональных экономических систем: опыт применения оптимизационных межрегиональных межотраслевых систем: сб. ст. / Под ред. В.И. Сулова. ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2007. С. 29–59.
28. Ершов Ю.С., Мельникова Л.В., Сулов В.И. Практика применения оптимизационных мультирегиональных межотраслевых моделей в стратегических прогнозах российской экономики // Вестник Новосибирского государственного университета. Сер.: Социально-экономические науки. 2009. Т. 9. Вып. 4. – С. 9–23.
29. Гамидов Т.Г., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М. Равновесные состояния открытой межрегиональной системы, порожденной оптимизационной межрегиональной межотраслевой моделью // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. 2013. Т. 13. № 3. – С. 81–94.
30. *Assenza T., Delli Gatti D.* E pluribus unum: Macroeconomic modelling for multi-agent economies // Journal of Economic Dynamics and Control. 2013. Vol. 37. Issue 8. – Pp. 1659–1682.
31. *Holmgren J., Ramstedt L., Davidsson P., Edwards H., Persson J.A.* Combining macro-level and agent-based modeling for improved freight transport analysis // Procedia Computer Science. 2014. Vol. 32. – Pp. 380–387.
32. *Oliva G., Panzieri S., Setola R.* Agent-based input–output interdependency model // International Journal of Critical Infrastructure Protection. 2010. Vol. 3. Issue 2. – Pp. 76–82.
33. *Combes P.-P., Mayer T., Thisse J.-F.* Economic geography: The integration of regions and nations. – Princeton: Princeton University Press, 2008. – 416 p.
34. *Acemoglu D., Carvalho V.M., Ozdaglar A., Tahbaz-Salehi A.* The network origins of aggregate fluctuations // Econometrica. 2012. Vol. 80. – Pp. 1977–2016.