

УДК 332.1: 519.876.5: 303.725.34
JEL C63, C67, D58, R15

Д. А. Доможиров, Н. М. Ибрагимов, Л. В. Мельникова, А. А. Цыплаков

*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия*

*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия*

*d.domozhirov@gmail.com, naimdjon.ibragimov@gmail.com
melnikova@ieie.nsc.ru, tsy@academ.org*

**ИНТЕГРАЦИЯ ПОДХОДА «ЗАТРАТЫ – ВЫПУСК»
В АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧАСТЬ 1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

Проводится сопоставление агент-ориентированной многорегиональной модели «затраты – выпуск» российской экономики и малоразмерной версии оптимизационной многорегиональной межотраслевой модели с точки зрения возможности их интеграции для исследований пространственной экономики. Эти модели имеют много схожих черт как на техническом, так и на содержательном уровне. Обе модели разделяют взгляд на экономику как на сложную систему с взаимозависимыми частями; имеют одинаковую пространственную и отраслевую структуру, технологии производства. Обе модели позволяют проводить структурный анализ происходящих в экономике процессов, как в отраслевом, так и в пространственном разрезе. Первая модель является имитационной, вторая – линейной оптимизационной; их главные отличия относятся к способам моделирования рыночных и ценовых механизмов и представления пространства. Использование пространственной модели «затраты – выпуск», построенной на отчетных данных как источника дезагрегированной информации на этапе инициализации агент-ориентированной модели открывает перспективы постепенного превращения ее из инструмента анализа искусственной экономики в экспериментальный полигон реальной экономики.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель, таблица «затраты – выпуск», межрегиональные связи.

Введение

Агент-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 агент-ориентированных моделей (далее АОМ) можно найти в [1] (см. также [2]).

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 приводят систему в новое состояние, описываемое макроэкономическими характеристиками. Принципиально важным преимуществом подхода, по мнению М. Ленгника [3], 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

Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М., Мельникова Л. В., Цыплаков А. А. Интеграция подхода «затраты – выпуск» в агентно-ориентированное моделирование. Часть 1. Методологические основы // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 1. С. 86–99.

функций агентов. Сравнительный анализ начального и конечного состояний системы является неотъемлемой частью агент-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 взаимодействие в производственных цепочках, выбрать производственные функции, оценить структуру потребления и многие другие параметры.

Поэтому на этапе инициализации АОМ естественной представляется идея использования таблиц «затраты – выпуск» (далее ТЗВ). ТЗВ, представляя входящие и исходящие потоки товаров и услуг по каждому сектору, дают информацию о его связях с поставщиками и потребителями. Так, П. де Андраде и др. [4] предлагают выделять агентов на основе региональной ТЗВ таким образом, чтобы каждый сектор был представлен одним агентом.

ТЗВ также используются в качестве источника информации о технологических коэффициентах производственной функции и о производственных цепочках. Имея ТЗВ для Пьемонта, Р. Бозро [5] разработал так называемую АОМ «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. А. Мандель и др. [6] для инициализации модели Lagom generiC для экономики Германии использовали ТЗВ Германского статистического института.

ТЗВ могут использоваться в качестве и входных, и выходных характеристик моделируемой экономики. Ф. Бекенбах и др. [7] использовали построение региональных ТЗВ в динамике для анализа изменений, происходящих в региональной экономике в результате распространения инноваций, моделируемых с помощью агент-ориентированного подхода.

Национальные ТЗВ являются ключевым элементом в реализованной Ху, Чжаном и Чжаном модели китайской экономики, названной авторами «Равновесная модель отклика агентов» (Agent Response Equilibrium model) [8]. 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 ТЗВ китайской экономики на 2015–2025 гг.

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 агент-ориентированной многорегиональной межотраслевой модели «затраты – выпуск» (АОМММ). Процедура сравнения будет описана во второй части статьи ¹.

Принципы построения модели

Подробное описание АОМММ можно найти в статьях В. И. Сулова и др. [9–11]. Мы представим только основные принципы, положенные в ее основу.

¹ См.: 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 (в печати).

Модель АОМММ относится к классу агент-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 [12]). В этой модели различные агенты, такие как фирмы и домашние хозяйства, взаимодействуют через товарные рынки, покупая и продавая товары.

Программно-модельный 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 ее обширной территорией и делением на регионы. На этапе инициализации используется различная информация, относящаяся к российской экономике, такая как географическое расположение и население городов. Кроме того, особенностью модели является то, что она совместима и обменивается информацией с существующей ОМММ России. В частности, она использует ту же региональную и производственную номенклатуру, те же коэффициенты в леонтьевских производственных функциях и т. п.

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

Географическая структура модели

При инициализации модели используется информация о региональной структуре российской экономики. Модель имеет иерархическую структуру (рис. 1). Территория России делится на три макрорегиона по границам федеральных округов (рис. 2). Технологии, используемые в макрорегионах, различаются, что отражает физико-географические различия в условиях производства. Далее, каждый из макрорегионов содержит несколько десятков субъектов Российской Федерации, которые в явном виде не моделируются, но статистическая информация о них используется при инициализации модели. В свою очередь, субъекты РФ содержат города со своими координатами центральных точек, данными о населении и числе фирм. Города также в явном виде не моделируются. Наконец, вокруг центральных точек городов располагаются агенты – домохозяйства и фирмы.

Вне этой иерархии имеется три внешних рынка (условно «Китай», «Центральная Азия» и «Европа») со своими географическими координатами, а также государственные предприятия, оказывающие транспортные услуги и производящие 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. 1. Иерархическая структура модели

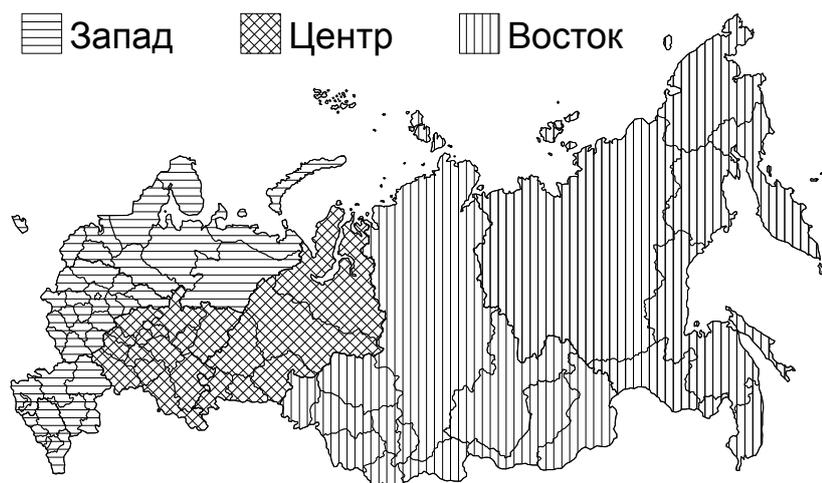


Рис. 2. Три макрорегиона по границам федеральных округов:
 «Запад» – Северо-Западный, Центральный, Южный, Северо-Кавказский;
 «Центр» – Приволжский, Уральский; «Восток» – Сибирский, Дальневосточный

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-х 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

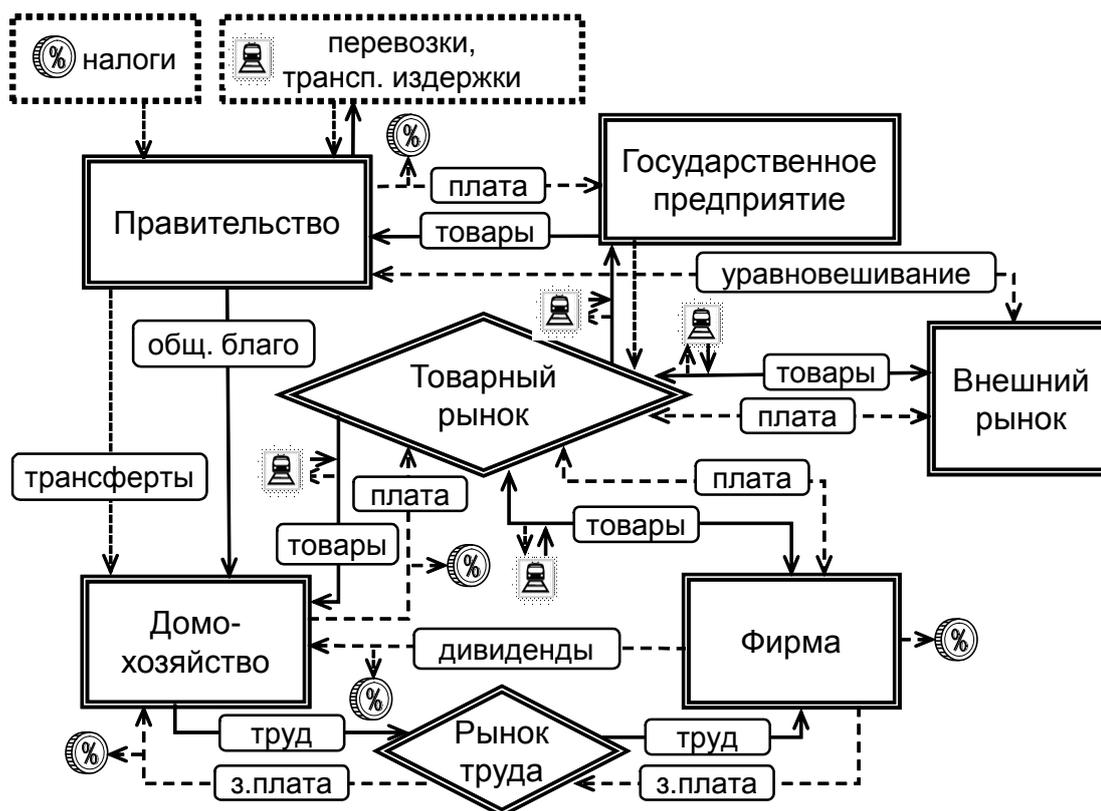


Рис. 3. Основные агенты и их взаимосвязи в АОМММ

имеет место конкуренция между продавцами, и транспортные издержки влияют на выбор покупателем продавца, а значит, и на географию транспортных потоков.

На рис. 3 структура взаимосвязей агентов в АОМММ представлена в виде схемы. Для упрощения эта схема не включает пенсионный фонд и некоторые взаимосвязи.

Таблицы и модели «затраты – выпуск»

Таблицы «затраты – выпуск»

Система ТЗВ является одним из концептуальных элементов СНС². Симметричная ТЗВ, известная также как межотраслевой баланс производства и распределения продукции, – это система статистических показателей, характеризующих 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 ТЗВ позволяет получить комплексное представление о структуре экономики, межотраслевых и / или межрегиональных связях. Таблицы могут использоваться для мониторинга развития экономики и макроэкономического анализа.

ТЗВ состоит 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 показы-

² Основные положения СНС изложены в: Система национальных счетов – 2008 / Европейская комиссия. МВФ, ОЭСР, ООН, Всемирный банк. Нью-Йорк, 2012. 827 с. URL: <http://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/SNA2008Russian.pdf> (дата обращения: май 2016 г.).

вает 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 источников затрат), 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 ТЗВ 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.

ТЗВ являются основным источником дезагрегированной информации для моделей, учитывающих отраслевую структуру экономики (например, вычислимых моделей общего равновесия; см. [13]). При наличии информации могут быть построены региональные и межрегиональные ТЗВ.

Модели «затраты – выпуск»

Модели «затраты – выпуск» строятся на фундаменте ТЗВ, 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 [14].

Модели «затраты – выпуск» 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 модели «затраты – выпуск» применяется не только на национальном уровне, но и на уровне предприятия в целях финансового учета, анализа технологических процессов, административного управления и стратегического планирования [15].

Естественным развитием анализа модели «затраты – выпуск» для экономики в целом является межрегиональный анализ. Пионером этого подхода был У. Айзард [16; 17], 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. Л. Мозес [18] и Г. Ченери [19] 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» межотрас-

левых моделей национальной экономики. Обзор межрегиональных межотраслевых моделей дан в [20].

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 ОМММ [21–23]. 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. Суслова.

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).

Оптимизационная многорегиональная межотраслевая модель

ОМММ можно представить 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 этого параметра скаляризуется векторный целевой критерий. Данный способ скаляризации задачи многокритериальной оптимизации является частным случаем метода достижения целей из теории векторной оптимизации [24]. По своему экономическому содержанию ОМММ 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);

$D_r^{\bar{k}s}$ – 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;

$g_s^{s\bar{k}}$ – 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 служат оценочные ТЗВ регионов. Некоторые экзогенные параметры модели формируются экспертно, исходя из ресурсных возможностей и технологической специализации регионов.

На рис. 4 структура модели ОМММ показана в виде блок-схемы. На схеме приведен блок ограничений (строк) региона r , а также блок общесистемных ограничений.

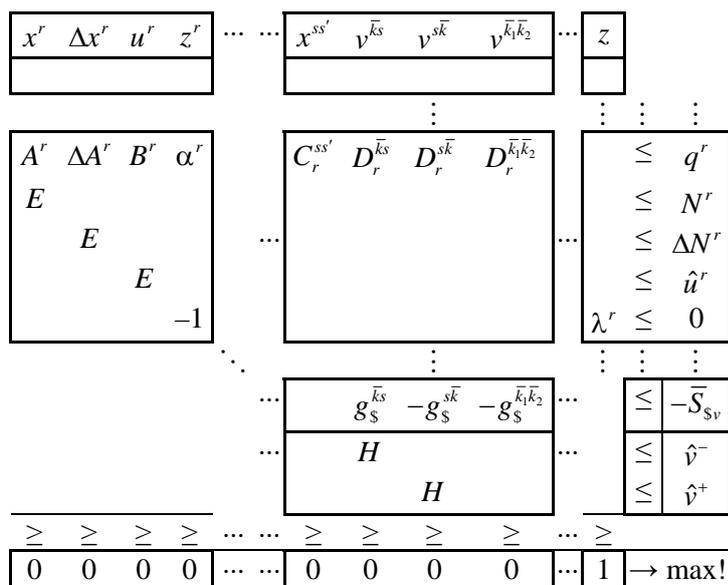


Рис. 4. Структура малоразмерной ОМММ

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 [25], а опыты ее прикладного применения в 2000-е гг. – в [26].

Малоразмерная ОМММ

АОМММ берет за основу существующий малоразмерный вариант ОМММ [27]. 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 материало-, трудо- 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 «затраты – выпуск» (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 «затраты – выпуск» 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) или как неоднородная (при моделировании выбора покупателем продавца используется конструкция Диксита – Стиглица, позволяющая отразить «стремление к разнообразию»). Это, в частности, дает возможность учесть встречные перевозки между парами регионов в рамках одного и того же сектора.

Заключение

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 агент-ориентированный подход какие-либо новые возможности по сравнению с традиционными и уже устоявшимися методами анализа. В этой статье мы описали два альтернативных подхода – агент-ориентированный и подход «затраты – выпуск», попытались провести их сопоставление и дать ответы на некоторые из возникающих вопросов.

В целом можно сделать вывод, что подходы не противоречат друг другу и что 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 модели «затраты – выпуск».

Список литературы

1. *Tesfatsion L.* Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory // Tesfatsion L., Judd K. L. (eds.) Handbook of computational economics. Amsterdam: North-Holland, 2006. Vol. 2. P. 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. P. 102–120.
4. *De Andrade P. R., Monteiro A. M. V., Camara G.* From input-output matrixes to agent-based models: A case study on carbon credits in a local economy // Proc. of the 2010 Second Brazilian Workshop on Social Simulation (BWSS'10). IEEE Computer Society. Washington, DC, USA, 2010. P. 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 // Russo G., Terna P. (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. URL: http://diva-model.net/fileadmin/ecf-documents/publications/ecf-working-papers/mandel-fuerst-lass-meissner-jaeger__ecf-working-paper_2009-01.pdf (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. URL: https://www.beckenbach.uni-kassel.de/files/pdfs/papers/poabe_nr1.pdf (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: Springer, 2015. 491 p.
9. *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.
10. *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.
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. *Gintis H.* The dynamics of general equilibrium // Economic Journal. 2007. Vol. 117, iss. 523. P. 1280–1309.
13. *Грассини М.* Проблемы применения вычислимых моделей общего равновесия для прогнозирования экономической динамики // Проблемы прогнозирования. 2009. № 2. С. 30–48.
14. *Leontief W.* Input-output economics. 2nd ed. New York: Oxford Uni. Press, 1986. 436 p.
15. *Мельникова Л. В.* Применение принципа «затраты – выпуск» на микроуровне // ЭКО. 2011. № 8. С. 44–52.

16. *Isard W.* Interregional and regional input-output analysis: A model of a space-economy // *The Review of Economic Statistics*. 1951. Vol. 33. No. 4. P. 318–328.
17. *Изард У.* Методы регионального анализа: введение в науку о регионах. М.: Прогресс, 1966. 660 с.
18. *Moses L. N.* The stability of interregional trading patterns and input-output analysis // *American Economic Review*. 1955. Vol. 45. No. 5. P. 803–832.
19. *Chenery H. B.* Regional analysis // *The structure and growth of the Italian economy* / Chenery H. B., Clark P. G., Cao Pinna V. (eds.) Rome: U.S. Mutual Security Agency, 1953. P. 97–129.
20. *Hewings G. J. D., Jensen R. C.* Chapter 8. Regional, interregional and multiregional input-output analysis // *Handbook of regional and urban economics* / Ed. by P. Nijkamp. Elsevier, 1986. Vol. 1. P. 295–355.
21. *Гранберг А. Г.* Межотраслевые модели оптимального размещения производительных сил СССР // *Модели и методы оптимального развития и размещения производства*. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 1965. Вып. 3. (Научные труды. Сер. экон.)
22. *Гранберг А. Г.* Оптимизация территориальных пропорций народного хозяйства. М.: Экономика, 1973. 248 с.
23. *Гранберг А. Г.* Моделирование пространственного развития национальной и мировой экономики: эволюция подходов // *Регион: экономика и социология*. 2007. № 1. С. 87–106.
24. *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. P. 769–771.
25. *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.
26. *Ершов Ю. С., Мельникова Л. В., Сулов В. И.* Практика применения оптимизационных мультирегиональных межотраслевых моделей в стратегических прогнозах российской экономики // *Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Социально-экономические науки*. 2009. Т. 9, вып. 4. С. 9–23.
27. *Гамидов Т. Г., Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М.* Равновесные состояния открытой межрегиональной системы, порожденной оптимизационной межрегиональной межотраслевой моделью // *Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Социально-экономические науки*. 2013. Т. 13, № 3. С. 81–94.

Материал поступил в редколлегию 20.11.2016

D. A. Domozhrov, N. M. Ibragimov, L. V. Melnikova, A. A. Tsyplakov

*Novosibirsk State University
1 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

*Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
17 Lavrentyev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

*d.domozhrov@gmail.com, naimdjon.ibragimov@gmail.com
melnikova@ieie.nsc.ru, tsy@academ.org*

INTEGRATION OF INPUT – OUTPUT APPROACH INTO AGENT-BASED MODELING. PART 1. METHODOLOGICAL PRINCIPLES

The article presents a comparison of the Agent-Based Multiregional Input–Output Model (ABMIOM) of the Russian economy and a small-size version of the Optimization Multiregional Input-Output Model (OMIOM) from the perspective of their possible integration for spatial economic research. These models share many similar features, technically and conceptually. The two

models regard the economy as a complex system of interdependent components; both have the same spatial and sectoral structure, similar production technologies. Both allow to perform a structural analysis of processes taking place in the economy in terms of industries and territories. The former is a simulation model, the latter is a linear optimization model; their major differences relate to the methods of modeling the market and price mechanisms and of representing the space. We propose to use a spatial input-output model based on the real data as the source of disaggregated information at the stage of initialization of agent-based models, which opens opportunities of gradual turning them into an experimentation area for the real economy, rather than an instrument for an analysis of an artificial economy.

Keywords: agent-based model, input – output table, interregional links.

References

1. Tesfatsion L. Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory. In: Tesfatsion L. and Judd K. L. (Eds.) *Handbook of computational economics*, Vol. II. Amsterdam: North-Holland, 2006, p. 831–880.
2. Makarov V. L., Bakhtizin A. R. Sotsial'noe modelirovanie – novyy komp'yuternyy proryv (agent-orientirovannyye modeli) [Social Modelling – A New Computer Breakthrough (Agent-Based Models)]. Moscow: Ekonomika, 2013, 295 pp. (In Russ.)
3. Lengnick M. Agent-Based Macroeconomics: A Baseline Model. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2013, vol. 86, p. 102–120.
4. De Andrade P. R., Monteiro A. M. V., Camara G. From Input-Output Matrixes 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, p. 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. URL: http://diva-model.net/fileadmin/ecf-documents/publications/ecf-working-papers/mandel-fuerst-lass-meissner-jaeger__ecf-working-paper_2009-01.pdf.
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. URL: https://www.beckenbach.uni-kassel.de/files/pdfs/papers/poabe_nr1.pdf.
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 pp.
9. Suslov V. I., Domozhirev D. A., Ibragimov N. M., Kostin V. S., Melnikova L. V., Tsyplakov A. A. Opyt agent-orientirovannogo modelirovaniya prostranstvennykh protsessov v bol'shoy ekonomike [Agent-Based Modeling Spatial Processes in the Large Economy]. *Region: ekonomika i sotsiologiya* [Region: Economics and Sociology], 2014, no. 4, p. 32–54. (In Russ.)
10. Suslov V. I., Domozhirev D. A., Ibragimov N. M., Kostin V. S., Melnikova L. V., Tsyplakov A. A. Agent-orientirovannaya mnogoregional'naya model' «zatraty – vypusk» rossiyskoy ekonomiki [Agent-Based Multiregional Input-Output Model of the Russian Economy]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and Mathematical Methods], 2016, vol. 52, no. 1, p. 112–131. (In Russ.)
11. Suslov V. I., Novikova T. S., Tsyplakov A. A. Modelirovanie roli gosudarstva v prostranstvennoy agent-orientirovannoy modeli [Simulation of the Role of Government in Spatial Agent-Based Model]. *Ekonomika regiona* [Economy of Region], 2016, vol. 12, issue 3, p. 951–965. (In Russ.)
12. Gintis H. The Dynamics of General Equilibrium. *Economic Journal*, 2007, vol. 117, issue 523, p. 1280–1309.
13. Grassini M. Problemy primeneniya vychislimykh modeley obshchego ravnovesiya dlya prognozirovaniya ekonomicheskoy dinamiki [Problems of Applying Computable General Equilibrium Models to Prediction of Economic Dynamics]. *Problemy prognozirovaniya* [Studies on Russian Economic Development], 2009, issue 2, p. 30–48. (In Russ.)

14. Leontief W. *Input-Output Economics*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1986, 436 pp.
15. Melnikova L.V. Primenenie printsipa “zatraty – vypusk” na mikrourovne [Applying the Input-Output Principle at the Micro Level] // *Eko*, 2011, no. 8, p. 44–52. (In Russ.)
16. Isard W. Interregional and Regional Input-Output Analysis: A Model of a Space-Economy. *The Review of Economic Statistics*, 1951, vol. 33, no. 4, p. 318–328.
17. Isard W. *Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science*. Cambridge: Technology Press of the Massachusetts Institute of Technology, New York: Wiley, 1960 [Russian edition: 1966].
18. Moses L. N. The Stability of Interregional Trading Patterns and Input-Output Analysis. *American Economic Review*, 1955, vol. 45, no. 5, p. 803–832.
19. Chenery H. B. Regional analysis. In: H. B. Chenery, P. G. Clark, and V. Cao Pinna (eds.), *The Structure and Growth of the Italian Economy*. Rome: U.S. Mutual Security Agency, 1953, p. 97–129.
20. Hewings G. J. D., Jensen R. C. Chapter 8. Regional, Interregional and Multiregional Input-Output Analysis. In: P. Nijkamp (ed.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, vol. I. Elsevier, 1986, p. 295–355.
21. Granberg A. G. Mezhotraslevye modeli optimal'nogo razmeshcheniya proizvoditel'nykh sil SSSR [Intersectional Models of Optimal Location of USSR Economic Activity]. In: *Modeli i metody optimal'nogo razvitiya i razmeshcheniya proizvodstva* [Models and Methods of Optimal Development and Location of Production]. Novosibirsk: Novosibirsk State University, 1965. (In Russ.)
22. Granberg A. G. *Optimizatsiya territorial'nykh proporsiy narodno-go khozyaystva* [Optimization of Territorial Proportions of the National Economy]. Moscow: Ekonomika, 1973, 248 pp. (In Russ.)
23. Granberg A. G. Modelirovanie prostranstvennogo razvitiya natsio-nal'noy i mirovoy ekonomiki: evolyutsiya podkhodov [Modeling of Spatial Development of National and World Economy: The Evolution of Approaches], *Region: Ekonomika i sotsiologiya* [Region: Economics and Sociology], 2007, no. 1, pp. 87–106. (In Russ.)
24. 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.
25. Ershov Y. S., Ibragimov N. M., Melnikova L. V. Sovremennye postanovki prikladnykh mezhregional'nykh mezhotraslevykh modeley [Modern Specifications of Applied Input-Output Models]. In: V. I. Suslova (ed.), *Issledovaniya mnogoregional'nykh ekonomicheskikh sistem: Opyt primeneniya optimizatsionnykh mezhregional'nykh mezhotraslevykh system* [Studies in Multiregional Economic Systems: Experimental Application of Optimization Input-Output Systems]. Institute of Economics SBRAS, Novosibirsk, 2007, pp. 29–59. (In Russ.)
26. Ershov Y. S., Melnikova L. V., Suslov V. I. Praktika primeneniya optimizatsionnykh multiregional'nykh mezhotraslevykh modeley v strategicheskikh prognozakh rossiyskoy ekonomiki [Practice of Applying Optimization Input-Output Models for Strategic Forecasting of Russian Economy]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta* [Herald of Novosibirsk State University]. Socio-Economic Series, 2009, vol. 9, issue 4, pp. 9–23. (In Russ.)
27. Gamidov T. G., Domozhiron D. A., Ibragimov N. M. Ravnovesnye sostoyaniya otkrytoy mezhregional'noy sistemy, porozhdennoy optimizatsionnoy mezhregional'noy mezhotraslevoy model'yu [Equilibrium States of an Open Interregional System Generated by a Optimization Input-Output Model]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta* [Herald of Novosibirsk State University]. Socio-Economic Series, 2013, vol. 13, no. 3, p. 81–94. (In Russ.)

For citation:

Domozhiron D. A., Ibragimov N. M., Melnikova L. V., Tsyplakov A. A. Integration of Input – Output Approach into Agent-Based Modeling. Part 1. Methodological Principles. *World of Economics and Management*, 2017, vol. 17, no. 1, p. 86–99. (In Russ.)