

## ПРОБЛЕМА ОЦИФРОВКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕЖОТРАСЛЕВОГО БАЛАНСА\*

Евгений Львович ТОРОПЦЕВ<sup>а,\*</sup>, Александр Сергеевич МАРАХОВСКИЙ<sup>б</sup>,  
Рамзия Ризаевна ДУЖИНСКИ<sup>с</sup>

<sup>а</sup> доктор экономических наук, профессор кафедры бизнес-информатики,  
Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ),  
Ставрополь, Российская Федерация  
eltoroptsev@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4036-6002>  
SPIN-код: 7087-1760

<sup>б</sup> доктор экономических наук, профессор кафедры экономики, финансов и права,  
Филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова в Пятигорске,  
Пятигорск, Российская Федерация  
marahov@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2248-8425>  
SPIN-код: 5356-5570

<sup>с</sup> доктор психологических наук, профессор,  
Колледж гуманитарных и естественных наук, Университет Нэшнл Льюис,  
Чикаго, Соединенные Штаты Америки  
ramzia@aol.com  
ORCID: отсутствует  
SPIN-код: отсутствует

\* Ответственный автор

### История статьи:

Рег. № 35/2020  
Получена 21.01.2020  
Получена в доработанном виде 13.02.2020  
Одобрена 27.02.2020  
Доступна онлайн  
28.05.2020

УДК 330.366

JEL: B41, C02, C61, C68

### Аннотация

**Предмет.** Оцифровка динамической модели межотраслевого баланса.

**Цели.** Разработка авторской статистической базы исследований в области межотраслевого анализа, структурного прогнозирования, устойчивости, экономической динамики и экономического роста. Математически исследование формализуется задачей Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Кроме указанных областей анализа работа открывает новые возможности по изучению межотраслевых инерционностей экономических систем.

**Методология.** Компонентами методологии при написании статьи явились теоретические и практические основы системного, статистического, межотраслевого и структурного динамического анализа. Важной задачей явилось обеспечение вычислительной готовности авторской теории структурных/собственных динамических свойств экономики как системы. На пути ее решения возникла необходимость разработки методов генерации собственной статистической базы расчетных исследований. Без решения этой проблемы было бы невозможно количественно определить основную динамическую межотраслевую модель. Последнее необходимо для проведения широкого спектра численных исследований многих задач моделирования устойчивости, экономической динамики и экономической конъюнктуры.

**Результаты.** На основе данных официальной статистики решена проблема оцифровки динамической модели межотраслевого баланса, записанной в виде системы дифференциальных уравнений. Впервые данная модель из множества чисто теоретических конструкций переведена в класс

вычислимых, то есть эконометрически (количественно, численно) определенных моделей. Для указанного перевода в виде методики разработана последовательность согласованных действий и вычислений. Разработаны и представлены элементы авторской статистической базы исследований. Область применения результатов – макроэкономическое моделирование, решение задач структурной устойчивости, экономического роста, анализа внутренних/собственных динамических свойств экономических систем на макроуровне.

**Ключевые слова:**

динамическая модель,  
межотраслевой баланс,  
устойчивость,  
экономический рост,  
инерционность

**Выводы.** Количественное определение динамической межотраслевой модели в виде системы дифференциальных уравнений открывает широкие перспективы в области устойчивости макроэкономики, ее структурной готовности к расширенному воспроизводству, то есть к экономическому росту. Модель может использоваться как самостоятельно, так и в комплексе с равновесными и иными агент-ориентированными моделями.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2020

**Для цитирования:** Торопцев Е.Л., Мараховский А.С., Дужински Р.Р. Проблема оцифровки динамической модели межотраслевого баланса // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2020. – Т. 19, № 5. – С. 946 – 972.  
<https://doi.org/10.24891/ea.19.5.946>

Современное состояние математического, инструментального и статистического обеспечения экономических исследований позволяет сместить идеологию и практику многоуровневого межотраслевого анализа сложных экономических систем в область активного применения высокоразмерных динамических моделей. На их основе целесообразно проведение комплексных многовариантных исследований и планово-прогнозных расчетов возможных состояний, уровня развития и структурной устойчивости экономики.

Проблема применения дифференциальных уравнений в динамических моделях межотраслевого баланса (МОБ) непосредственно связана с отсутствием исходных данных, обычно представляемых в матричном виде. Официальная статистика разрабатывает таблицу прямых материальных затрат на основе двух таблиц: таблицы ресурсов и таблицы использования товаров и услуг. Остальные данные доступны только в виде векторов, чего явно недостаточно для оцифровки системы дифференциальных уравнений, описывающей динамику основных показателей МОБ. Проблема эта в России не имела решения со времен В.В. Леонтьева, разработавшего теоретическое обоснование применения дифференциальных уравнений в межотраслевом балансе. Отечественные авторы применяют только дискретные аналоги, основанные на математической рекурсии и разностных схемах, используют иные обходные пути для отображения динамики в экономике. При большом шаге дискретизации, обычно равном одному году, это обуславливает быстрое накопление погрешностей вычислений.

Анализ публикаций, содержащих результаты исследований по межотраслевому анализу, позволяет видеть, что это и смежные с ним направления имеют большую историю в

\* Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ. Грант № 20-010-00084А «Математическое моделирование структурной устойчивости и макроэкономической динамики».

отечественной и зарубежной экономической науке. В России естественным образом доминируют такие научные центры, как ИНП РАН, ЦЭМИ РАН, ИЭОПП СО РАН, ведущие университеты страны. Примеры работ, по которым можно судить о состоянии и уровне межотраслевых исследований в последние 5–6 лет, содержащие полученные в указанных организациях фундаментальные научные результаты, можно представить списком работ [1–5]. При этом в работе [1] рассматриваются оптимизационные задачи в равновесном моделировании, в работе [2] показана структурная декомпозиция сложной системы для определения причин изменения выпусков и экспортно-импортного сальдо в динамике. Работы [3] и [4] исследуют балансовые модели как инструменты анализа и прогнозирования в экономике, а в работе [5] показан очередной этап развития межотраслевой макроэкономической модели RIM – Russian Interindustry Model, разрабатываемой одноименной группой в ИНП РАН. Взаимосвязи структурных изменений, эффективности внешнеэкономических связей и масштабов инвестиционной деятельности в отечественной экономике исследуют Н.В. Суворов и Е.Е. Балашова [3], на основе МОБ анализируют экономические связи на постсоветском пространстве А.Р. Саяпова, А.А. Широ́в, А.А. Янтовский [4]. Те же авторы регулярно рассказывают о совершенствовании уже упомянутой нами модели RIM – ядра комплексных прогнозных расчетов. Использование динамического МОБ для моделирования и прогнозирования с блоком человеческого капитала предлагает Э.Ф. Баранов с соавторами [2].

Зарубежье в области межотраслевого анализа традиционно представляется группой ИНФОРУМ под руководством К. Алмона [6, 7], хотя ею не исчерпывается представительство иностранцев в проблеме. ИНФОРУМ же, как международный центр межотраслевых исследований, объединяющий и названные российские структуры РАН, на постоянной основе разрабатывает модели, инструментарий и прогнозы, которыми пользуются как фирмы, так и госструктуры по всему миру. Широкую известность приобрели модели RIM, QUMMIR, целое семейство CGE и проекты WOID и KLEMS. Последний, правда, был закрыт в 2015 г. Краткий обзор результатов исследований группы, касающийся темы нашей работы, занял бы слишком много места. Поэтому здесь мы только отметим обобщающий характер материалов конференции ИНП РАН «Прогнозирование экономического роста», проведенной в 2017 г. и приуроченной к 80-летию академика Ю.В. Яременко<sup>1</sup>. Конференция рассмотрела практически все актуальные аспекты межотраслевого анализа нашего времени. Только от ИНП РАН в ней приняли участие В.В. Ивантер, М.Н. Узяков, Г.Р. Серебряков, А.Г. Коровкин, Т.Н. Федоровская, С.Н. Македонский, А.А. Херсонский, О.Ю. Шибалкин, А.А. Широ́в, И.Б. Королев, А.В. Полежаев, А.А. Янтовский и другие ученые – авторы трудов, прямо или косвенно относящихся к рассматриваемой нами теме.

Межотраслевые исследования широко освещает журнал «Проблемы прогнозирования». Как отдельные статьи, так и целые номера журнала регулярно посвящаются проблемам использования моделей МОБ в современных научных исследованиях и экономической

<sup>1</sup> Ивантер В.В. и др. Структурно-инвестиционная политика в целях устойчивого роста и модернизации экономики. М.: ИНП РАН, 2017. 34 с.

политике. Примеры можно видеть в работах [8–10]. Журнал привлекает авторов, в научной работе которых применение метода «затраты – выпуск» позволило получить значимые научные результаты. Особо хотелось бы выделить статью М.Н. Узякова [9], в которой с использованием инструментария МОБ анализируется влияние на динамику суммарного валового выпуска Российской Федерации в 1990–2013 гг. таких макроструктурных факторов, как конечный спрос и матрица коэффициентов прямых затрат. Рассчитаны оценки вклада этих факторов в экономическую динамику в период трансформационного спада 1991–1998 гг. и последующего восстановительного роста 1999–2013 гг. Этот же автор в той же работе поднимает важную проблему разработки собственной статистической базы исследований или хотя бы ее элементов, возникающую у многих ученых, занимающихся математическим моделированием и расчетными исследованиями в экономике. На сегодня это и наша тема, проблема, работа.

Направления использования межотраслевого метода в разных вариантах прогнозно-аналитических исследований материально-вещественных пропорций воспроизводства развивают авторы работ [11–14] и др. В качестве примеров зарубежных исследований в области межотраслевого и смежного с ним агентного моделирования можно также привести работы [15, 16].

Мировая практика применения метода «затраты – выпуск» описывается у К. Алмона в работе [17], анализ и прогнозирование структурных параметров экономики разрабатывает А.Р. Саяпова с коллегами, обоснование решений в области экономической политики на основе таблиц «затраты – выпуск» предлагает А.А. Широков, а методы построения системы симметричных таблиц – А.Ю. Маслов. Методики сопоставительного анализа экономик разных стран отрабатывает П.А. Суворов. Работы перечисленных в нашей статье ученых легко доступны в поисковиках Интернета, поэтому мы не стали расширять список источников литературы – чаще всего это статьи из журнала «Проблемы прогнозирования» и научные отчеты ИМП РАН.

Эффективность инвестиционных проектов посредством интеграции подхода «затраты – выпуск» в агент-ориентированное моделирование и задачи пространственного размещения экономики исследует коллектив ИЭОПП СО РАН под руководством члена-корреспондента РАН В.И. Суслова. Это работы [18–20], приводимые в качестве примера. Здесь надо заметить, что микроэкономические подходы агент-ориентированного моделирования, особенно опирающиеся на положения неоклассической экономической теории, нуждаются в дополнительной проверке и поддержке в отношении применимости неоклассики в конкретных социально-исторических и схемно-режимных условиях функционирования экономики как системы.

Опыт применения агентных [21, 22] (равновесных и других агент-ориентированных) вычислимых моделей для прогнозирования, управления, оптимизации, разработки и оценивания качества экономической политики насчитывает уже более полувека. Однако эти модели не определяют технологическую готовность экономики к расширенному

воспроизводству, к экономическому росту. Без такого знания возможны ошибки в расчетах, когда, например, будут определены несуществующие точки равновесия, или за рост величины  $X$  постоянно надо будет «платить»  $Y$ , где  $Y > X$ . Такой рост не имеет экономического смысла.

Наконец, нельзя пройти мимо монографии Э.И. Позамантира [23], содержащей результаты выполненного автором исследования вопросов развития и применения модели динамического МОБ и ее обобщения – модели вычислимого общего равновесия экономики.

Теперь отметим, что эти и многие другие значимые результаты были получены с использованием статического МОБ или набора таких моделей [24] для последовательных интервалов времени в целях отображения экономической динамики. Такой естественный динамический вариант МОБ, как система дифференциальных уравнений, оставался невостребованным вследствие невозможности его оцифровки.

Наше исследование определяет пути решения проблемы получения и верификации недостающей статистики для решения задачи оцифровки динамической модели МОБ вида

$$BpX(t) + AX(t) + Y(t) = X(t), X(0) = X_0, \quad (1)$$

где  $p = d / dt$  – оператор дифференцирования по времени;

$B$  – матрица коэффициентов межотраслевых инерционностей, элементы которой имеют размерность времени;

$A$  – технологическая матрица коэффициентов текущих (прямых) затрат;

$X(t)$  – вектор-функция валовых выпусков по видам экономической деятельности (ВЭД) [25];

$Y(t)$  – вектор-функция конечного спроса.

Модель (1) увидела свет в трудах В.В. Леонтьева еще в 1952 г. Советскому и российскому читателю она известна, скорее всего, из книги «Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика», опубликованной Политиздатом в 1990 г. Динамическая теория «затраты – выпуск» стараниями Леонтьева и его учеников проходила первую экспериментальную проверку в 1950-х гг. Отечественная наука и практика не придали этому большого значения. В СССР и в России оцифровка модели (1) была и остается невозможной по причине того, что матрица  $B$  данной модели никогда не разрабатывалась и не планируется к разработке официальной статистикой. Таким образом, с легкой руки авторитетных ученых эта модель была отнесена к семейству «чисто теоретических конструкций» [3], а исследователи стали искать различные, как мы уже отмечали, обходные пути, избегающие работы непосредственно

с моделью (1). Успешный пример этого как раз и можно видеть в работе [23]. А модель (1) осталась в учебной литературе, где студентам предлагаются условные примеры с матрицами размерности  $(3 \times 3)$ .

Достижение цели нашего исследования решительно переводит модель (1) в семейство вычислимых, то есть количественно определенных моделей макроэкономики. На ее основе возможна эффективная работа по следующим направлениям, часть из которых недоступна другим моделям.

1. Прежде всего надо отметить не утрачивающую актуальности инженерно-экономическую и научно-техническую проблему анализа и синтеза структурных или собственных/внутренних динамических свойств (СДС) экономических систем. В этой же плоскости лежит многоаспектная народнохозяйственная задача обеспечения структурной колебательной и аperiodической статической устойчивости макроэкономики, определения множества ее состояний, качества переходных процессов и степени готовности к расширенному воспроизводству.
2. Достижение целей и решение задач, сформулированных в п. 1, вызывает к жизни разработку специализированного математического аппарата для анализа и оптимизации СДС. К их числу относятся такие структурные характеристики экономики, как декременты или инкременты составляющих движения, их частоты в случае наличия циклических колебаний, обусловленных структурными дефектами экономики, наблюдаемость движений в отраслях, их возбуждаемость, управляемость, чувствительность к управляющим воздействиям, прежде всего в форме инвестиций, а также количественные характеристики перечисленных показателей СДС.
3. Инструменты исследования экономики, полученные в пп. 1 и 2, актуализируют постановку и решение оптимизационных структурных задач в целях синтеза некоторых оптимальных структур, способных к расширенному воспроизводству – к обеспечению необходимых условий экономического роста. При этом достаточным условием следует считать совершенство лиц, принимающих качественные экономические решения. Формальная сторона указанных оптимизационных задач лежит в плоскости теории дифференциальных уравнений, линейной алгебры и прикладного нелинейного программирования. Их решение приводит к появлению новой методологии разработки и оценки эффективности инвестиционной и вообще всей денежно-промышленной политики.
4. Перечисленные положения позволяют ставить и решать комплекс частных задач. Они могут быть связаны с анализом быстропереходных процессов, например, в монетарном секторе макроэкономики, с эквивалентированием моделей типа (1), с реализацией избирательного управления отдельными компонентами структурных движений или их группами, с формированием критериев качества переходных процессов для успешной работы в составе алгоритмов оптимизации и многими другими вопросами. При этом всегда имеется возможность определения обобщенных

цен путем решения ценовой модели МОБ или постановки и решения задачи определения цен единого уровня, как у В.Д. Белкина в работе [26].

Подводя итог сказанному в перечисленных пунктах, надо отметить, что фундаментальные научные результаты по части заявленного в них уже получены и опубликованы авторами данной статьи. Только алгоритм оцифровки модели до сих пор оставался собственностью авторов. В данной статье мы раскроем основные особенности процесса оцифровки модели (1), которую В.В. Леонтьев никогда не называл «чисто теоретической», но российские авторы поступали именно так, потому что Росстат не предоставлял ни матрицы  $B$ , ни технологии ее получения. Проблема на сегодняшний день обойдена молчанием.

Более того, в последние годы перестала публиковаться и матрица  $A$  модели (1), хотя в ее отношении сказано и сделано много, методики ее определения известны, а саму матрицу за разные годы можно видеть воочию. В отношении  $B$  ничего подобного нет. Нам не удалось установить того, кто ее видел хотя бы для какой-либо зарубежной экономики. Между тем, еще с конца 1940-х гг. в Гарвардском экономическом исследовательском центре по применению и распространению метода «затраты – выпуск» Леонтьевым было положено начало разработки динамического варианта этого метода, уже тогда демонстрировавшего свои возможности по анализу экономического роста. Методику и результаты такого анализа можно видеть в сводной книге (сборнике статей по общей тематике) В.В. Леонтьева «Исследования структуры американской экономики», выпущенной в 1958 г. Государственным статистическим издательством. Там матрица  $B$  в анализе – неперемный участник. Мы не станем описывать те самые «обходные пути» советских и российских исследователей, к которым они вынуждены были прибегать при выполнении структурного динамического анализа, а перейдем к рассмотрению процедуры построения матрицы  $B$ .

Основным источником информации для определения искомой матрицы являются таблицы формирования выпуска товаров и услуг, представленные, например, в издаваемых Росстатом сборниках о национальных счетах России за разные годы. Строки и столбцы этих таблиц содержат основные ВЭД. В текущем году такие таблицы доступны с временным лагом в два года. Они имеют преобладание главной диагонали над внедиагональными элементами, что естественно – выпуск профильной продукции ВЭД всегда доминирует. Качественно это явление видно на *рис. 1*, где слева представлена вся таблица, а справа она же, но без диагонали. На фоне диагонали высота других столбцов пренебрежимо мала, тогда как без диагонали видно, что взаимные финансовые потоки между различными ВЭД все-таки существуют, но они в сотни раз меньше собственных, внутренних потоков отдельных ВЭД. Так незаметно в научный оборот вводится новое понятие – «собственные и взаимные финансовые потоки».

Отметим, что вектор валового выпуска определяется суммированием элементов строк обсуждаемой таблицы.

Следующими компонентами данных для решения нашей задачи являются соотношения промежуточного потребления и добавленной стоимости по ВЭД. Росстат публикует ежегодные данные в виде векторов промежуточного потребления и добавленной стоимости. Как известно, по валовой добавленной стоимости (ВДС) может быть исчислен ВВП – есть целый ряд формальных методик. С допустимой для нашего исследования погрешностью верно будет считать, что покомпонентно структура ВВП соответствует структуре НДС.

Если бы мы располагали матрицей формирования промежуточного потребления, обозначив ее *MIC* (от англ. The Matrix of Intermediate Consumption), и равной ей по размерности матрицей формирования добавленной стоимости *MVA* (The Matrix of Value Added), то статический МОБ позволил бы записать уравнение:

$$PM^T = MIC + MVA, \quad (2)$$

где *PM* – матрица формирования выпуска товаров и услуг (валового выпуска – production matrix);

*T* – символ транспонирования.

Здесь и далее несколько следующих подряд заглавных букв означают один математический объект, а не произведение переменных. Математически формула (2) реализует сложение матриц I и III квадрантов МОБ, однако статистика не позволяет это сделать «в лоб» по уже указанной причине, вместо *MIC* и *MVA* предоставляя соответствующие векторы: *ICV* (Intermediate Consumption Vector – вектор промежуточного потребления) и *VAV* (Value Added Vector – вектор добавленных стоимостей).

Тогда вектор выпуска

$$X = ICV + VAV. \quad (3)$$

Теперь предпримем следующее: представим матрицу *PM* в виде двух слагаемых, как в формуле (2), но с учетом пропорций, задаваемых векторами из формулы (3):

$$PM^T = \text{diag}((PM^T)^{-1}ICV)PM^T + \\ + \text{diag}((PM^T)^{-1}VAV)PM^T. \quad (4)$$

Два слагаемых в правой части равенства (4) по аналогии с (2) являют собой матрицы *MIC* и *MVA* соответственно. Мы не будем здесь публиковать эти массивы, чтобы не занимать место.

Переход от финансовых потоков к коэффициентам затрат предполагает рассмотрение и объяснение следующего представления, записанного на основе (2):

$$PM^T \cdot \text{diag}(1/X)X = MIC \cdot \text{diag}(1/X)X + MVA \cdot \text{diag}(1/X)X. \quad (5)$$

Из (5) видно, что произведение диагональной матрицы  $\text{diag}(1/X)$  на вектор  $X$  дает единичный вектор – это во-первых. А во-вторых, умножение матрицы  $PM^T$  на единичный вектор реализует операцию суммирования по строкам, что приводит к получению вектора валового выпуска  $X$ . То есть слева от знака равенства в (5) стоит валовой выпуск. В-третьих, произведение  $PM^T \cdot \text{diag}(1/X) = BM$  дает некоторую матрицу (назовем ее базовой матрицей – base matrix), которая будучи умноженной на вектор  $X$  дает тот же вектор  $X$ , то есть  $X$  является собственным вектором матрицы  $BM$  и ему соответствует собственное значение, равное единице. Базовая матрица учитывает в явном виде отраслевые и межотраслевые (межвидовые) взаимодействия в экономике, которые изначально «свернуты» в пропорциях вектора выпуска  $X$ . Поэтому существует возможность по данным вектора валового выпуска  $X$  и структуре базовой матрицы  $BM$  восстановить реальные собственные и взаимные финансовые потоки в экономике.

Очевидно, что уравнение (5) есть вариант статического МОБ – специфический вид ценовой двойственной модели Леонтьева. Действительно, уравнение (5) можно по столбцам схемы МОБ переписать так:

$$\begin{aligned} BM \cdot X &= A^T \cdot X + MVA \cdot X; \\ X &= BM^{-1} \cdot A^T \cdot X + BM^{-1} \cdot MVA \cdot X; \\ X &= A^T \cdot X + VAV. \end{aligned} \quad (6)$$

При этом соответствие переменных легко устанавливается: нижнее уравнение представляет собой статический МОБ, в котором  $A^T \cdot X$  – вектор затрат отраслей на единицу выпуска.

Новизна заключается в применении базовой матрицы, которая в простых векторных вычислениях ведет себя как единичная матрица, поэтому ее до данного изложения просто не замечали. Но для операций с матрицами и решения задач восстановления матричной структуры экономики она необходима, так как в ней содержится информация, «свернутая» в векторе валового выпуска  $X$ . Как видно из последнего уравнения (6), информация о матричной структуре материальных затрат все еще содержится в первом слагаемом правой части, тогда как структура валовой добавленной стоимости пока «свернута» в векторе  $VAV$ . Процесс восстановления этой информации связан с применением базовой матрицы, рассмотренным в данной статье способом. Дело в том, что вектор  $VAV$  содержит в себе значительный объем экономической информации, и дальнейшие преобразования, усложняющие математические модели, связаны с извлечением и использованием этой информации.

Обратим внимание на базовую матрицу, полученную по данным за 2015 г. Стартовым в нашем исследовании был 2011 г. В этом году сошло на нет явное влияние мирового кризиса 2009–2010 гг. на экономику России, поэтому начиная со стартового года,

структура нашей экономики восстанавливалась к докризисному состоянию, наращивая темпы валового производства. Сложившаяся к 2015 г. структура валового производства представлена на *рис. 2*. Названия строк и столбцов в матрице соответствуют названиям видов экономической деятельности (*табл. 1*).

Базовая матрица приведена для того, чтобы показать диагональное доминирование ее элементов, что говорит о слабости межотраслевых связей в экономике России, линейности ее динамики, во всяком случае при данном уровне детализации модели. Нули в приведенной матрице говорят об отсутствии взаимных финансовых потоков, то есть об отсутствии межотраслевых взаимодействий. При этом мы сразу исключили из таблицы формирования выпуска товаров и услуг последние строку и столбец, соответствующие деятельности домашних хозяйств, поскольку там расположен только один диагональный элемент. Отсутствие всякой связи с другими ВЭД (как в таблице формирования выпуска товаров и услуг сборника Росстата о национальных счетах России) позволяет учесть домашние хозяйства в элементах конечного спроса.

Моделирование экономики по оставшимся 15 видам экономической деятельности говорит о довольно простой и уже потому неудовлетворительной хозяйственной структуре страны. Примитивность межотраслевых связей налицо. В данном случае это выражается в том, что в первом приближении можно вообще обнулить внедиагональные элементы и рассматривать вместо экономики из 15 видов экономической деятельности 15 односвязных линейных систем в отдельности. С точки зрения управления структурными реформами для придания экономике как системе желаемых СДС это неудовлетворительно – ВЭД должны взаимодействовать в модели, в противном случае структуру экономики изменить не удастся. Проблема появления сложного продукта с высокой добавленной стоимостью, удовлетворяющего спрос, останется нерешенной. При этом также остается открытым вопрос: что неудовлетворительно, экономика или ее модельное представление. Скорее всего, в данном случае неудовлетворительно и то, и другое. Но мы не уверены в том, что обращение к моделям более высокой размерности изменит представление о «простоте» структуры современной экономики России. Она сложилась в последние четверть века, упрощение межотраслевых связей при одновременном формировании структуры спроса было обеспечено проведенными в постсоветское время реформами. Что конкретно мы имеем в виду с точки зрения экономического анализа? А то, что в векторе выпуска экономики современной России доминируют продукты (ВЭД), получаемые в очень коротких технологических цепочках. Такие продукты производят сырьевые секторы при минимальной (первичной) переработке этого сырья, да еще сектор услуг. Это порождает выводы о неразвитости российской экономики, что обусловлено в том числе и фактом неэффективности существенной части унаследованного Россией основного капитала СССР, который в купе со всем негативом подвергся утилизации в наступившем переходном к рынку времени. В этих условиях сформировавшийся спрос покрывается за счет импорта, что объективно создает предпосылки для импортозамещения за счет создания современных производств высоких переделов с высокой добавленной стоимостью выпуска.

Однако вернемся к нашей основной задаче.

Получение матрицы  $B$  на основе данных по экономической динамике, структуре экономики и рынку труда представляет собой некорректную задачу, которая не имеет однозначного решения. Сама эта матрица, как и все прочие нами рассмотренные, «отвечает» за динамические свойства, формирует их, задавая характеристики межотраслевых инерционностей.

Теоретически модель динамического МОБ можно записать так:

$$BM \cdot X = A \cdot X + B \frac{dX}{dt} + L \cdot X, \quad (7)$$

где  $L$  – матрица затрат на трудовые ресурсы, поставляемые домашними хозяйствами. Элементы этой матрицы определяются, например, нормами потребления и трудоемкости в различных ВЭД. Это обобщенно, при понимании, что в  $L$  учитываются разные компоненты спроса на непроемчивое потребление в секторе правительства, например, а также экспортно-импортное сальдо.

Уравнение (7) переписывается в нормальной форме Коши для начальных условий 2011 г.:

$$\frac{dX}{dt} = B^{-1}(BM - A - L)X, \quad X(0) = X_{2011}, \quad (8)$$

что через матричную экспоненту выглядит так:

$$X(t) = \exp(Gt)X(0), \quad X(0) = X_{2011}, \quad (9)$$

$$G = B^{-1}(BM - A - L),$$

где  $\exp(Gt)$  – матричная экспонента.

Уравнения (8) и (9) доставят нам варианты матрицы  $B$ . Валовые выпуски в номинальном исчислении на интервале 2011–2015 гг. представлены соответствующими значками на *рис. 3*. На нем же показаны теоретические кривые, хорошо согласующиеся с данными статистики. Эти кривые есть экспоненты, полученные для диагональной матрицы  $G$ , элементы которой определялись следующим образом:

$$G = \text{diag}(\lambda_j), \quad \lambda_j = \frac{\ln \left( \frac{x_{j,2015}}{x_{j,2011}} \right)}{2015 - 2011}. \quad (10)$$

Теперь обратим внимание на то, что из уравнения (6) следует:

$$MVA = BM - A^T.$$

То есть из (11) видим, что матрица  $MVA$  вычислима. Положим теперь для определенности, что на удовлетворение совокупного конечного спроса расходуется половина добавленной стоимости, то есть

$$L = \frac{1}{2} MVA.$$

Это достаточно условно, в реальных задачах требуется экономически обоснованное предположение, согласованное с данными статистики.

Далее следует очевидное:

$$\begin{aligned} G &= B^{-1} \left( BM - A - \frac{1}{2} MVA \right) = \\ &= B^{-1} \left( BM - A - \frac{1}{2} (BM - A^T) \right) = \\ &= B^{-1} \left( \frac{1}{2} (BM + A^T) - A \right). \end{aligned} \quad (12)$$

Теперь для рассматриваемого случая нетрудно вычислить и саму матрицу  $B$ :

$$B = \left( \frac{1}{2} (BM + A^T) - A \right) G^{-1}. \quad (13)$$

Матрица  $B$ , соответствующая нашим предположениям, представлена на *рис. 4*. Иные предположения дадут другую матрицу, но она будет вычислима. Надо только экономически обоснованно задать долю добавленной стоимости, которая покрывает конечный спрос. Задание этой доли не меняет траектории прохождения интегральных кривых, так как матрица замкнутой системы  $G$  остается неизменной и определяет характеристики переходного процесса, а вариации элементов  $B$  компенсируются вариациями конечного спроса и спроса на капитал.

Таким образом, оцифровку модели динамического МОБ можно считать завершенной. Это есть вариант решения фундаментальной научной задачи, открывающий широкие перспективы использования динамических моделей МОБ в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Данные модели могут занять место традиционной статической модели и определить лучшие случаи разработки модельных комплексов для исследования устойчивости, экономической динамики и экономического роста, но уже на основе динамического МОБ и авторской теории СДС экономических систем.

Будет уместно заметить, что незаполненные позиции в матрице на *рис. 4* не означают нули – просто величины, которые могли бы там стоять, пренебрежимо малы во всех смыслах и, следовательно, незначимы для анализа. Напомним, что мы убрали из рассмотрения домашние хозяйства, содержавшие в таблице формирования выпуска

только один диагональный элемент. Их оставление приводит к пустым внедиагональным клеткам на *рис. 4*. То есть взаимные финансовые потоки в координатах «ВЭД – Домашние хозяйства», так сказать, ничтожны. Это прямо указывает на крайне низкий уровень спроса со стороны домашних хозяйств, что в последние годы являет собой одно из основных ограничений экономического развития России. Это есть большое препятствие для выхода российской экономики из стагнационного режима функционирования, показывающего малые приращения в росте, которые кратно ниже среднемировых.

Итак, в наших расчетах участвуют именно числовые характеристики инерционностей в качестве элементов матрицы  $B$ , имеющие размерность времени. Вряд ли стоит теперь говорить о приростных фондоемкостях – это безразмерные величины, приводящие к неудовлетворительному результату проверки размерностей модели (1). В конце концов, приростные фондоемкости тоже «характеризуют инерцию экономической системы», что следует из экономико-математического словаря Л.И. Лопатникова<sup>2</sup>.

После определения  $B$  по изложенной методике можно вернуться к модели (1), замкнуть ее по потреблению из иных соображений и решать многочисленные задачи, связанные с анализом и оптимизацией СДС экономики.

Один из вариантов указанного замыкания может выглядеть следующим образом. Вводим в модель среднеотраслевую плату за труд и оценку объема труда  $l_i$ , требующегося для производства единицы продукта ВЭД с номером  $i$ . Кстати, в случае необходимости в дальнейшем можно будет ввести разделение труда на категории и сделать другие усложнения.

Теперь для производства валового выпуска  $X(t)$  надо будет затратить объем труда, равный

$$\sum_{i=1}^n l_i x_i(t).$$

Потребление в нашем случае означает оплату труда. Затраченный домашними хозяйствами труд в различных ВЭД потребляет в рассматриваемый период продукт с номером  $j$  в объеме  $v_j$ . Тогда одна компонента конечного спроса  $y_j(t)$  определится по формуле

$$y_j(t) = v_j \sum_{i=1}^n l_i x_i(t). \quad (14)$$

В матричном виде получим  $Y(t) = L \cdot X(t)$ , где  $L$  – знакомая нам квадратная матрица размерности  $n \times n$ , отражающая расходы на труд в экономике. Ее строка с номером  $i$  формируется следующим скалярным произведением:  $v_i (l_1, l_2, \dots, l_n)$ .

<sup>2</sup> Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. М.: Дело, 2003. 520 с.

Замыкание модели по потреблению позволит определить уточненную матрицу  $G$  по формуле (9), которая уже не будет диагональной. Это очевидным образом даст возможность уточнить  $B$ . Такой метод «простой итерации» сходится за 3–4 шага.

В заключение отметим, что в сложной высокосвязной экономике матрица межотраслевых инерционностей должна быть всюду заполненной числами, отличными от нуля. Это обеспечит структурную управляемость, возможности производства высокотехнологичной продукции с высокой добавленной стоимостью и перевода экономической динамики в конус магистральных траекторий.

По итогам исследования можно сделать следующие выводы.

В данной статье положено начало разработке авторской статистической базы исследований в области структурного прогнозирования, устойчивости экономической динамики и экономического роста.

Впервые получена матрица межотраслевых инерционностей, позволяющая применять обыкновенные дифференциальные уравнения динамического МОБ для осуществления прогнозирования динамики валового производства. Оцифровка модели выполняется по данным Росстата исходя из очевидных математических и экономических предположений. Это переводит модель (1) из множества «чисто теоретических конструкций» во множество вычислимых, то есть практических.

Впервые получена базовая матрица модели (1), определена ее роль как источника данных, хранящих структурные пропорции межотраслевых взаимодействий в экономике. Они могут быть эффективно использованы при моделировании, отражающем варианты формирования и потребления конечного продукта. Наличие базовой матрицы всегда обеспечит связь между структурными пропорциями воспроизводства и затраченными на производство ресурсами. При решении оптимизационных задач можно будет определить необходимые ресурсы для достижения требуемых структурных изменений в экономике.

Предложен вариант итерационного уточнения и замыкания динамической модели по потреблению, позволяющий в дальнейшем уточнять и пересчитывать коэффициенты матрицы инерционностей в зависимости от различных допущений и предположений.

**Таблица 1****Классификация видов экономической деятельности в системе национальных счетов (ОКВЭД-1)****Table 1****Classification of economic activities in the System of National Accounts (OCVED-1)**

| Обозначение | ВЭД                                                                                                                        |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A           | Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство                                                                               |
| B           | Рыболовство, рыбоводство                                                                                                   |
| C           | Добыча полезных ископаемых                                                                                                 |
| D           | Обрабатывающие производства                                                                                                |
| E           | Производство и распределение электроэнергии, газа и воды                                                                   |
| F           | Строительство                                                                                                              |
| G           | Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования |
| H           | Гостиницы и рестораны                                                                                                      |
| I           | Транспорт и связь                                                                                                          |
| J           | Финансовая деятельность                                                                                                    |
| K           | Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг                                                            |
| L           | Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование                                      |
| M           | Образование                                                                                                                |
| N           | Здравоохранение и предоставление социальных услуг                                                                          |
| O           | Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг                                                        |
| P           | Деятельность домашних хозяйств                                                                                             |

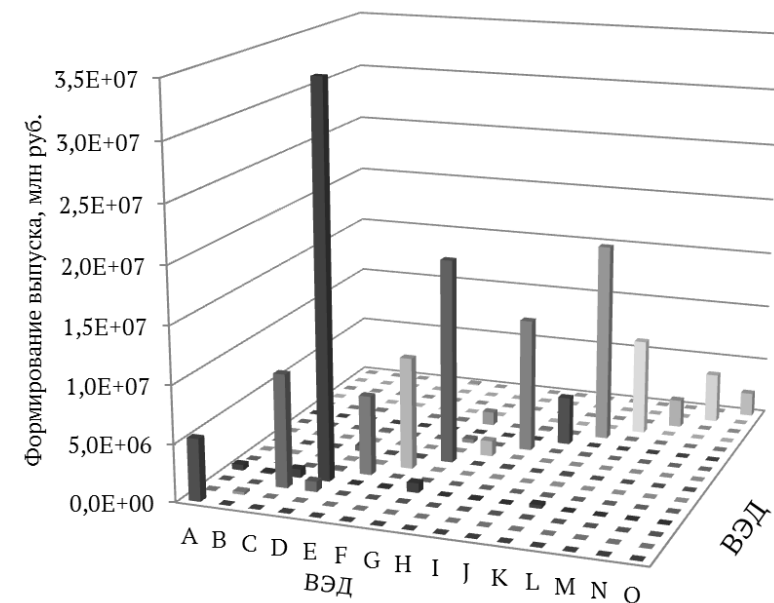
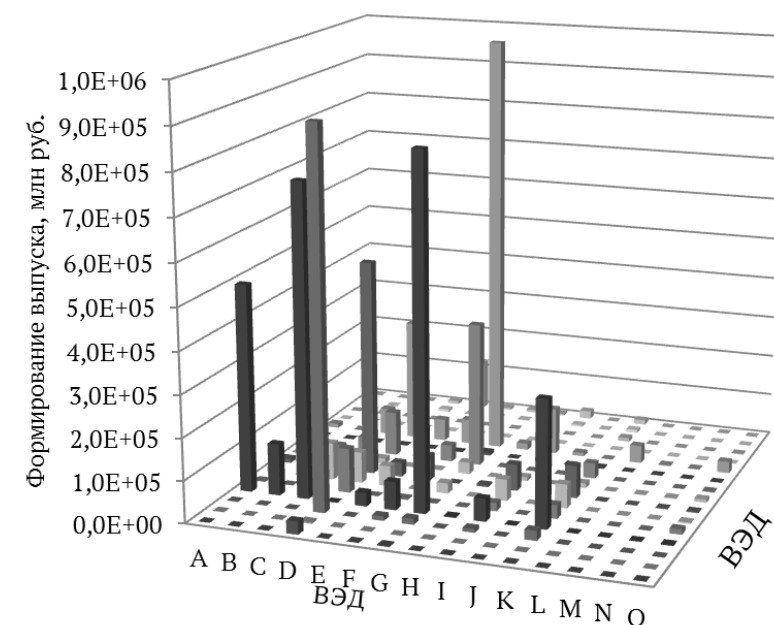
*Источник:* данные Росстата. Национальные счета России в 2011–2016 годах.URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2017/nac/NAC\\_Ch\\_2017.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/nac/NAC_Ch_2017.pdf)*Source:* The Rosstat data. National Accounts of Russia in 2011–2016.URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2017/nac/NAC\\_Ch\\_2017.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/nac/NAC_Ch_2017.pdf)

**Рисунок 1**

Качественное представление таблицы формирования выпуска товаров и услуг:  
*a* – с диагональю; *b* – без диагонали

**Figure 1**

Qualitative representation of the table for the output of goods and services formation:  
*a* – with a diagonal; *b* – without a diagonal

*a**b*

Источник: данные Росстата. Национальные счета России в 2011–2016 годах.

URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2017/nac/NAC\\_Ch\\_2017.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/nac/NAC_Ch_2017.pdf)

Source: The Rosstat data. National Accounts of Russia in 2011–2016.

URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2017/nac/NAC\\_Ch\\_2017.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/nac/NAC_Ch_2017.pdf)

**Рисунок 2****Базовая матрица *BM* экономики России за 2015 г.****Figure 2****Basic *BM* matrix of the Russian economy for 2015**

|   | A     | B     | C     | D     | E     | F     | G     | H     | I     | J     | K     | L     | M     | N     | O     |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A | 0,91  | 0     | 0     | 0,014 | 0     | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0     | 0     | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0,001 |
| B | 0     | 0,635 | 0     | 0,003 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C | 0     | 0     | 0,908 | 0,021 | 0,002 | 0,009 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0     | 0,004 | 0     | 0     | 0,001 | 0,001 |
| D | 0,005 | 0,01  | 0,083 | 0,943 | 0,015 | 0,007 | 0,025 | 0,009 | 0,009 | 0     | 0,016 | 0     | 0     | 0,001 | 0,004 |
| E | 0     | 0     | 0     | 0,001 | 0,959 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0     | 0,003 | 0     | 0     | 0     | 0,056 |
| F | 0     | 0     | 0,001 | 0,002 | 0     | 0,975 | 0,003 | 0,001 | 0,003 | 0     | 0,003 | 0     | 0     | 0     | 0,002 |
| G | 0     | 0     | 0,001 | 0,023 | 0     | 0,002 | 0,879 | 0,02  | 0,029 | 0,002 | 0,065 | 0     | 0     | 0     | 0,003 |
| H | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,979 | 0     | 0     | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0,002 |
| I | 0     | 0     | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,005 | 0,003 | 0,007 | 0,971 | 0,002 | 0,006 | 0     | 0     | 0,001 | 0,009 |
| J | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,998 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| K | 0     | 0     | 0,002 | 0,008 | 0,005 | 0,006 | 0,004 | 0,008 | 0,003 | 0,001 | 0,968 | 0     | 0,004 | 0,002 | 0,005 |
| L | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,002 | 0,995 | 0     | 0     | 0     |
| M | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,998 | 0     | 0     |
| N | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,998 | 0     |
| O | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,002 | 0     | 0     | 0,005 | 0     | 0     | 0,002 | 0     | 0,001 | 0     | 0,972 |

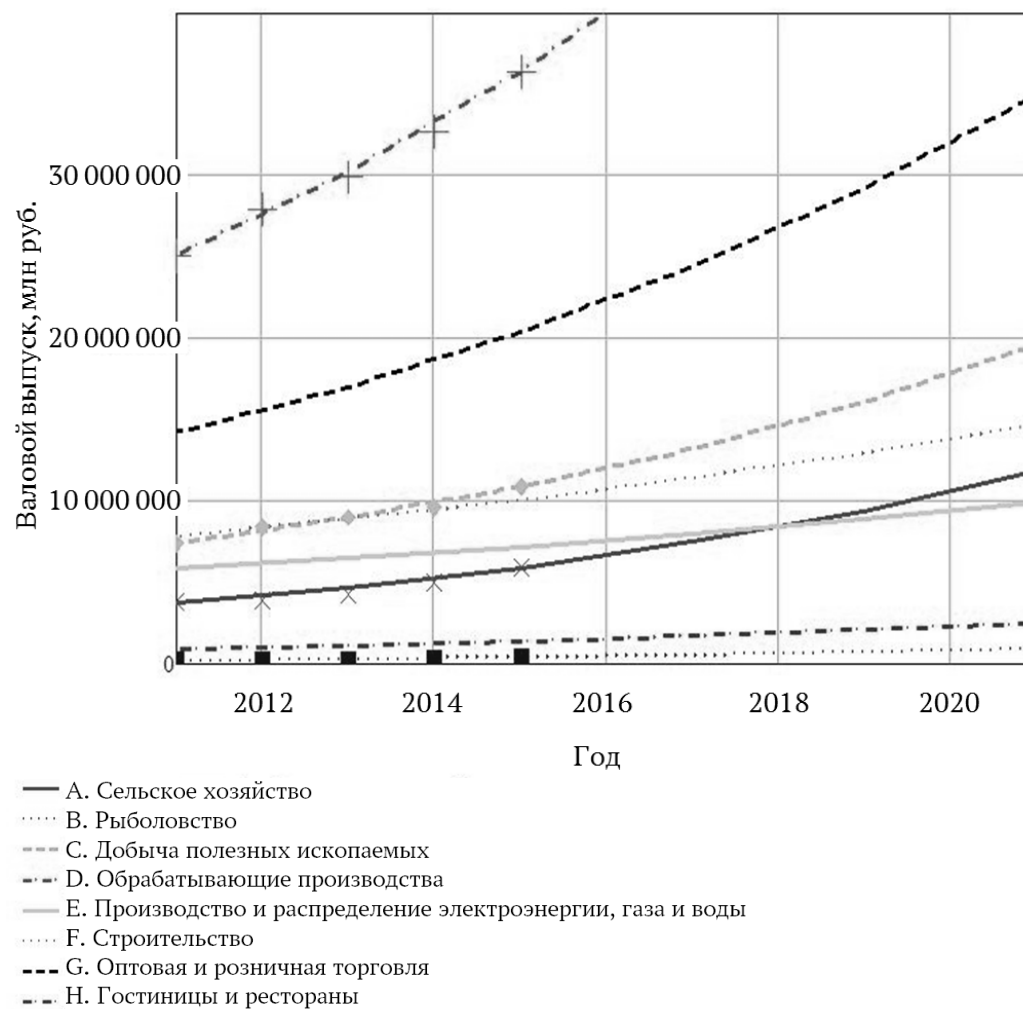
*Примечание.* Обозначения видов экономической деятельности см в табл. 1.*Источник:* данные Росстата. Национальные счета России в 2011–2016 годах.URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2017/nac/NAC\\_Ch\\_2017.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/nac/NAC_Ch_2017.pdf)*Source:* The Rosstat data. National Accounts of Russia in 2011–2016URL: [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2017/nac/NAC\\_Ch\\_2017.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/nac/NAC_Ch_2017.pdf)

**Рисунок 3**

**Экономическая динамика в разрезе видов экономической деятельности**

**Figure 3**

**Economic dynamics in the context of foreign economic activity**



*Источник:* авторская разработка по данным Росстата

*Source:* Authoring, based on the Rosstat data

**Рисунок 4**  
**Матрица B модели (1)**

**Figure 4**  
**The B model matrix (1)**

|   | A     | B     | C     | D     | E     | F     | G     | H     | I     | J     | K     | L     | M     | N     | O     |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A | 2,248 | 0,001 | –     | 0,039 | 0,001 | 0,004 | 0,002 | 0,005 | 0,001 | –     | 0,002 | –     | –     | –     | 0,002 |
| B | –     | 1,497 | –     | 0,012 | –     | –     | 0,001 | –     | 0,002 | –     | –     | –     | –     | –     | –     |
| C | –     | 0     | 3,226 | 0,04  | 0,01  | 0,05  | 0,008 | 0,011 | 0,011 | –     | 0,012 | –     | –     | 0,003 | 0,002 |
| D | 0,006 | 0,009 | 0,123 | 1,26  | 0,037 | 0,016 | 0,037 | 0,013 | 0,013 | –     | 0,021 | –     | –     | 0,002 | 0,005 |
| E | –     | –     | –     | 0,001 | 2,728 | 0,012 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | –     | 0,004 | –     | –     | –     | 0,085 |
| F | –     | –     | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 3,738 | 0,008 | 0,003 | 0,009 | –     | 0,008 | –     | –     | –     | 0,005 |
| G | 0,001 | –     | 0,005 | 0,072 | 0,001 | 0,012 | 2,997 | 0,064 | 0,098 | 0,006 | 0,196 | –     | –     | 0,001 | 0,009 |
| H | –     | –     | –     | –     | –     | –     | 0,001 | 2,299 | –     | –     | 0,002 | –     | –     | –     | 0,005 |
| I | –     | –     | 0,002 | 0,004 | 0,013 | 0,02  | 0,008 | 0,016 | 2,584 | 0,005 | 0,015 | –     | 0,001 | 0,002 | 0,022 |
| J | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | 3,483 | 0,002 | –     | –     | –     | –     |
| K | –     | 0,001 | 0,008 | 0,031 | 0,032 | 0,034 | 0,015 | 0,032 | 0,012 | 0,002 | 3,465 | –     | 0,022 | 0,006 | 0,019 |
| L | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | 0,008 | 3,843 | –     | –     | –     |
| M | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | 0,003 | –     | –     | –     | –     | 6,363 | 0     | 0,001 |
| N | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | 0,005 | –     | –     | –     | –     | –     | 2,941 | 0,001 |
| O | –     | –     | –     | –     | 0,009 | 0,001 | –     | 0,016 | 0,001 | –     | 0,004 | –     | 0,003 | –     | 2,892 |

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

## Список литературы

1. Ашимов А.А., Айсакова Б.А., Алианов Р.А. Параметрическое регулирование экономического роста на базе неавтономных вычислимых моделей общего равновесия // Автоматика и телемеханика. 2014. Вып. 6. С. 69–85.  
URL: <http://www.mathnet.ru/links/06d130a8f0608fe7538a7236992c9099/at10410.pdf>
2. Баранов Э.Ф., Елсакова А.В., Корнева Е.С. Декомпозиционный анализ на основе таблиц «затраты – выпуск» из базы данных WIOD. М.: НИУ ВШЭ, 2015. 38 с.  
URL: [https://www.hse.ru/data/2016/01/28/1137060185/WP2\\_2015\\_05\\_ff.pdf](https://www.hse.ru/data/2016/01/28/1137060185/WP2_2015_05_ff.pdf)
3. Суворов Н.В., Трещина С.В., Белецкий Ю.В., Балашова Е.Е. Балансовые и факторные модели как инструмент анализа и прогнозирования структуры экономики // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2017. Т. 5. С. 50–75.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/balansovye-i-faktornye-modeli-kak-instrument-analiza-i-prognozirovaniya-struktury-ekonomiki/viewer>
4. Широ А.А., Саяпова А.Р., Янтовский А.А. Интегрированный межотраслевой баланс как элемент анализа и прогнозирования связей на постсоветском пространстве // Проблемы прогнозирования. 2015. № 1. С. 11–22.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integrirovanny-mezhotraslevoy-balans-kak-element-analiza-i-prognozirovaniya-svyazey-na-postsovetskom-prostranstve/viewer>
5. Широ А.А., Янтовский А.А. Межотраслевая макроэкономическая модель RIM – развитие инструментария в современных экономических условиях // Проблемы

- прогнозирования. 2017. № 6. С. 3–18.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhotraslevaya-makroekonomicheskaya-model-rim-razvitie-instrumentariya-v-sovremennyh-ekonomicheskikh-usloviyah/viewer>
6. Алмон К. Искусство экономического моделирования. М.: Макс-Пресс, 2012. 648 с.
7. Almon Cl., Grassini M. The Changing Structure of Employment in Italy 1980–2010: Can Investment Affect the Outcome?  
URL: <http://inforumweb.umd.edu/papers/wp/wp/2000/wp00002.pdf>
8. Широв А.А. От кризиса механизмов финансирования к устойчивому экономическому росту // Проблемы прогнозирования. 2016. № 4. С. 3–13.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ot-krizisa-mehanizmov-finansirovaniya-k-ustoychivomu-ekonomicheskomu-rostu/viewer>
9. Узяков Р.М. Использование межотраслевого инструментария в анализе динамики российской экономики в 1991–2013 гг. // Проблемы прогнозирования. 2018. № 3. С. 13–27. URL: <https://ecfor.ru/publication/analiz-vliyaniya-koeffitsientov-priamyh-zatrat-i-komponentov-konechnogo-sprosa-na-valovyj-vypusk-s-pomoshhyu-mob/>
10. Узякова Е.С., Узяков Р.М. Анализ влияния научно-технического развития на экономический рост с использованием инструментария межотраслевого баланса // Проблемы прогнозирования. 2018. № 4. С. 82–92.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-nauchno-tehnicheskogo-razvitiya-na-ekonomicheskii-rost-s-ispolzovaniem-instrumentariya-mezhotraslevogo-balansa/viewer>
11. Кузнецов С.Ю., Пионтковский Д.И., Соколов Д.Д., Старчикова О.С. Эмпирическое сравнение математических методов построения динамических рядов системы таблиц «затраты – выпуск» // Экономический журнал ВШЭ. 2016. Т. 20. № 4. С. 711–730.  
URL: <https://ej.hse.ru/data/2016/12/29/1114648983/%D0%9A%D1%83%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BE%D0%B2.pdf>
12. Егизев С.К. Шоки неопределенности и краткосрочные колебания в Российской экономике // Горизонты экономики. 2016. № 6. С. 49–58.
13. Панкова С.В., Попов В.В. Моделирование влияния динамики структуры взаимной торговли на развитие экономического потенциала Российской Федерации // Экономический анализ: теория и практика. 2016. № 12. С. 4–13.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-vliyaniya-dinamiki-struktury-vzaimnoy-torgovli-na-razvitie-ekonomicheskogo-potentsiala-rossiyskoy-federatsii/viewer>
14. Кузнецов С.А., Тихобаев В.М. Итерационный подход к расчету межотраслевых объемов производства и разработка альтернативной концепции национальной

- экономики // *Экономический анализ: теория и практика*. 2019. Т. 18. № 6. С. 1166–1180. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.18.6.1166>
15. Gaaitzen de Vries J., Erumban A.A. et al. Deconstructing the BRICs: Structural Transformation and Aggregate Productivity Growth. *Journal of Comparative Economics*, 2012, vol. 40, iss. 2, pp. 211–227. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1998072>
16. Fagiolo G., Roventini A. Macroeconomic Policy in DSGE and Agent-Based Models Redux: New Developments and Challenges Ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2017, vol. 20, iss. 1. URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/20/1/1.html>
17. Алмон К. В чем важность таблиц «затраты-выпуск»? // Проблемы прогнозирования. 2018. № 6. С. 7–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/v-chem-vazhnost-tablits-zatraty-vypusk/viewer>
18. Суслов В.И., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М. и др. Агент-ориентированная многорегиональная модель «затраты – выпуск» российской экономики // Экономика и математические методы. 2016. Т. 52. № 1. С. 112–131.
19. Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А. Интеграция подхода «затраты – выпуск» в агент-ориентированное моделирование. Ч. 1. Методологические основы // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17. № 1. С. 86–99. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integratsiya-podhoda-zatraty-vypusk-v-agent-orientirovannoe-modelirovanie-chast-1-metodologicheskie-osnovy/viewer>
20. Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А. Интеграция подхода «затраты – выпуск» в агент-ориентированное моделирование. Ч. 2. Межрегиональный анализ в искусственной экономике // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17. № 2. С. 15–25. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integratsiya-podhoda-zatraty-vypusk-v-agent-orientirovannoe-modelirovanie-chast-2-mezhregionalnyy-analiz-v-iskusstvennoy-ekonomike/viewer>
21. Долятовский В.А., Гречко М.В. Моделирование механизмов поведения экономических агентов // *Экономический анализ: теория и практика*. 2018. Т. 17. № 10. С. 1835–1848. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.10.1835>
22. Ельшин Л.А. Методические подходы к прогнозированию промышленного развития на основе построения ожиданий экономических агентов // *Экономический анализ: теория и практика*. 2017. Т. 16. № 11. С. 2028–2042. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.11.2028>
23. Позамантур Э.И. Вычислимое общее равновесие экономики и транспорта. Транспорт в динамическом межотраслевом балансе. М.: Поли Принт Сервис, 2014. 280 с.

24. Малкина М.Ю., Овчаров А.О. Оценка финансовой нестабильности экономических систем: разнообразие методов и моделей // *Экономический анализ: теория и практика*. 2019. Т. 18. № 7. С. 1273–1294. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.18.7.1273>
25. Козырь Н.С., Коваленко В.С. Метрика отраслевой классификации в Российской Федерации и за рубежом // *Экономический анализ: теория и практика*. 2017. Т. 16. № 10. С. 1914–1927. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.10.1914>
26. Белкин В.Д. Цены единого уровня и экономические измерения на их основе. М.: ЦЭМИ РАН, 2015. Т. 1. 352 с.

### **Информация о конфликте интересов**

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

## THE PROBLEM OF DIGITALIZATION OF THE DYNAMIC INPUT-OUTPUT MODEL

Evgenii L. TOROPTSEV <sup>a,\*</sup>, Aleksandr S. MARAKHOVSKII <sup>b</sup>, Ramziya R. DUSZYNSKI <sup>c</sup>

<sup>a</sup> North-Caucasus Federal University (NCFU),  
Stavropol, Russian Federation  
eltoroptsev@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4036-6002>

<sup>b</sup> Plekhanov Russian University of Economics (PRUE), Pyatigorsk Branch,  
Pyatigorsk, Russian Federation  
marahov@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2248-8425>

<sup>c</sup> National Louis University, College of Arts and Sciences,  
Chicago, Illinois, USA  
ramzia@aol.com  
ORCID: not available

\* Corresponding author

### Article history:

Article No. 35/2020  
Received 21 January 2020  
Received in revised form  
13 February 2020  
Accepted 27 February 2020  
Available online  
28 May 2020

**JEL classification:** B41,  
C02, C61, C68

**Keywords:** dynamic model,  
input-output balance,  
sustainability, economic  
growth, inertia

### Abstract

**Subject.** The article addresses the digitalization of the dynamic model of inter industry balance.

**Objectives.** We focus on developing our own statistical research base for input-output analysis, structural forecasting, sustainability, economic dynamics and economic growth. Mathematically, the study is formalized by the Cauchy problem for ordinary differential equations.

**Methods.** The methodology components include theoretical and practical bases of the systems, statistical, input-output, and structural dynamic analysis.

**Results.** Based on official statistics, we solved the problem of digitalization of the dynamic model of input-output balance, written in the form of a system of differential equations. For the first time, this model was transferred from a set of purely theoretical structures to a class of computable models. We developed a sequence of coordinated actions and calculations, which serve as a methodology for the said transfer. We also devised and presented the elements of our own statistical research base.

**Conclusions.** The quantitative measurement of the dynamic inter-industry model in the form of a system of differential equations opens up broad perspectives on the sustainability of macroeconomics, its structural readiness for expanded reproduction, i.e. economic growth. The model can be used both independently and in combination with equilibrium and other agent-oriented models.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

**Please cite this article as:** Toroptsev E.L., Marakhovskii A.S., Duszynski R.R. The Problem of Digitalization of the Dynamic Input-Output Model. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2020, vol. 19, iss. 5, pp. 946–972.  
<https://doi.org/10.24891/ea.19.5.946>

## Acknowledgments

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), grant № 20-010-00084A, Project title *Mathematical Modeling of Structural Stability and Macroeconomic Dynamics*.

## References

1. Ashimov A.A., Aisakova B.A., Alshanov R.A. [Parametric regulation of economic growth based on nonautonomous computable general equilibrium models]. *Avtomatika i Telemekhanika*, 2014, iss. 6, pp. 69–85.  
URL: <http://www.mathnet.ru/links/06d130a8f0608fe7538a7236992c9099/at10410.pdf> (In Russ.)
2. Baranov E.F., Elsakova A.V., Korneva E.S. *Dekompozitsionnyi analiz na osnove tablits “zatraty–vypusk” iz bazy dannykh WIOD* [The Structural Decomposition Analysis of Russian Input-Output Tables from the WIOD project]. Moscow, NRU HSE Publ., 2015, 38 p. URL: [https://www.hse.ru/data/2016/01/28/1137060185/WP2\\_2015\\_05\\_ff.pdf](https://www.hse.ru/data/2016/01/28/1137060185/WP2_2015_05_ff.pdf)
3. Suvorov N.V., Treshchina S.V., Beletskii Yu.V., Balashova E.E. [Balance and factor models as a tool for analysis and forecasting structure of the economy]. *Nauchnye trudy: Institut narodnokhozyaistvennogo prognozirovaniya RAN = Scientific Articles – Institute of Economic Forecasting Russian Academy of Sciences*, 2017, vol. 5, pp. 50–75.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/balansovye-i-faktornye-modeli-kak-instrument-analiza-i-prognozirovaniya-struktury-ekonomiki/viewer> (In Russ.)
4. Shirov A.A., Sayapova A.R., Yantovskii A.A. [Integrated input-output balance as an element of analysis and forecasting in the post-Soviet space]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*, 2015, no. 1, pp. 11–22.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integrirovannyi-mezhotraslevoy-balans-kak-element-analiza-i-prognozirovaniya-svyazey-na-postsovetском-prostranstve/viewer> (In Russ.)
5. Shirov A.A., Yantovskii A.A. [RIM interindustry macroeconomic model: Development of instruments under current economic conditions]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*, 2017, no. 6, pp. 3–18.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhotraslevaya-makroekonomicheskaya-model-rim-razvitie-instrumentariya-v-sovremennyh-ekonomicheskikh-usloviyah/viewer> (In Russ.)
6. Almon Cl. *Iskusstvo ekonomicheskogo modelirovaniya* [The Craft of Economic Modeling]. Moscow, Maks-Press Publ., 2012, 648 p.
7. Almon Cl., Grassini M. The Changing Structure of Employment in Italy 1980–2010: Can Investment Affect the Outcome?  
URL: <http://inforumweb.umd.edu/papers/wp/wp/2000/wp00002.pdf>

8. Shirov A.A. [From a crisis of financing mechanisms to sustainable economic growth]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*, 2016. no. 4, pp. 3–13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ot-krizisa-mehanizmov-finansirovaniya-k-ustoychivomu-ekonomicheskomu-rostu/viewer> (In Russ.)
9. Uzyakov P.M. [Toolkit for the Input–Output Analysis of the Performance of Russian Economy in 1991–2013]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*, 2018, no. 3, pp. 13–27. URL: <https://ecfor.ru/publication/analiz-vliyaniya-koeffitsientov-pryamih-zatrat-i-komponentov-konechnogo-sprosa-na-valovyy-vypusk-s-pomoshhyu-mob/> (In Russ.)
10. Uzyakova E.S., Uzyakov R.M. [Analysis of the Impact of Scientific and Technical Development on Economic Growth Using the Input–Output Balance Tools]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*, 2018, no. 4, pp. 82–92. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-nauchno-tehnicheskogo-razvitiya-na-ekonomicheskii-rost-s-ispolzovaniem-instrumentariya-mezhotraslevogo-balansa/viewer> (In Russ.)
11. Kuznetsov S.Yu., Piontkovskii D.I., Sokolov D.D., Starchikova O.S. [An Empirical Comparison of the Mathematical Methods for the Time Series of the Supply and Use Tables Construction]. *Ekonomicheskii zhurnal VshE = The HSE Economic Journal*, 2016, vol. 20, no. 4, pp. 711–730. URL: <https://ej.hse.ru/data/2016/12/29/1114648983/%D0%9A%D1%83%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BE%D0%B2.pdf> (In Russ.)
12. Egiev S.K. [Shocks of uncertainty and short-term fluctuations in the Russian economy]. *Gorizonty ekonomiki*, 2016, no. 6, pp. 49–58. (In Russ.)
13. Pankova S.V., Popov V.V. [Modeling the influence of structural changes in mutual trade on the development of economic potential of the Russian Federation]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2016, no. 12, pp. 4–13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-vliyaniya-dinamiki-struktury-vzaimnoy-torgovli-na-razvitie-ekonomicheskogo-potentsiala-rossiyskoy-federatsii/viewer> (In Russ.)
14. Kuznetsov S.A., Tikhobaev V.M. [Iterative approach to calculating the cross-industry production volumes and developing an alternative concept of the national economy]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2019, vol. 18, iss. 6, pp. 1166–1180. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ea.18.6.1166>
15. Gaaitzen de Vries J., Erumban A.A. et al. Deconstructing the BRICs: Structural Transformation and Aggregate Productivity Growth. *Journal of Comparative Economics*, 2012, vol. 40, iss. 2, pp. 211–227. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1998072>

16. Fagiolo G., Roventini A. Macroeconomic Policy in DSGE and Agent-Based Models Redux: New Developments and Challenges Ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2017, vol. 20, iss. 1. URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/20/1/1.html>
17. Almon Cl. [Government Social Expenditures in the Draft Federal Budget of Russia for 2018–2020]. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*, 2018, no. 6, pp. 7–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/v-chem-vazhnost-tablits-zatraty-vypusk-viewer> (In Russ.)
18. Suslov V.I., Domozhnikov D.A., Ibragimov N.M. et al. [Agent-based multiregional input-output model of the Russian economy]. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods*, 2016, vol. 52, no. 1, pp. 112–131. (In Russ.)
19. Domozhnikov D.A., Ibragimov N.M., Mel'nikova L.V., Tsyplakov A.A. [Integration of input-output approach into agent-based modeling. Part 1. Methodological principles]. *Mir ekonomiki i upravleniya = World of Economics and Management*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 86–99. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integratsiya-podhoda-zatraty-vypusk-v-agent-orientirovannoe-modelirovanie-chast-1-metodologicheskie-osnovy/viewer> (In Russ.)
20. Domozhnikov D.A., Ibragimov N.M., Mel'nikova L.V., Tsyplakov A.A. [Integration of input-output approach into agent-based modeling. Part 2. Interregional analysis in an artificial economy]. *Mir ekonomiki i upravleniya = World of Economics and Management*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 15–25. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integratsiya-podhoda-zatraty-vypusk-v-agent-orientirovannoe-modelirovanie-chast-2-mezhregionalnyy-analiz-v-iskusstvennoy-ekonomike/viewer> (In Russ.)
21. Dolyatovskii V.A., Grechko M.V. [Modeling the mechanisms of economic agent behavior]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2018, vol. 17, no. 10, pp. 1835–1848. (In Russ.)  
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.10.1835>
22. El'shin L.A. [Methodological approaches to forecasting the industrial development based on the simulation of economic agents' expectations]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2017, vol. 16, no. 11, pp. 2028–2042. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.11.2028>
23. Pozamantir E.I. *Vychislimoe obshchee ravnovesie ekonomiki i transporta. Transport v dinamicheskom mezhotraslevom balanse* [Computable general equilibrium of economy and transport. Transport in dynamic input-output balance]. Moscow, Poli Print Servis Publ., 2014, 280 p.
24. Malkina M.Yu., Ovcharov A.O. [Assessing the financial instability of economic systems: A variety of methods and models]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2019, vol. 18, no. 7, pp. 1273–1294.  
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.18.7.1273> (In Russ.)

25. Kozyr' N.S., Kovalenko V.S. [Performance metrics of industrial classification in the Russian Federation and abroad]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2017, vol. 16, no. 10, pp. 1914–1927. (In Russ.)  
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.10.1914>
26. Belkin V.D. *Tseny edinogo urovnya i ekonomicheskie izmereniya na ikh osnove* [Flat prices and economic measurements, which are made on their basis]. Moscow, CEMI RAS Publ., 2015, vol. 1, 352 p.

### **Conflict-of-interest notification**

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.