

АКТУАЛЬНЫЕ
ПРОБЛЕМЫ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ТЕОРИИ

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ
УРАВНЕНИЯ
МЕЖОТРАСЛЕВОГО БАЛАНСА:
ОЦИФРОВКА И ПЕРСПЕКТИВА
ПРИМЕНЕНИЯ

*Е.Л. Торопцев, М.М. Кандохова,
Н.Г. Гудиева*

DOI: 10.33293/1609-1442-2024-1(104)-7-22

EDN: ABVPDD

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-00056 (<https://rscf.ru/project/24-28-00056/>).

Аннотация. Воздействия на структуру экономики представляют собой усилия, направленные на изменения ее свойств. Эти усилия могут применяться для решения разных задач, например, для технологического обновления, диверсификации экономики и т.п. Одной из основных целей структурных реформ в российской экономике надолго останется целенаправленный синтез таких ее собственных/внутренних/структурных динамических свойств, которые при отсутствии ограничений на ресурсы или даже при минимально достаточных ресурсах обеспечивали бы самоподдерживающийся аperiodический экономический рост и сглаживание циклов деловой активности. Анализ публикаций последних 20 лет

© Торопцев Е.Л., Кандохова М.М., Гудиева Н.Г., 2023 г.

Торопцев Евгений Львович, доктор экономических наук, профессор кафедры, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; eltoroptsev@yandex.ru; ORCID 0000-0002-4036-6002; eLibrary SPIN: 7087-1760
Кандохова Марианна Михайловна, кандидат экономических наук, аналитик Центра устойчивого развития, Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик, Россия; mrkand@mail.ru
Гудиева Наталья Григорьевна, стажер-исследователь Научно-образовательного математического центра «Северо-Кавказский центр математических исследований», Ставрополь, Россия; gudieva82@bk.ru

по данному вопросу свидетельствует о росте активности в (активность тоже всеобщая, не только исследователи-ученые, но политики и бизнес участвуют в этом деле) разных странах, нацеленной на поиск новых решений для формирования и проведения структурной политики. Неравномерное развития и общая неопределенность последнего времени расширяют круг этих стран и множат подходы к разработке структурной политики. В связи с этим отметим растущую актуальность создания новых инструментов и методов анализа эффективности такой политики. Сказанное усиливает и тот факт, что даже осуществление минимальных мероприятий структурной политики, основанные на проверенных подходах и решениях, сопряжено с просчетами и ошибками. В обязанности контура управления входит адекватная реакция на ошибки, извлечение выводов из них и корректировка экономического поведения, – вплоть до полного прекращения отдельных мер и программ. Для исследования экономических систем лучшим из возможных инструментов являются дифференциальные уравнения и методы их анализа. Мы обращаемся к динамической модели межотраслевого баланса, формализованной такими уравнениями, авторским методом ее оцифровки и теории собственных динамических свойств экономических систем. Цель работы: совершенствование инструментария анализа структурной политики на основе самостоятельного применения указанной межотраслевой модели, а также за счет включения ее в большие исследовательские вычислительные комплексы, разрабатываемые в ЦЭМИ РАН, ИНП РАН, в других крупных научных центрах. Задача исследования – адаптация динамического межотраслевого баланса для анализа структурной политики. Результат работы: авторский инструментальный подход, ранее не применявшийся для разработки и анализа структурной политики.

Ключевые слова: структурная политика; динамический межотраслевой баланс; оцифровка; собственные динамические свойства экономики.

Классификация JEL: B41, C02, C61, C68.

Для цитирования: Торопцев Е.Л., Кандохова М.М., Гудиева Н.Г. (2024). Дифференциальные уравнения межотраслевого баланса: оцифровка и перспектива применения // Экономическая наука современной России. № 1 (104). С. 7–22. DOI: 10.33293/1609-1442-2024-1(104)-7-22. EDN: ABVPDD

ВВЕДЕНИЕ В ТЕМУ «СТРУКТУРНАЯ ПОЛИТИКА»

Аппарат дифференциальных уравнений предоставляет исследователям самые широкие возможности для анализа различного рода динамических систем, к которым принадлежат и экономические. При этом рассмотрение структуры экономики как системы делает необходимым привлечение межотраслевого баланса (МОБ), в том числе его модели в виде дифференциальных уравнений, среди прочих инструментов разработки и анализа структурной политики. Термин же «структурная политика», где вместо слова «политика» часто помещают «реформа», «перестройка», «трансформация», нуждается в дополнительном раскрытии и пояснениях. Слова в кавычках часто употребляются совместно с понятиями «промышленная политика» или «денежно-промышленная политика». В самом широком смысле процесс реализации такой политики нацелен на переход от достигнутого к лучшему в соответствии и выбранными приоритетами и критериями с некой оптимальной динамикой в экономике и социальной сфере.

Федеральный закон от 31.12.2014 № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» указывает на то, что мотором такого движения является «комплекс правовых, экономических, организационных и иных мер, направленных на развитие промышленного потенциала Российской Федерации, обеспечение производства конкурентоспособной промышленной продукции». Общественные ожидания от такого рода мер связаны с оценками глубины текущих и предстоящих изменений экономической жизни в стране и регионах, которые сопрягаются с ожиданиями лучшего будущего для каждого члена общества.

В «Аналитическом докладе НИУ ВШЭ» (НИУ ВШЭ, 2018) прямо в предисловии приводится несколько более емкая заимствованная на Западе формулировка обсуждаемых понятий. В соответствии с ней рассматриваются действия властей, направленные на

«улучшение бизнес-среды и/или улучшение структуры экономической активности в секторах и/или технологических областях, которые обеспечат лучшие перспективы для экономического роста и создания общественных благ по сравнению с отсутствием вмешательства государства». Обе формулировки оставляют широкий простор для дискуссий и предположений о том, что конкретно, когда и за счет чего следует делать. Немного в этом смысле проясняет и идея (лежащая в основе еще одного определения понятия «структурные трансформации») перемещения ресурсов из низкопроизводительных в высокопроизводительные виды экономической деятельности (ВЭД) (Monga, Lin, 2019).

Председатель Банка России Э.С. Набиуллина 15 ноября 2022 г. в выступлении на пленарном заседании Госдумы призвала к необходимости «...трезво с открытыми глазами смотреть на ситуацию – это главное... Но даже несмотря на ухудшение ситуации, мы должны, обязаны, как страна, осуществить структурную перестройку экономики». Сказанное является повторением изложенного несколькими месяцами ранее (Набиуллина, 2022). Глава ЦБ в выступлении поставила задачу финансовому сектору: решить вопрос о том, каким образом финансировать структурную перестройку экономики, что по умолчанию предполагает проведение адекватной масштабу задач денежно-кредитной (денежно-промышленной) политики.

В работе (Буклемишев, 2023) предпринята попытка раскрыть состояние научного дискурса вокруг обсуждаемого понятия. Главный вывод автора повторяет известные заключения о том, что локомотивом экономического роста выступают процессы внедрения новых технологий и повышения производительности труда, в том числе и за счет перетока ресурсов из одних сфер деятельности в другие (UNIDO, 2009; Rodrik, 2016). И еще одно замечание по этому вопросу: снижение экономической активности отдельных видов ВЭД бывает сложно отличить от циклических колебаний валового производства отраслей в периоды их техно-

логического перевооружения (Stiglitz, 2017), смены технологических укладов (Глазьев, 2016). Тем более что цикл колебаний может быть единственным, за которым уже наблюдаются экспоненциальные движения. Обсуждаемые в (Stiglitz, 2017) циклические колебания, проходит мимо идеи о том, что экономику как динамическую систему для выявления периодических и аperiodических составляющих движения целесообразно моделировать через систему обыкновенных дифференциальных уравнений (Доможиров и др., 2017). Систему следует привести к нормальной форме Коши, тогда спектр собственных чисел и собственных векторов матрицы состояния даст точное описание характера компонент движения, число которых равно числу видов ВЭД в модели (Торопцев, Гудиева, 2023). Образование комплексно-сопряженных пар в спектре собственных значений (всякая пара образуется в точке бифуркации из двух вещественных чисел) укажет число колебательных движений в переходном процессе, их частоты и декременты затухания. Интегрирование модели позволяет визуализировать экономическую динамику. Такому моделированию и анализу посвящена настоящая статья. Таким образом, если в соответствии с приведенными определениями ко множеству структурных реформ в экономике можно отнести массу деяний – от создания или разрушения институтов и приватизации государственной собственности до либерализации всего и вся, – то мы здесь будем описывать только технологические аспекты реформирования на базе классического динамического межотраслевого анализа.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА МОДЕЛИ

Само понятие «структура экономики» не может быть исчерпано одним коротким определением, так как является оно многоплановым и многоаспектным. Так, различа-

ют воспроизводственную (функциональную) (Аксянова, 2011; Панкова, Попов, 2016), отраслевую (Решетова, 2019), технологическую (Егорова, 2013) и пространственную (Суслов и др., 2016) структуры экономических систем, которые можно формализовано представить на основе динамических моделей МОБ. И только характеристики форм собственности агентов экономики и представления относящихся к ним долей выпуска (Суслов, Новикова, Цыплаков, 2016) не могут быть формализованы в уравнениях МОБ. Обсуждаемые здесь структурные реформы российский ЦБ сводит к таким мероприятиям, как монетарное манипулирование параметрами экономической политики (налоговой, бюджетной, денежно-кредитной и т.п.) с целью перераспределения ресурсов и доходов между экономическими агентами: государством, бизнесом, домашними хозяйствами и т.п. (Широв, 2018; Долятовский, Гречко, 2018). Эти действия нацелены также на переориентацию потоков ресурсов внутри секторов экономики и между ними. Такой подход вполне согласуется с тем, что принято понимать под структурными реформами в развитых странах Европы, Северной Америки и в Японии. И если для указанной группы стран, где производство благ длительные периоды времени основано на передовых технологиях и лучших практиках, подобные трансформации можно признать естественными, то российский контур управления не может поступать по аналогии (Широв, Саяпова, Янговский, 2015). Россия, особенно в сложившихся после 2014 г. социально-экономических и исторических внешних условиях, обязана проводить структурную политику, нацеленную на решение гораздо более серьезных проблем развития (Ивантер, 2017). Не имеющая ограничений со стороны природных ресурсов страна при адекватном функционировании контура управления может и должна быть структурно устойчивой, когда обеспечивается:

- самоподдерживающийся аperiодический экономический рост;
- достаточные для управления ростом наблюдаемости и чувствительности (а зна-

чит – наблюдаемости и управляемости) составляющих движения экономической динамики;

- демпферные свойства экономики в отношении экзогенных шоков самого разного характера;
- запас колебательной и аperiодической статической устойчивости системы, исключающий резкий срыв с траектории развития и роста.

Перечисленные свойства отображает анализ динамического МОБ в терминах декрементов и инкрементов составляющих движения, а также их частот (при наличии циклических колебаний), наблюдаемости, управляемости и прочих компонент собственных (т.е. внутренних, структурных) динамических свойств (СДС) (Торопцев, Мараховский, Дужински, 2019) экономических систем. Сказанное дает основание проводить моделирование на основе динамического МОБ, представленного системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Для оцифровки модели станем использовать базовые таблицы «затраты–выпуск» (ТЗВ), содержащиеся на сайте Росстата. На период написания данного текста доступны ТЗВ за 2011 и 2016 гг. ТЗВ за 2021 г. ожидаются, но пока на сайте можно найти только результаты Федерального статистического наблюдения для формирования ТЗВ за 2021 г. Введем в анализ (с учетом названий на английском языке) следующие массивы данных, отмечая их расположение в симметричной ТЗВ:

- *MTC* – матрица (потоки) полных затрат (*Matrix of Total Costs*), вычисляется из симметричной ТЗВ;
- *TIC* – матрица коэффициентов полных затрат, представляет собой элемент базовых ТЗВ (*Total Input Coefficients*) либо вычисляется из данных симметричной ТЗВ;
- $X(t)$ – вектор-функция валовых выпусков (итого использование), столбец 111 симметричной ТЗВ, аргумент t часто можно опустить;
- $Y(t)$ – вектор-функция совокупного конечного спроса, столбец 110, в статической модели вектор Y ;

- MIC – матрица промежуточного потребления (*Matrix of Intermediate Consumption*), столбцы 1–98 симметричной ТЗВ;

- ICV – вектор промежуточного потребления, столбец 099 (*Intermediate Consumption Vector*);

- A – матрица коэффициентов прямых затрат;

- B – матрица межотраслевых инерционных, имеет размерность времени (ранее на ее месте в модели располагалась матрица приростных фондоемкостей);

- IV – вектор инвестиций в основной и оборотный капитал, столбец 108 (*Investment Vector*);

- IM – матрица формирования инвестиций (*Investment Matrix*);

- VC – вектор непроизводственного потребления (столбец 111 минус столбцы 99 и 108, либо столбец 110 минус столбец 108) (*Vector of Non-productive Consumption*); в динамической модели $VC(t)$;

- MC – матрица формирования непроизводственного потребления (*Matrix of Non-productive Consumption*);

- C – матрица коэффициентов непроизводственного потребления;

- FFC – матрица коэффициентов финансовых потоков (*Financial Flow Coefficients*), в ТЗВ не содержится;

- E – единичная матрица;

- G (или G_1) – матрица состояния модели/системы, приведенной к нормальной форме Коши.

Сама модель в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений (СДУ) записана В. Леонтьевым еще в 1952 г. и большинству россиян известна, скорее всего, из (Леонтьев, 1990, с. 69). В наших обозначениях она выглядит так:

$$\begin{aligned} X(t) &= B \frac{dX(t)}{dt} + AX(t) + VC(t), \\ X(0) &= X_0. \end{aligned} \quad (1)$$

Матрица B в (1) названа автором модели матрицей капитальных коэффициентов, он же

парой строчек ниже формулы сообщил о ее наличии размером (100×100) для экономики США. Называют ее и матрицей капитальных затрат, и матрицей приростных фондоемкостей – суть дела это не меняет, она в такой интерпретации содержит безразмерные коэффициенты. Последнее физически невозможно, так как при этом терпит фиаско проверка модели по размерности. В самом деле, давайте сразу заместим производную в первом слагаемом правой части отношением конечных разностей $B \frac{dX(t)}{dt} \approx B \frac{\Delta X(t)}{\Delta t}$ – так яснее.

Если $\Delta X(t)$ определено в млн руб., а Δt – единицы времени, то элементы матрицы B тоже обязаны иметь размерность времени, так как остальные слагаемые (1) выражены в млн руб. только тогда проверка размерности модели дает миллионы справа – миллионы слева от знака равенства, иначе – никак.

Установить факт выполнения перечисленных выше требований структурной (технологической) устойчивости российской экономики возможно на основе анализа происходящих качественных изменений в структуре производства и потребления, а также в межотраслевых связях (Узякова, Узяков, 2018). Не станем обосновывать очевидное: дифференциальные уравнения выводят на лучший инструментарий для анализа динамических систем, к которым относятся экономические инструменты. Так почему же модель (1) долгие десятилетия не применялась на практике и была отнесена ко множеству «чисто теоретических конструкций» (Суворов, Трещина, Белецкий, 2017)? Ответ очевиден: модель никто не смог оцифровать, все дело в матрице B , но не только в ней. По В. Леонтьеву, это матрица капитальных коэффициентов, и если даже возглавляемая им команда коллег и учеников смогла получить такую симметричную матрицу, то никогда, нигде и никем она не была опубликована (публиковались только несимметричные матрицы). Почему не была опубликована? Скорее всего, такая матрица не может быть использована в акселераторе (первое слагаемое правой части (1)). И мы

объяснили, почему. Получатся не интерпретируемые результаты расчетов. Про модель (1) в мире забыли, ученые стали искать обходные пути для анализа экономической динамики, и хорошим тому примером является работа (Позамантур, 2014). Мы хотим быть правильно понятыми: симметричная матрица капитальных коэффициентов (приростных фондоемкостей) интересна сама по себе в качестве математико-статистического объекта. Но для использования в (1) не годится. В настоящих попытках ее применить скорее всего кроется не единственная, но фундаментальная ошибка, которая привела к отказу от дифференциальных уравнений (1) в межотраслевом анализе. Смягчая высказанную позицию, отметим, что это только наше предположение. Превратить его в доказанное утверждение прямым расчетом невозможно – данных нет.

Как все же получить хотя бы какое-то разумное приближение матрицы инерционностей B ? Экономическое толкование компонент вектора $B \frac{dX(t)}{dt}$ обращает внимание на то, что это «капитальная» (или «инвестиционная») составляющая, выделенная из конечного спроса Y в статической модели МОБ. Данный акселератор описывает скорость изменения всех видов «капитала» в экономике. «Все виды капитала» суммарно, согласно симметричной ТЗВ, содержат столбец 108 – «Итого накопление», то есть это вектор IV в наших обозначениях. Очевидно, что нам предстоит получить матрицу B на основе пропорций, задаваемых этим вектором. Скоро выясним, что не только матрица B должна быть получена таким приемом.

Для этого, опираясь на традиционное предположение линейности связи между затратами и выпуском, определим матрицу A как

$$A = MIC \cdot \text{diag}(X^{-1}). \quad (2)$$

В формуле (2) и далее в таких конструкциях надо считать, что $\text{diag}(X^{-1}) = \text{diag}\{1/x_i\}$, $i = \overline{1, n}$, т.е. это диагональная матрица с ука-

занными элементами. Далее так называемое основное уравнение статического МОБ

$$X = (E - A)^{-1} Y = TIC \cdot Y \quad (3)$$

позволяет от коэффициентов полных затрат, представленных в (3), перейти к финансовым потокам:

$$MTC = TIC \cdot \text{diag}(Y). \quad (4)$$

Из (4) ясно, что сумма элементов строк MTC равна соответствующим элементам выпуска X .

Далее схема МОБ позволяет записать для векторов

$$X = ICV + IV + VC, \quad (5)$$

каждый из которых образован как сумма строк соответствующих матриц:

$$MTC = MIC + IM + MC. \quad (6)$$

Сумма элементов строк матриц из (6) равна элементам соответствующих векторов из (5). При этом векторы, входящие в формулу (5), представлены в симметричной ТЗВ, чего нельзя утверждать о матрицах из (6). Из четырех матриц известны только две: MTC (вычислена по формуле (4)) и MIC (из симметричной ТЗВ). Если воспользоваться предположениями и допущениями, то разумными могут быть два варианта оцифровки. К разумным отнесем те, которые максимально используют официальную статистику, но в любом случае она дополняется элементами собственной статистической базы исследований. Первый вариант состоит в том, чтобы вычислить IM на основе пропорций, задаваемых вектором IV , а MC – определить из (6) как остаток, то есть задействовать пару следующих формул:

$$\begin{aligned} IM &= \text{diag}(IV / X) MTC; \\ MC &= MTC - MIC - IM. \end{aligned} \quad (7)$$

На основе задаваемых вектором VC пропорций матрица MC вычисляется по второму варианту, а затем – как остаток из (6) – определяется матрица IM :

$$\begin{aligned} MC &= \text{diag}(VC / X) MTC; \\ IM &= MTC - MIC - MC. \end{aligned} \quad (8)$$

Первое слагаемое правой части (1) при аппроксимации производной отношением конечных разностей позволяет вычислить приближение (мы полагаем $\Delta t = 1$ году) матрицы межотраслевых инерционностей. Качество приближения B , как показали расчеты, является достаточным для нашего анализа:

$$B = IM \cdot \text{diag}\left(\frac{\Delta t}{\Delta X}\right). \quad (9)$$

Именно в виде (9) матрицу B первоначально следует иметь в модели (1). Далее возможно ее уточнение – пересчет при фиксируемом росте производства. Для начала в нашем случае принято $\Delta X = (X_{2016} - X_{2011}) / 5$. Это качественная формула. Реально для вычисления ΔX применяются еще и дефляторы. Матрица B содержит инерционности, что можно обнаружить даже из визуального сравнения (1) с уравнением инерционного звена первого порядка. Если модель (1) записать для одной отрасли (как у Р. Солоу: экономика производит один продукт, который может как инвестироваться, так и потребляться), то аналитические сопоставления становятся элементарными. Мы же на основании вышеуказанного опустим индекс t и представим (1) следующим образом:

$$\begin{aligned} X &= B \frac{\Delta X}{\Delta t} + A \cdot X + C \cdot X = \\ &= IM \cdot \text{diag}\left(\frac{\Delta t}{\Delta X}\right) \frac{\Delta X}{\Delta t} + MIC \cdot \text{diag}\left(\frac{1}{X}\right) X + \\ &+ MC \cdot \text{diag}\left(\frac{1}{X}\right) X, \end{aligned} \quad (10)$$

и получим нормальную форму Коши:

$$\frac{dX}{dt} \approx \frac{\Delta X}{\Delta t} = G \cdot X(t), \quad (11)$$

где $G = B^{-1}(E - A - C)$, $X(0) = X_0$.

Отметим особенности обсуждаемой модели, на которые мы ранее уже обратили

внимание (Торопцев, Мараховский, 2022а, 2022б). Во-первых, представленные в симметричных ТЗВ Росстата векторы инвестиций IV имеют нулевые элементы. Вычисляя инерционности по формуле (9), мы получим нулевые строки в матрице B . Она окажется вырожденной и не имеющей обратной матрицы для подстановки в (11). Зато на основе аппарата сингулярного разложения (SVD) с процедурой регуляризации задачи, давно и хорошо себя зарекомендовавших для преодоления вырожденности (Форсайт, Малькольм, Моулер, 1980), доступно вычисление эффективной псевдообратной матрицы $B^\#$ для подстановки в ту же (11). Во-вторых, и это послужило еще одним фундаментальным фактором для отказа от попыток практического использования дифференциальных уравнений в межотраслевом анализе, получение формы Коши по формуле (11) всегда приводит к известному в численном анализе эффекту «развала решения». В подобных случаях специалисты в области моделирования экономики прибегают к калибровкам своих моделей, которые предполагают определенные и обоснованные изменения их структуры и состава (Макаров, Бахтизин, Сулакшин, 2007). В нашем случае калибровка потребовала введения в модель такого массива, как матрица FFC , обладающего уникальными для нашего исследования свойствами. Из ее определения в перечне используемых данных следует, что

$$FFC = MTC \cdot \text{diag}(X^{-1}). \quad (12)$$

Из (12) прямо следует, что $FFC \cdot X = X$. Последнее означает, что X – собственный вектор FFC , а соответствующее ему собственное число λ равно 1. Тогда, в соответствии с канонами линейной алгебры, матрица FFC не сжимает и не растягивает вектор X – он остается нетронутым. Зато появление матрицы FFC в качестве множителя перед вектором X в правой части равенства (1) радикально меняет свойства модели – она начинает правильно отображать экономическую динамику. Матрица состояния G в (11) формируется уже

с участием FFC на месте единичной матрицы E .

Еще одна особенность модели порождается наличием нулей в векторе IV симметричной ТЗВ. В этом случае, в соответствии с формулами (7) и (9), в матрицах IM и B неизбежно, как отмечалось выше, появление нулевых строк. В рассматриваемых ТЗВ за 2011 и 2016 гг. векторы инвестиций IV имеют по 20 нулей. Это значит, что модель (1) содержит 78 дифференциальных и 20 алгебраических уравнений. Наряду с системой дифференциальных уравнений (СДУ), можно формировать алгебро-дифференциальную систему (АДС). Для этого в симметричной ТЗВ целесообразно переставить местами строки и столбцы так, чтобы сохранить ее симметричность и получить запись алгебраических уравнений после дифференциальных, то есть в нижней части системы уравнений, приобретающей следующий общий вид:

$$B \cdot pX + F \cdot X = 0, \quad (13)$$

где $F = A + C - FFC$; $p = \frac{\Delta}{\Delta t}$ – разностный оператор, аналог оператора непрерывного дифференцирования по времени $\frac{d}{dt}$.

В общем случае модель может иметь m дифференциальных и n алгебраических уравнений. Тогда, в соответствии с изложенным в работе (Торопцев, Таточенко, 2011), вектор выпуска X содержит два подвектора:

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix}, \quad X_1 \in R^m, \quad X_2 \in R^n,$$

а матрицы в (13) представляются следующими блоками:

$$B = \begin{pmatrix} B_1 & B_2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad F = \begin{pmatrix} F_1 & F_2 \\ F_3 & F_4 \end{pmatrix}$$

с компонентами $B_1, B_2, F_1, F_2, F_3, F_4$ имеющими размерности (m, m) , (m, n) , (m, m) , (m, n) , (n, m) , (n, n) соответственно. Тогда (13) приобретает следующий вид:

$$B_1 pX_1 + B_2 pX_2 + F_1 X_1 + F_2 X_2 = 0, \quad (14)$$

$$F_3 X_1 + F_4 X_2 = 0. \quad (15)$$

Действуя формально и выражая X_2 через X_1 из (15), а также считая блок F_4 неособенной матрицей, получим $X_2 = -F_4^{-1} F_3 X_1$, что подстановкой в (14) промежуточно дает:

$$(B_1 - B_2 F_4^{-1} F_3) pX_1 = -(F_1 - F_2 F_4^{-1} F_3) X_1,$$

и, наконец,

$$pX_1 = G_1 X_1; \quad X_{10}(0) = X_0;$$

$$G_1 = -(B_1 - B_2 F_4^{-1} F_3)^{-1} (F_1 - F_2 F_4^{-1} F_3) X_1. \quad (16)$$

Отношения (16) представляют форму Коши в общем виде. Наш случай, однако, проще. На самом деле можно видеть, что

$$\begin{aligned} F &= A + C - FFC = \\ &= (MIC + VC - MTC) \text{diag}(X^{-1}) = \\ &= -IM \cdot \text{diag}(X^{-1}). \end{aligned} \quad (17)$$

Но «низ» матрицы IM в (17) состоит из нулей – в нашем случае после перестановки строк и столбцов симметричной ТЗВ – это 20 нулевых строк, что упрощает выражение для матрицы состояния в (16) до варианта

$$G_1 = -(B_1^{-1}) F_1. \quad (18)$$

Сказанное на основе (13) и (17) позволяет записать

$$\begin{aligned} B \Delta X &= -F \cdot X = IM \cdot \text{diag}(X^{-1}) X, \\ \Delta t &= 1, \end{aligned} \quad (19)$$

откуда с учетом (9) и вспомогательной записи

$$IM \cdot \text{diag}(\Delta X^{-1}) \Delta X = IM \cdot \text{diag}(X^{-1}) X$$

получим выражение для формы Коши в нашем случае ($\Delta t = 1$):

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &\approx \frac{\Delta X}{\Delta t} = \Delta X = \text{diag}\left(\frac{\Delta X}{X}\right) X = G \cdot X; \\ X(0) &= X_0. \end{aligned} \quad (20)$$

Таким образом, матрица состояния – диагональная (на диагонали стоят собственные числа), что сильно упрощает задачу средне-

срочного прогнозирования валового производства. Ее решение требует построения матрицы G по формуле (20), после чего можно сразу, без модели (1), перейти к построению интегральных кривых вычислением матричной экспоненты, например

$$X(t) = e^{Gt} X_0, \quad (21)$$

где e^{Gt} – тоже диагональная матрица.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И ЕГО АНАЛИЗ

Детализированную технику построения интегральных кривых можно найти в работе (Торопцев, Мараховский, Дужински, 2020). Прогнозирование $X(t)$ на интервале 2011–2016 гг., когда значения $X_0 = X_{2011}$ и аппроксимации производной не меняются, дает завышенные оценки выпуска. Накапливаемая при интегрировании ошибка легко исправляется корректировкой значений производных (годовых приращений выпуска в нашем случае) и начальных значений на каждый год прогноза. Средняя относительная ошибка прогнозирования на рассматриваемом интервале времени составила 5,4%, а максимальная не превысила 8%.

Однако простое прогнозирование выпуска $X(t)$ – минимальная задача, хотя и важная сама по себе. Пример более содержательной и комплексной цели с точки зрения анализа результатов структурной политики выглядит следующим образом: 1) задаем желаемые (малые) приращения ΔG на диагональ G ; 2) вычисляем соответствующую этому случаю матрицу инерционностей B ; 3) вычисляем прогнозное приращение выпуска ΔX ; 4) вычисляем (при необходимости) все остальные массивы модели. Перечисленные действия можно в цикле повторить требуемое число раз. Можно сформулировать и решить массу оптимизационных задач структурной политики, предполагающих рассмотрение всей сово-

купности СДС экономики в терминах наблюдаемости, управляемости, чувствительности, возбуждаемости, составляющих движения при вариации любых параметров модели (1). Это и будет анализом эффективности структурной политики.

Почему мы здесь обратились к инерционностям, а не к другим параметрам? – Инерционности могут быть в короткое время подвержены значительным изменениям. С 22 февраля 2022 г. внутри- и межотраслевые инерционности российской экономики чудесным образом сократились просто волей верховной власти. Воля не может изменить технологическую матрицу A , а вот матрицу B изменить может. Интересный феномен, который пока нельзя напрямую подтвердить расчетами на основе нашей модели из-за отсутствия адекватной статистики этого периода! Однако в пользу такой догадки выступает оценка Росстатом роста ВВП России в III квартале 2023 г. относительно соответствующего периода 2021 г. на 5,5%¹. При этом отраслевая статистика сообщает о росте оптового и розничного товарооборота на 22,9 и 11,3% соответственно, обрабатывающих производств – на 10,2%, строительства – на 8%. Вспомним различные прогнозы роста – они были меньше в разы! И это – следствие работы той самой воли и адекватного снижения инерционностей. Больше в указанный период меняться было нечему.

Возвращаясь к оцифровке модели, рассмотрим, какой же вариант предпочтителен: использовать формулы (7) или (8)? Разумно было бы предположить, что тот, который лучше отображает экономическую динамику: есть же возможность построить интегральные кривые на интервале 2011–2016 гг. и сравнить с фактическим валовым производством. Во-вторых, можно по двум вариантам получить нормальную форму Коши модели (1) и вычислить собственные числа матрицы состояния. Предпочтя случай «во-вторых», предста-

¹ См.: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/222962>

вим в табл. 1 собственные значения за 2011 и 2016 гг., где во втором столбце представлены номера формул, использованных для оцифровки. Расчет представлен без корректировок производных и начальных значений. Во всех случаях выполняются равенства (5) и (6).

Данные табл. 1 содержат первый десяток собственных чисел, расположенных в порядке убывания, чтобы можно было сохранить наглядность. Визуальный анализ данных позволяет видеть, что вариант с использованием формул (7) дает чуть меньшие степени экономического роста (такое название от того, что собственные числа располагаются в показателях степени экспонент), чем при употреблении (8), хотя представления об экономической динамике при этом существенно не меняются.

Аналогичная информация о собственных значениях при записи модели как АДС дана в табл. 2.

Сопоставление данных двух таблиц указывает на то, что вариант оцифровки по формулам (7) лучше, чем по формулам (8). Дело в том, что при получении АДС по (8) матрица IM формируется некорректно – в ней нет ожидаемых нулевых строк «внизу». Отличны от нуля и блоки F_3 и F_4 в (15), там – «мусорные» цифры, но не нули, – это накопленные вычислительные погрешности. Конечно, до незна-

ваемости результат не изменился, но все-таки моделирование АДС целесообразно с использованием формул (8), а не (7).

На диагонали диагональной матрицы располагаются ее собственные значения, а цель структурной политики состоит в синтезе экономики, обладающей внутренней склонностью к расширенному воспроизводству. Поэтому инвестиционные усилия должны быть посвящены генерации положительных приращений к диагональным элементам G в СДС и G_1 в АДС. Инвестирование в основной и оборотный капитал индивидуально для всякого вида ВЭД решается из целесообразности и приоритетов развития и роста. Чтобы обратить внимание читателя на возможные конкретные мероприятия в рамках структурной и/или денежно-промышленной политики, отметим, что матрица инвестиций IM строится на основе пропорций, задаваемых вектором инвестиций IV . В свою очередь IM задействована в формуле (9) для расчета межотраслевых инерционностей B . Последняя входит в формулы получения матриц состояния G для СДУ и G_1 АДС, которые полностью определяют СДС экономики как системы. Это без изменений элементов технологической матрицы A . Вывод: на среднесрочном временном горизонте конур управления должен ре-

Таблица 1
Собственные числа матрицы состояния G модели (1), (10), СДУ

2011	(7)	0,643	0,333	0,252	0,245	0,241	0,231	0,218	0,207	0,201	0,196
2011	(8)	0,644	0,370	0,333	0,298	0,247	0,245	0,241	0,231	0,221	0,220
2016	(7)	0,153	0,125	0,120	0,110	0,109	0,107	0,105	0,105	0,104	0,100
2016	(8)	0,153	0,130	0,125	0,120	0,110	0,109	0,107	0,107	0,105	0,104

Источник: вычисления авторов.

Таблица 2
Собственные числа матрицы состояния G_1 модели (14), (15), АДС

2011	(7)	0,644	0,333	0,298	0,245	0,241	0,231	0,221	0,221	0,218	0,201
2011	(8)	0,642	$0,333+i7.525 \cdot 10^{-3}$	$0,333+i7.525 \cdot 10^{-3}$	0,245	0,240	0,229	0,222	0,218	$0,21+i0,0141$	$0,21-i0,0141$
2016	(7)	0,153	0,125	0,120	0,110	0,109	0,107	0,105	0,105	0,104	0,100
2016	(8)	0,153	$0,287+i0,177$	$0,287+i0,177$	0,190	0,190	0,187	0,184	0,182	0,182	0,179

Источник: вычисления авторов.

шать оптимизационную задачу формирования вектора инвестиций по ВЭД. Собственно, контур этим и занимается, наше дело – предложить еще один формализованный инструмент для этой работы.

В демонстрационном вычислительном эксперименте можно ограничиться одним для всех ВЭД значением приращения степеней роста, скажем всего лишь 10^{-4} , и будем рассматривать более «тяжелый» в вычислительном отношении вариант моделирования СДС, когда G не строго диагональная. Воспользуемся данными симметричной ТЗВ за 2016 г. и отобразим G на рис. 1, из которого видно диагональное доминирование и тот факт, что не все ВЭД имеют положительные степени роста. При этом аналитически установленная диагональность G численно является строгой при формировании модели – как АДС. Запись СДУ дает G с большим диагональным преобладанием (диагональные элементы на 3–5 и более порядков превосходят по величине внедиагональные, рис. 1), причем соответствующие ненулевые диагональные элементы АДС и СДУ отличаются друг от друга не более чем на 4,7%. Таким образом, АДС и СДУ дают одно и то же представление о структурной динамике экономики.

Сообщим диагональным элементам G указанное малое приращение, вычислим B по формуле

$$B = (FFC - A - C)G^{-1}, \quad (22)$$

и определим соответствующее новым (уменьшенным) инерционностям приращение выпуска. По формуле (22) будет получена новая матрица B_{new} , если вместо G в расчете будет участвовать матрица $G_{new} = G + \Delta G$. Новые инерционности, согласно $\Delta X = (IM^{-1}B)^{-1}$, обеспечат приращение к ΔX , равное ΔX_{new} . Причем ожидаемо для нашего рассмотрения будет получен результат

$$\Delta X_{new} - \Delta X = 10^{-4} X. \quad (23)$$

Расчет по (23) во второй строке представляет табл. 3, содержащая первые пять значений из 98. Этого достаточно для представления картины эксперимента.

Наконец, на рис. 2 приведем результат прогнозирования валового производства в 2016 г. по данным ТЗВ за 2011 г. для визуальной оценки успеха прогнозирования. Для этого примера мы прибегли к агрегированию 98 ВЭД к основным 16 разделам ОКВЭД. Максимальная относительная ошибка не пре-

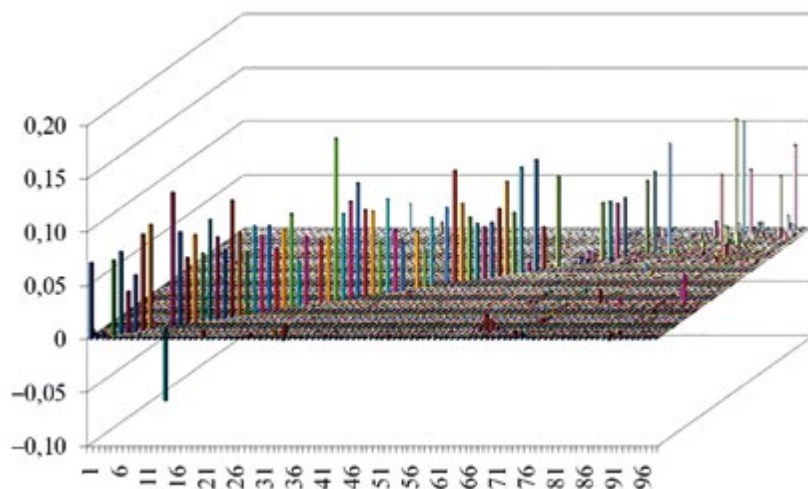


Рис. 1. Диаграмма, отображающая диагональное преобладание в матрице G

Источник: вычисления авторов.

Таблица 3

Вычислительный эксперимент по формулам (22) и (23)

X_{2016} , млн руб.	$5,770 \cdot 10^6$	$1,069 \cdot 10^5$	$8,749 \cdot 10^3$	$2,884 \cdot 10^5$	$2,687 \cdot 10^5$
$(\Delta X_{new} - \Delta X)$, млн руб.	577,871	10,687	0,875	28,434	26,874

Источник: вычисления авторов.

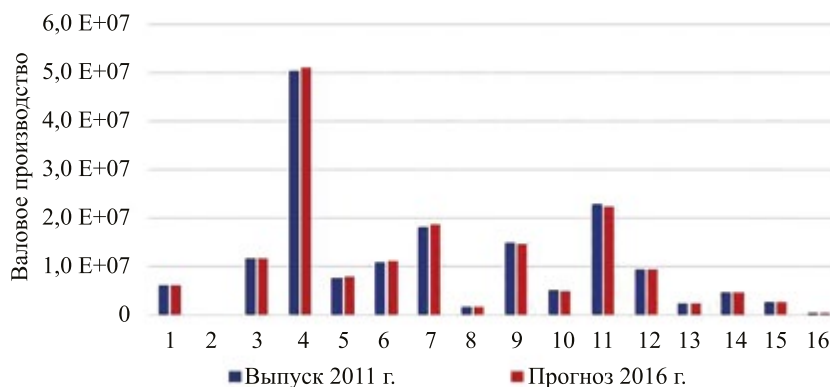


Рис. 2. Прогноз валового производства в 2016 г.:
слева – факт, справа – прогноз по данным базовых ТЗВ за 2011 г.

Источник: вычисления авторов.

высила 1,5%. Базовые цены расчета – текущие цены 2016 г.

Подводя итог сказанному отметим, что исследуемая модель обладает всеми необходимыми качествами для решения на ее основе многочисленных задач разработки, оптимизации и оценки эффективности структурной политики в рамках неценовых показателей авторской теории собственных динамических свойств экономических систем.

Список литературы / References

Аксянова А.В. (2011). Оценка эффективности воспроизводство-функциональной структуры региональной экономики // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. № 2, С. 149–153. [Aksyanova A. V. (2011). Evaluation of the efficiency of the reproduction and functional structure of the regional economy. *Economics,*

Statistics and Informatics. Bulletin of the UMO, no. 2, pp. 149–153 (in Russian).]

Буклемишев О.В. (2023) «Структурная трансформация» российской экономики и экономическая политика // Проблемы прогнозирования. № 4 (199). С. 42–53. [Buklemishev O.V. (2023). “Structural transformation” of the Russian economy and economic policy. *Studies on Russian Economic Development*, no. 4 (199), pp. 42–53 (in Russian).] URL: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-199-42-53>

Глазьев С.Ю. (2016) Экономика будущего. Есть ли у России шанс? М.: Книжный мир. 640 с. [Glaz'yev S.Y. (2016). *The economy of the future. Does Russia have a chance?* Moscow: Knizhnyy mir Publ. 640 p. (in Russian).]

Долятовский В.А., Гречко М.В. (2018). Моделирование механизмов поведения экономических агентов // Экономический анализ: теория и практика. Т. 17. № 10 (481). С. 1835–1848. [Dolyatovskii V.A., Grechko M.V. (2018). Modeling of the mechanisms of behavior of economic agents. *Economic Analysis: Theory and*

- Practice*, vol. 17, no. 10 (481), pp. 1835–1848 (in Russian).] URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.10.1835>
- Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М., Мельникова Л. В., Цыплаков А. А. (2017). Интеграция подхода «затраты-выпуск» в агент-ориентированное моделирование. Часть 1. Методологические основы // Мир экономики и управления. Т. 17. № 1. С. 86–99. [Domozhirov D.A., Ibragimov N.M., Melnikova L.V., Tsyplakov A.A. (2017). Integrating an input-output approach into agent-based modeling. Part 1. Methodological foundations. *World of Economics and Management*, vol. 17, no. 1, pp. 86–99 (in Russian).]
- Егорова М. С. (2013). Технологические инновации как основа изменения технологической структуры экономики // Управление экономическими системами. № 10 (58). [Egorova M.S. (2013). Technological innovations as the basis for changing the technological structure of the economy. *Management of Economic Systems: Scientific Electronic Journal*, no. 10 (58) (in Russian).] URL: <http://uecs.ru/uecs58-582013/item/2419-2013-10-11-07-04-58>
- Ивантер В. В. (2017) Структурно-инвестиционная политика в целях обеспечения экономического роста в России: монография. М.: Научный консультант. 196 с. [Ivanter V.V. (2017). Structural and investment policy for ensuring economic growth in Russia: monograph. Moscow, Scientific Consultant Publ. 196 p. (in Russian).]
- Леонтьев В. В. (1990). Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. М.: Политическая литература. 415 с. [Leontief V.V. (1990). *Economic essays. Theories, research, facts and policy*. Moscow: Political Literature. 415 p. (in Russian).]
- Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сулакшин С. С. (2007). Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт. 304 с. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sulakshin S.S. (2007). The application of computable models in public administration Moscow, Scientific Expert Publ. 304 p. (in Russian).]
- Набиуллина Э. С. (2022). Выступление на совместном заседании профильных комитетов Государственной Думы, посвященном рассмотре-
нию Годового отчета Банка России за 2021 г. 18 апреля 2022 г. [Elvira Nabiullina's speech at joint meeting of State Duma dedicated committees on Bank of Russia's 2021 Annual Report (in Russian).] URL: <http://cbr.ru/press/event/?id=12824>
- НИУ ВШЭ (2018). Структурные изменения в российской экономике и структурная политика. Аналитический доклад. Под научным руководством Ясина Е. Г. Москва: НИУ ВШЭ. [NRU HSE (2018). Structural changes in the Russian economy and structural policy. Analytical report. Under the scientific supervision of acad. Yasin E.G. Moscow: NRU HSE (in Russian).]
- Панкова С. В., Попов В. В. (2016). Моделирование влияния динамики структуры взаимной торговли на развитие экономического потенциала Российской Федерации // Экономический анализ: теория и практика. № 12 (459). С. 4–13. [Pankova S.V., Popov V.V. (2016). Modeling the influence of the dynamics of the structure of mutual trade on the development of the economic potential of the Russian Federation. *Economic Analysis: Theory and Practice*, no. 12 (459), pp. 4–13 (in Russian).]
- Позамантир Э. И. (2014). Вычислимое общее равновесие экономики и транспорта (Транспорт в динамическом межотраслевом балансе). М.: ПОЛИ ПРИНТ СЕРВИС, 2014. 160 с. [Pozamantir E.I. (2014). Computable General equilibrium of the economy and transport (Transport in a dynamic inter-industry balance). Moscow, POLI PRINT SERVIS Publ. 160 p. (in Russian).]
- Решетова У. Р. (2019). Анализ структуры российской экономики на современном этапе // Научное обозрение. Экономические науки. № 3. С. 26–30. [Reshetova U.R. (2019). Analysis of the structure of the Russian economy at the present stage. *Scientific Review. Economic Sciences*, no. 3, pp. 26–30 (in Russian).]
- Суворов Н. В., Трещина С. В., Белецкий Ю. В. (2017). Балансовые и факторные модели как инструмент анализа и прогнозирования структуры экономики. Научные труды. Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. Т. 15. С. 50–75. М.: МАКС Пресс. [Suvorov N.V., Treschina S.V., Beletsky Y.V. (2017).

- Balance and factor models as a tool for analyzing and forecasting the structure of the economy. Scientific works: Institute of National Economic Forecasting, RAS, vol. 15, pp. 50–75. Moscow: MAKSS Press (in Russian).]
- Суслов В.И., Доможиров Д.А., Ибрагимов Н.М., Костин В.С., Мельникова Л.В., Цыплаков А.А. (2016). Агент-ориентированная многорегиональная модель «затраты-выпуск» российской экономики // Экономика и математические методы. Т. 52. № 1. С. 112–131. [Suslov V.I., Domozhirov D.A., Ibragimov N.M., Kostin V.S., Mel'nikova L.V., Tsyplakov A.A. (2016). Agent-based multi-regional input-output model of the Russian economy. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 52, no 1. pp. 112–131 (in Russian).]
- Суслов В.И., Новикова Т.С., Цыплаков А.А. (2016). Моделирование роли государства в пространственной агент-ориентированной модели // Экономика региона. Т. 12. № 3. С. 951–965. [Suslov V.I., Novikova T.S., Tsyplakov A.A. (2016). Modeling the role of the state in a spatial agent-based mode. *Economy of Region*, vol. 12, no. 3. pp. 951–965 (in Russian).]
- Торопцев Е.Л., Гудиева Н.Г. (2023). Современное состояние межотраслевых исследований // Инженер настоящего и будущего: практика и перспективы развития партнерства в высшем техническом образовании: материалы XVIII Всероссийской науч. – практ. конф. с междунар. участием, г. Донецк / отв. ред. Л.А. Кукушкина. Донецк: Изд-во ДонНТУ. [Toroptsev E.L., Gudieva N.G. (2023). Current state of interindustrial research. *Engineer of the present and future: practice and prospects for the development of partnerships in higher technical education*: Materials of the XVIII All-Russian scientific and practical conference with international participation. Donetsk. Ed. by L.A. Kuku-shkina. Donetsk: DonNTU Publishing House (in Russian).]
- Торопцев Е.Л., Мараховский А.С. (2022а). Анализ макроструктурной динамики в рамках методологии «затраты–выпуск» // Журнал Новой экономической ассоциации. № 1 (53). С. 12–30. [Toroptsev E.L., Marakhovskii A.S. (2022). Analysis of macrostructural dynamics framed by the “input–output” methodology. *Journal of the New Economic Association*, no. 1 (53), pp. 12–30 (in Russian).] URL: <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-53-1-1>
- Торопцев Е.Л., Мараховский А.С. (2022б). Структурные инерционности экономических систем // Экономика и математические методы. Т. 58. № 1. С. 38–47. [Toroptsev E.L., Marakhovskii A.S. (2022). Structural inertia of economic systems. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 58, no. 1, pp. 38–47 (in Russian).] URL: <https://doi.org/10.31857/S042473880016564-9>
- Торопцев Е.Л., Мараховский А.С., Дужински Р.Р. (2019). Теоретические основы разработки комплекса равновесных и межотраслевых моделей // Экономический анализ: теория и практика. Т. 18. № 3. С. 427–446. [Toroptsev E.L., Marakhovskii A.S., Duszynski R.R. (2019). Theoretical framework for a set of equilibrium and input-output models development. *Economic Analysis: Theory and Practice*, vol. 18, no. 3, pp. 427–446 (in Russian).] URL: <https://doi.org/10.24891/ea.18.3.427>
- Торопцев Е.Л., Мараховский А.С., Дужински Р.Р. (2020). Межотраслевое моделирование переходных процессов // Экономический анализ: теория и практика. Т. 19. № 3. С. 564–585. [Toroptsev E.L., Marakhovskii A.S., Duszynski R.R. (2020). Intersectoral modeling of transients. *Economic Analysis: Theory and Practice*, vol. 19, iss. 3, pp. 564–585 (in Russian).] URL: <https://doi.org/10.24891/ea.19.3.564>
- Торопцев Е.Л., Таточенко Т.В. (2011). Теоретические основы управления модернизацией и экономическим ростом // Региональная экономика: теория и практика. № 2 (185). С. 2–11. eLIBRARY ID: 15541818. [Toroptsev E.L., Tatochenko T.V. (2011). Theoretical bases management modernization and economic growth. *Regional Economics: Theory and Practice*, vol. 22, iss. 4, pp. 2–11 (in Russian).]
- Узякова Е.С., Узяков Р.М. (2018). Анализ влияния научно-технического развития на экономический рост с использованием инструментария межотраслевого баланса // Проблемы прогнозирования. № 6. С. 82–92. [Uzyakova E.S., Uzyakov R.M. (2018). Analysis of the influence

of scientific and technological development on economic growth using inter-industry balance tools. *Studies on Russian Economic Development*, no. 6, pp. 82–92 (in Russian).] URL: <https://ecfor.ru/wpcontent/uploads/2019/04/analiz-vliyaniya-nauchno-tehnicheskogo-razvitiya-na-ekonomicheskij-rost-s-ispolzovaniem-mob.pdf>

- Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. (1980). Машинные методы математических вычислений. М.: Мир. 276 с. [Forsyth J., Malcolm M., Moler K. (1980). Machine methods of mathematical computation. Moscow: Mir. 276 p. (in Russian).]
- Широв А.А. (2018). Трансформация структуры экономики: механизмы и управление: монография. Ин-т народнохозяйственного прогнозирования РАН. М.: МАКС Пресс. 263 с. [Shirov A.A. (2018). Transformation of the structure of the economy: mechanisms and management: monograph. Institute of National Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences. Moscow, MAKSS Press Publ. 263 p. (in Russian).]
- Широв А.А., Саяпова А.Р., Янтовский А.А. (2015). Интегрированный межотраслевой баланс как элемент анализа и прогнозирования связей на постсоветском пространстве // Проблемы прогнозирования. № 1. С. 11–22 (in Russian). [Shirov A.A., Sayapova A.R., Yantovsky A.A. (2015). Integrated intersectoral balance as an element of analysis and forecasting of connections in the post-Soviet space. *Studies on Russian Economic Development*, no. 1, pp. 11–22 (in Russian).] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integrirovannyi-mezhotraslevoy-balans-kak-element-analiza-i-prognozirovaniya-svyazey-na-postsovetском-prostranstve>
- Célestin Monga, Yifu Lin Justin (eds) (2019). The Oxford Handbook of Structural Transformation. Oxford Handbooks. Oxford Academic. 742 p. URL: <https://doi.org/10.1093/oxford-hb/9780198793847.001.0001>
- Rodrik D. (2016). Premature deindustrialization. *Journal of Economic Growth*, vol. 21, pp. 1–33.
- Stiglitz J.E. (2017). Structural Transformation, Deep Downturns, and Government Policy. *NBER Working Paper*, no. 23794.
- UNIDO (2009). Industrial Development Report. In: Breaking In and Moving Up: New Industrial

Challenges for the Bottom Billion and the Middle-Income Countries. UNIDO. 146 p. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/2009-02/IDR_2009_print_0.PDF

Рукопись поступила в редакцию 12.01.2024

DIFFERENTIAL EQUATIONS OF INPUT–OUTPUT BALANCE: DIGITIZATION AND THE PROSPECT OF APPLICATION

*E. L. Toroptsev, M. M. Kandokhova,
N. G. Gudieva*

DOI: 10.33293/1609-1442-2024-1(104)-7-22

EDN: ABVPDD

Toroptsev Evgeniy L'vovich, Doct. Sc. (Economics), Professor, Digital Business Technologies and Accounting Systems, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia; eltoroptsev@yandex.ru; ORCID 0000-0002-4036-6002; eLibrary SPIN: 7087-1760

Kandokhova Marianna Mikhailovna, Cand. Sc. (Economics), Center for Sustainable Development, Kabardino-Balkar State University, Nalchik, Russia; mrkand@mail.ru

Gudieva Natalia Grigorievna, trainee-researcher, Scientific and educational mathematical center “North-Caucasus Center for Mathematical Research”, Stavropol, Russia; gudieva82@bk.ru

Acknowledgment. The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation no. 24-28-00056 (<https://rscf.ru/project/24-28-00056/>).

Abstract. Impacts on the structure of the economy are efforts aimed at changing its properties. These efforts can be used to solve various tasks, for example, for technological renewal, economic diversification, etc. One of the main goals of structural reforms in the Russian economy will remain for a long time a purposeful synthesis of such its own/internal/structural dynamic properties that, in the absence of resource constraints or even with minimally sufficient re-

sources, would ensure self-sustaining aperiodic economic growth and smoothing business cycles. An analysis of publications on this issue over the past 20 years indicates an increase in activity in different countries aimed at finding new solutions for the formation and implementation of structural policies. The uneven development and general uncertainty of recent times have expanded the range of these countries and multiplied approaches to the development of structural policies. In this regard, we note the growing relevance of creating new tools and methods for analyzing the effectiveness of such a policy. This is reinforced by the fact that even the implementation of minimal structural policy measures based on proven approaches and solutions is fraught with miscalculations and mistakes. The responsibilities of the management circuit include an adequate response to errors, drawing conclusions from them and correcting economic behavior, up to the complete cessation of certain measures and programs. For the study of economic systems, the best possible tools are differential equations and methods of their analysis. We turn to the dynamic model of input-output balance, formalized by such equations, the author's method of its digitization and the theory of its own dynamic properties of economic systems. The purpose of the work is to improve the tools for analyzing structural policy based on the independent application of this input-output model, as well as by including it in large research computing complexes being developed at the CEMI RAS, IEF RAS and other large scientific centers. The aim of the study is to adapt the dynamic input-output balance for the analysis of structural policy. The result of the work: the author's instrumental approach, which was not previously used for the development and analysis of structural policy.

Keywords: structural policy, dynamic input-output balance, digitalization, own dynamic properties of the economy.

JEL Classification: B41, C02, C61, C68.

For reference: Toroptsev E.L., M Kandokhova.M., Gudieva N.G. (2024). Differential equations of input-output balance: digitization and the prospect of application. *Economics of Contemporary Russia*, no. 1 (104), pp. 7–22. DOI: 10.33293/1609-1442-2024-1(104)-7-22. EDN: ABVPDD

Manuscript received 12.01.2024

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОСТОЧНОЙ, ЗАПАДНОЕВРОПЕЙСКОЙ И РОССИЙСКОЙ МОДЕЛЕЙ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

С.Л. Сазанова

DOI: 10.33293/1609-1442-2024-1(104)-22-34

EDN: DNLWBJ

Аннотация. Инвестиции и инвестиционная деятельность играют ведущую роль в развитии современных стран. Отток капитала из страны, снижение инвестиционной деятельности являются факторами, сдерживающими ее развитие в кратко- и долгосрочной перспективе. Приток капитала и расширение инвестиционной деятельности, напротив, является стимулом экономического развития. На инвестиционную деятельность влияет множество факторов, наименее изученными из которых являются исторически сложившиеся предпосылки, мотивы, стимулы, цели, источники финансирования и другие аспекты инвестиционной деятельности. Анализ инвестиционной деятельности как современного экономического феномена нуждается в дополнении историко-экономическим анализом с целью выявления особенностей инвестиционной деятельности в различных регионах мира. Это в свою очередь, позволит установить исторически сложившиеся особенности инвестиционной деятельности в России, понять взаимосвязь мотивов и стимулов инвестирования в России и сформулировать рекомендации, направленные на совершенствование инвестиционной деятельности в России. Целью проведенного исследования является выявление сформировавшихся в период древности и средневековья моделей инвестиционной де-

© Сазанова С.Л., 2024 г.

Сазанова Светлана Леонидовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ», Москва, Россия; sazanova@mail.ru; eLibrary SPIN: 6100-4679