

Макроэкономическое моделирование

Вычислимый динамический
межотраслевой баланс и его применение**Евгений Львович Торопцев**

ORCID: 0000-0002-4036-6002

Доктор экономических наук,
профессор кафедры цифровых
бизнес-технологий и систем учета,
Северо-Кавказский федеральный университет
(РФ, 355017, Ставропольский край,
Ставрополь, ул. Пушкина, 1)
E-mail: eltoroptsev@yandex.ru

Наталья Григорьевна Гудиева

ORCID: 0000-0001-9341-8446

Ассистент кафедры вычислительной
математики и кибернетики,
Северо-Кавказский федеральный университет
(РФ, 355017, Ставропольский край,
Ставрополь, ул. Пушкина, 1)
E-mail: gudieva82@bk.ru

Аннотация

Полюс в многополярном мире формируется и устойчиво функционирует там, где государство целенаправленно уделяет должное внимание разработке и проведению эффективной структурной политики, что предполагает использование инструментария для решения широкого круга проблем: от организации мониторинга и технологической модернизации экономики до изменений в институциональных системах. При проведении структурного реформирования в экономике всякой страны первостепенное внимание привлекает проблема синтеза таких ее динамических характеристик, которые обеспечивали бы ожидаемую чувствительность к управляющим воздействиям и обладали демпферными свойствами в отношении негативных шоков. При этом на первый план выходит поиск новых методов и инструментов разработки, реализации и оценки эффективности структурной политики. Организация такой работы входит в число первостепенных задач правительства. Здесь следует иметь в виду высокую вероятность просчетов и ошибок при использовании обоснованных на первый взгляд решений. Это обязывает принимающих решения в управлении экономикой позаботиться о наличии формализованных и постоянно применяемых инструментов идентификации ошибок и необходимых изменений экономического поведения. Опыт анализа всяких динамических систем, к числу которых вне сомнения относятся и экономические, свидетельствует, что исследование будет наиболее полным и содержательным, если объект удастся формализовать моделью из дифференциальных уравнений. Поэтому в статье авторы обращаются именно к такого рода динамическому межотраслевому балансу (МОБ). При этом критически важным авторы считают полную информационную обеспеченность модельных решений задачи официальными статистическими данными. Таким образом, целью исследования является совершенствование инструментария анализа структурной политики, а его результатом — вычислимая модель динамического МОБ, обеспечивающая возможность численного анализа структурной динамики для достижения указанной цели и решения набора смежных, характерных для межотраслевого анализа, задач. Применяемая для исследования модель была информационно обеспечена данными базовых таблиц Росстата за 2011 и 2016 годы.

Ключевые слова: структурная политика, динамические свойства экономики**JEL:** B41, C02, C61, C68

Macroeconomic Modeling

Computable Dynamic Input-Output Balance and Its Application

Evgeniy L. Toroptsev

ORCID: 0000-0002-4036-6002

Dr. Sci. (Econ.), Professor of the Department of Digital Business Technologies and Accounting Systems, North Caucasus Federal University,^a
e-mail: eltoroptsev@yandex.ru

Natalya G. Gudieva

ORCID: 0000-0001-9341-8446

Assistant, Department of Computational Mathematics and Cybernetics, North Caucasus Federal University,^a e-mail: gudieva82@bk.ru

^a 1, Pushkina ul., Stavropol, 355017, Russian Federation

Abstract

The poles in a multipolar world are formed and function stably when a state devotes due attention to the development and implementation of structural policy. This involves using suitable tools for solving a wide range of problems: from setting up monitoring and technological modernization of the economy to changes in institutional systems. When structural reforms are applied to any country's economy, the primary concern should be how to establish dynamic characteristics that will ensure the intended responsiveness to controls while also dampening the reaction to negative shocks. Therefore, the search for new methods and tools for developing and implementing structural policy and also for assessing its effectiveness becomes a crucial undertaking. Organizing such efforts is one of the primary tasks of government. However, one should keep in mind that there is a high probability of miscalculations and errors when arriving at seemingly justified decisions. This susceptibility to error obliges those in charge of economic management to ensure that there are formalized and continuously employed means for identifying errors and deciding on necessary changes in economic behavior. Experience in analyzing all kinds of dynamic systems, including especially economic ones, shows clearly that such studies will be most comprehensive and meaningful when their objects can be formalized in a model using differential equations. This article addresses precisely that kind of dynamic input-output balance (IOB). The study also presupposes that official statistical data should fully confirm the model's solutions to problems. The purpose of this research is to improve the toolkit for analyzing structural policy, and its output is a computable model of dynamic IOB, which enables quantitative analysis of the structural dynamics for reaching a stated goal and which solves a set of related problems typical of input-output analysis. The model used for the study employed information from the Rosstat base tables for 2011 and 2016.

Keywords: structural policy, dynamic properties of the economy

JEL: B41, C02, C61, C68

Acknowledgments

This paper was supported by the Russian Science Foundation under grant no. 24-28-00056 (<https://rscf.ru/project/24-28-00056/>).

Введение

Глубокая и разветвленная методология структурного анализа (Input-Output Analysis), разработанная в XX веке нобелевским лауреатом Василием Васильевичем Леонтьевым и его последователями, применима для рассмотрения на ее основе всякой деятельности, объединенной словами «структурная политика». Следуя стилю нобелевского лауреата, авторы статьи намерены сочетать теоретический анализ с прикладными экономическими результатами. В качестве исходных данных для модели используются данные из единственного доступного авторам в настоящее время источника — базовых таблиц «затраты — выпуск» (далее — ТЗВ), размещенных на сайте Росстата во вкладке «Национальные счета»¹. Возможность сопоставительного анализа обеспечивается ТЗВ за 2016 год и аналогичными — за 2011 год, построенными в номенклатуре ТЗВ за 2016 год. Из всего набора таблиц потребуются симметричные таблицы за два указанных года, поскольку ТЗВ за 2021 год в период работы над текстом статьи уже появились на сайте Росстата, но в новой номенклатуре: используется уже ОКПД2 вместо ОКПД и в симметричной ТЗВ за 2021 год представлены 113 продуктов против 98 в аналогичной ТЗВ за 2016 год. Для анализа возможностей предлагаемого подхода важна преемственность данных, то есть одна и та же номенклатура отраслей или продуктов в сравниваемых периодах. Задачу же прогнозирования можно ставить и решать на основе самых новых данных. Высокую степень доверия к полученным результатам должна обеспечить опора настоящего исследования только на числовые массивы официальной статистики или производные от них без привлечения экспертных оценок и прочих предположений с сохранением классических допущений межотраслевого анализа о линейности связей затрат и выпуска вплоть до среднесрочных временных горизонтов.

В Приложении для возможного последующего анализа приведен перечень использованных математико-статистических объектов — векторов и матриц. Их обозначения либо являются традиционными для модели межотраслевого баланса (далее — МОБ) Леонтьева, либо сочетания букв обусловлены названиями массивов на английском языке; указаны также их расположения в симметричной ТЗВ там, где это возможно.

¹ <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>.

1. Моделирование и свойства модели в задаче анализа структурной политики

В качестве понятия термин «структурная политика» введен в оборот на уровне российского законодательства, что предполагает многословные формулировки, но ограничивается толкованием термина как процесса движения «от достигнутого к лучшему» с обоснованным и максимально возможным при данном уровне технологического развития темпом. Конкретизации комплекса мероприятий, реализуемых в ходе проведения структурных реформ, закон, конечно же, не содержит, но обращает внимание научного сообщества и властей на актуальность разработки всех необходимых компонентов и систем их проведения. Закон определяет, что локомотивом всего процесса является «комплекс правовых, экономических, организационных и иных мер, направленных на развитие промышленного потенциала Российской Федерации, обеспечение производства конкурентоспособной промышленной продукции»².

Коллектив авторов из НИУ ВШЭ в [Структурные изменения..., 2018] привел массу результатов структурного реформирования российской экономики в координатах «было — стало». Различные формулировки положений, посвященные структурному реформированию, провозглашают желаемое, но часто не содержат отсылок к вариантам достижения целей экономического и социального развития. Вместе с тем практика структурных трансформаций и теоретико-методологическая работа образуют поле деятельности ученых и властей. Большинство же идей в обсуждаемой области, включая тему перемещения ресурсов между экономическими агентами или видами экономической деятельности (далее — ВЭД) [The Oxford Handbook..., 2019], не предлагает работающих инструментов реальной практики, основанных на численном анализе информационно обеспеченных моделей. Председатель ЦБ РФ Эльвира Набиуллина также призвала к «трезвому взгляду», к необходимости «осуществить реформы», а предварительно — «изыскать источники», то есть решить вопрос о финансировании³. Ясно, что функционирование всего контура управления экономикой, в особенности Минфина, должно быть адекватным столь масштабной деятельности.

² Федеральный закон от 31.12.2014 № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации». <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201412310017>.

³ Набиуллина Э. С. Выступление на совместном заседании профильных комитетов Государственной Думы, посвященном рассмотрению годового отчета Банка России за 2021 год, 18 апреля 2022 года. <http://cbr.ru/press/event/?id=12824>.

Статья Олега Буклемишева [Буклемишев, 2023] написана с целью показать состояние дискурса вокруг темы структурного реформирования, но в качестве основного автор делает вывод, что источником роста является внедрение новых технологий при росте производительности труда. Вопрос о целесообразности перемещения ресурсов между секторами экономики также затронут в упомянутой статье. С последним согласны и другие авторы [Breaking In., 2009; Rodrik, 2016]. Ссылки именно на эти публикации нами были сделаны потому, что они оказались содержащими самые ожидаемые и несложные для получения выводы последнего десятилетия.

Широкий охват проблем анализа эффективности структурной политики в промышленности представляет докторская диссертация Светланы Палаш [Палаш, 2022]. Эта работа опирается на аппарат экономической теории, в частности на средства структурно-функционального и институционального подходов, на модификации неоклассических моделей оценки эффективности в рамках положений системной экономики Георгия Клейнера [Клейнер, 2013]. К сожалению, в диссертации отсутствуют ссылки на публикации по межотраслевому анализу. Между тем последний имеет неизменный приоритет, неснижаемое высокое значение для решения комплексной проблемы структурного анализа и реформирования — достаточно вспомнить работы зарубежных ученых от Василия Леонтьева до Клоппера Алмона с группой INFORUM, труды ИНП РАН, ЦЭМИ РАН, ИЭОПП СО РАН, ведущих университетов России и мира.

Еще одно важное с точки зрения нашего моделирования наблюдение: периодические снижения валового производства отдельных ВЭД могут быть восприняты как проявления циклов деловой активности во время технических перевооружений [Stiglitz, 2017], смены технологических укладов [Глазьев, 2016]. В работе Джозефа Юджина Стиглица циклические колебания обсуждаются, но автор проходит мимо очевидной идеи о целесообразности описания экономической динамики системой обыкновенных дифференциальных уравнений, как это сделано, например, в [Доможиров и др., 2017]. Форма Коши такой системы позволит выполнить интегрирование с любым шагом дискретности в координатах валового производства по ВЭД/продуктам, а спектр собственных значений и векторов матрицы состояния даст исчерпывающие представления о характере компонентов движения. Их число равно числу дифференциальных уравнений в модели. Комплексно сопряженные пары спектра, при наличии таковых, представят циклические движения. Особенности такого моделирования посвящена настоящая статья.

Таким образом, если ко множеству структурных реформ в экономике можно отнести широкий перечень мероприятий по манипулированию параметрами инвестиционной, налоговой, денежно-кредитной, торгово-промышленной, институциональной и всех прочих политик, включая перераспределение ресурсов между экономическими агентами [Долятовский, Гречко, 2018; Широ́в, 2018], то в настоящей статье рассматривается то, чему современные исследователи пока уделяют мало внимания, — технологии структурного реформирования на базе информационно обеспеченной модели МОБ из дифференциальных уравнений, то есть на базе классического динамического межотраслевого анализа. Перечисленные и некоторые другие инструменты управления характерны прежде всего для развитых стран мира, в России же они могут приносить только временный и переменный успех и потому не могут быть признаны достаточными. В России нельзя управлять экономикой по аналогии с Западом [Широ́в и др., 2015], следует вводить в рассмотрение собственные (то есть внутренние или структурные) динамические свойства экономических систем — чему открывает дорогу анализируемая в статье модель.

Россия с 2014 года оказалась в уникальных внешних и внутренних условиях развития при действии уже не поддающегося количественному анализу санкционного давления. Возникла необходимость определения новых рынков и сторон взаимодействия, широкого импортозамещения, когда страна столкнулась с безальтернативным императивом инициировать структурную политику, нацеленную на решение самых серьезных проблем развития [Ивантер, 2017]. При этом особенно критично следует оценивать перспективы встраивания отечественной экономики в международные цепочки создания стоимости. Такие «цепочки», как выяснилось, часто имеют нулевую прочность, играя роль ловушки для наивных. Цитируя текст доклада одного из авторов настоящей статьи на XXII Международных Лихачевских научных чтениях «БРИКС как новое пространство диалога культур и цивилизаций» 12–13 апреля 2024 года [Торопцев, 2024], отметим: «Не имеющая ограничений со стороны природных ресурсов страна при адекватном функционировании контура управления может и должна быть структурно устойчивой, когда обеспечиваются:

- самоподдерживающийся аperiодический экономический рост;
- достаточные для управления ростом наблюдаемости и чувствительности (а значит, и управляемости) составляющих движения экономической динамики;

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

Анализ масштабов изменений в динамике и структуре производства и потребления, в межотраслевых взаимодействиях позволяет установить факт выполнения перечисленных требований структурной устойчивости экономики [Узякова, Узяков, 2018].

Переходя к описанию модели и решений на ее основе, отметим, что исторически первой (в 1936 году) Леонтьевым была записана статическая модель МОБ в виде

$$X = A \times X + Y, \quad (1)$$

которая не может не поражать своей простотой. Многие экономисты потом удивлялись примитивности этого уравнения и грандиозности полученных на его основе результатов, как и тому, что раньше это никому не приходило в голову [Гранберг, 2006]. Леонтьев выступал консультантом правительств ведущих стран мира, особенно по проблемам государственного регулирования экономики и ее структурной перестройки [Будущее мировой экономики, 1979]. Опираясь именно с этой моделью, модифицируя ее на предмет учета производимых загрязнений (модель Леонтьева — Форда), он делал свои блестящие выводы, прогнозы и обобщения для экономик от мирового уровня до регионального. Затем, уже в 1952 году, Леонтьев выделил из конечного спроса Y инвестиционный блок, записав систему линейных дифференциальных уравнений (далее — СЛДУ), которая известна, скорее всего, из [Леонтьев, 1990. С. 69]. В наших обозначениях она выглядит так:

$$X(t) = B \times \frac{dX}{dt} + A \times X(t) + VC(t), X(0) = X_0. \quad (2)$$

В отношении элементов матрицы B самим Леонтьевым использовались два «ходовых» названия — капитальные коэффициенты и приростные фондоемкости. Мы на месте B предложили и обосновали, что это матрица межотраслевых инерционностей. В том же источнике на той же странице находим и сообщение об успешной разработке матрицы размером (100×100) для экономики США Кеннетом Иверсоном, а также об агрегированном варианте матрицы размером (20×20) для проведения первой экспериментальной проверки динамической теории «затраты — выпуск» на ЭВМ того време-

ни. Алмон, один из выдающихся ученых — разработчиков межотраслевого анализа, называет элементы B «соотношениями капитала и выпусков для инвестиционных товаров» [Алмон, 2012; 2016]. Дело не в названии, а в том, что безразмерные коэффициенты в матрице B невозможны физически, так как при этом неудачей заканчивается самая элементарная проверка СЛДУ (2) по размерности. Сколь-нибудь внимательное рассмотрение размерностей входящих в модель слагаемых убеждает в том, что элементы B измеряются в единицах времени (в нашем моделировании это годы). Только тогда будет получен верный результат проверки, сделанной ниже: миллионы рублей справа — миллионы рублей слева от знака равенства. После утверждений о существовании матрицы B (она, кстати, никогда не была представлена ни в одном печатном издании) дифференциальные уравнения исчезли из рассмотрения в качестве практически целесообразной, вычислимой и востребованной модели, они «успокоились» на 72 года во множестве «чисто теоретических конструкций» [Суворов и др., 2017]. Почему произошло то, что произошло с моделью (2)? А потому, что попытка интегрировать переходный процесс неминуемо приводила к известному в численном анализе эффекту развала решения, что теперь проверено нами на собственных расчетах, а ранее указывалось в [Алмон, 2016. С. 4]. Рабочим оставалось только частное решение открытой по потреблению модели, о чем Алмон сообщает в названной работе, признавая в целом модель лишенной экономического смысла. Признать подобное, на наш взгляд, значит отказаться от попыток разобраться в столь досадном «провале» модели (2) или хотя бы «заморозить» ее «до лучших времен». Настоящая статья имеет целью вернуть модель (2) к практике межотраслевого анализа и является финальной в серии наших работ, опубликованных в самых авторитетных изданиях в 2022–2024 годах [Торопцев, Мараховский, 2022; Торопцев и др., 2023; 2024].

Так или иначе, но выше мы отметили, что безразмерные капитальные коэффициенты принципиально не годятся для использования в модели (2). Почему этот промах остался неисправленным? Скорее всего, потому что первостепенное значение имели не размерности, а трудоемкость эмпирических исследований для получения указанных коэффициентов. Больше внимание занимали сами числовые значения элементов матрицы B , которую можно было бы использовать для прогнозирования валового производства. Более того, после своего появления модель (2) быстро была заменена разностным уравнением:

$$X_t = A \times X_t + B(X_{t-1} - X_t) + VC_t = A \times X_t + B \times \Delta X_t + VC_t, \quad (3)$$

где $\Delta t = 1$ году. Такая запись формально скрывает ошибку, но эта мера не избавляет от размерности времени в знаменателе второго слагаемого (3) — там всегда $\frac{X_{t+1} - X_t}{\Delta t}$, даже если $\Delta t = 1$. Выпуск и непроизводственное потребление измеряются в млн руб., тогда проверка размерности моделей (2) и (3) дает следующий очевидный результат:

$$\text{млн руб.} = \text{млн руб.} + \text{время} \times \frac{\text{млн руб.}}{\text{время}} + \text{млн руб.}$$

То, что элементы матрицы B имеют размерность времени и претендуют на название собственных и взаимных (внутри- и межотраслевых) инерционностей, становится ясным в первом приближении, если записать модель (2) для одного ВЭД (с коэффициентами вместо матриц), а рядом поместить уравнение инерционного звена первого порядка, известное из механики, электротехники, теории автоматического управления, наконец. Сходство (не тождественность!) будет очевидным, а сопоставительный анализ двух уравнений — элементарным. В акселераторе уравнения инерционного звена стоит его постоянная времени, и равна она времени, в течение которого свободная составляющая переходного процесса затухает в e раз, e — основание натурального логарифма, число Эйлера, второй замечательный предел. Физическая трактовка нашей инерционности такова: если уравнение (2) записать для одной отрасли с коэффициентами вместо матриц, то нетрудно видеть, что b — это время, численно равное накоплению основного и оборотного (используем названия столбцов симметричной ТЗВ) капитала для обеспечения единичной скорости валового производства dx/dt . Этот вывод обобщается для матричной модели. Большие инерционности требуют больших инвестиций для сохранения или наращивания скорости выпуска. Отрицательные инерционности уменьшают эту скорость (эффект машины, катящейся в гору на нейтральной передаче) и грозят со временем привести к спаду выпуска и даже остановке производства. Среднее значение элементов матрицы B в 2011 году составило 0,243 года, а в 2016 году — 0,285 года, то есть в среднем значения инерционностей в этот период имели склонность к росту. Важно еще и то, что использование в качестве модели динамического МОБ СЛДУ с инерционностями (они «включены» в любой момент времени) исключает из рассмотрения тему получения временных лагов капитальных вложений, что значительно упрощает решение проблемы информационной обеспеченности модели.

Капитальные коэффициенты интересны исследователям в качестве математико-статистического объекта — они имеют

все необходимые толкования и подводки. Только в мире пока отсутствует хотя бы один статистический институт, который их публиковал хотя бы для какой-то экономики в виде квадратной, «симметричной» матрицы. Есть попытки найти некоторые приближения такого массива (для экономики Белоруссии, например, размером (19×19)), но безо всяких претензий подставить их в модели (2) и (3) [Пархименко, 2023]. Проблема разработки обсуждаемых коэффициентов удельной капиталоемкости выводит на проблему построения баланса основных фондов (основного капитала) в терминах физического объема (то есть в постоянных ценах) в номенклатуре отраслей/продуктов, фигурирующих в базовых ТЗВ. Сюда же следует добавить проблему установления по эмпирическим данным лага между инвестициями и выпуском продукции, что является весьма нетривиальной задачей. Более того, получение капитальных коэффициентов предполагает разработку и применение инвестиционных функций, отражающих связь между характеристиками инвестиционно-фондового процесса и выпуском продукции в разрезе отдельных ВЭД или продуктов. Сказанное порождает обоснованные сомнения как минимум в скором успехе такой работы. Во всяком случае за 72 года результат не был получен. Но, повторяем, в динамическом МОБ массив капитальных коэффициентов, к счастью, не нужен. С момента своего появления динамический МОБ не был обеспечен информационно, и исследователи стали искать иные возможности учета динамизма в моделировании экономики, чему хорошим примером являются результаты, полученные в [Позамантир, 2014].

Остановимся на задаче получения объяснимого, мотивированного и такого нового в межотраслевом моделировании массива, как матрица инерционностей B . Конечно, в связи с установленными выше закономерностями инерционности зависят от накопленного капитала, причем как основного, так и оборотного. Также логично предположить, что чем выше скорость изменения валового производства, тем меньшие значения будут иметь инерционности, и наоборот, при одном и том же объеме инвестиций. Дополнительные соображения будут высказаны ниже. Акселератор $B \frac{dX(t)}{dt}$, как и у Леонтьева в «Экономических эссе», продолжает описывать скорость изменения всех видов «капитала» в экономике. Те самые «все виды» в симметричной ТЗВ представляет столбец 108 — «Итого накопление» (вектор IV в наших обозначениях). Экономисты в разных дискуссиях часто и по разным поводам задают вопрос: «А как вы в этой задаче учитываете пропорции?» Здесь мы безальтернативно учтем пропорции, задаваемые вектором IV при получении матрицы B . Безальтернативно

потому, что инвестиции в симметричной ТЗВ заданы только вектором, соответствующая матрица Росстатом не разрабатывается. Базовое предположение о линейности связей в МОБ остается неизменным, и есть надежда получить верифицируемый результат.

Теперь приведем необходимые формулы. Определим технологическую матрицу A как

$$A = MIC \times diag(X^{-1}), \quad (4)$$

где в таких конструкциях (здесь и далее) $diag(X^{-1}) = diag\{1/x_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, то есть это диагональная матрица с легко вычисляемыми диагональными элементами.

Далее основное уравнение статического МОБ

$$X = (E - A)^{-1} \times Y = TIC \times Y \quad (5)$$

позволяет вычислить безразмерные коэффициенты полных затрат, а от них определить межотраслевые потоки в млн руб.:

$$MTC = TIC \times diag(Y). \quad (6)$$

Проверочное суммирование элементов строк матрицы MTC из (6) ожидаемо дает элементы вектора валового выпуска X .

Далее следует записать очевидное соотношение для векторов

$$X = ICV + IV + VC, \quad (7)$$

представляющее баланс предложения и спроса ресурсов, выраженный в денежных единицах, которому почленно в соответствие ставится следующая сумма матриц:

$$MTC = MIC + IM + MC. \quad (8)$$

Это очевидно, как очевидно и то, что в нашем случае взаимно однозначное соответствие математически устанавливается между следующими парами объектов: вектором ICV и матрицей MIC , вектором IV и матрицей IM , вектором VC и матрицей MC . При этом в соотношении (7) из симметричной ТЗВ известны все слагаемые и их сумма. Эти слагаемые устанавливают пропорции для получения матриц из уравнения (8), в котором изначально оцифрованы только MTC (вычисляется по формуле (6)) и MIC (из симметричной ТЗВ или из (4)). Результат расчета по формуле (4) не совпадают на 100% с готовыми данными из ТЗВ, но дает

вполне узнаваемую матрицу MIC . При этом в любом случае умножение MIC на столбец из единичных элементов (сложение элементов строк) дает табличные значения промежуточного потребления ICV . Это естественно, так как технологические коэффициенты, промежуточное потребление формируют валовой выпуск, мы же в расчетах пользуемся не выпуском, а вектором всех доступных ресурсов — крайним правым столбцом симметричной ТЗВ. Численно это близкие векторы, дающие близкие результаты при использовании их в расчетах. Упомянутые несовпадения закономерно получаются при моделировании чисто автаркической экономики с использованием данных Росстата для экономики открытого типа. Но других данных для проведения вычислительных экспериментов нет — только данные Росстата со своими базовыми ТЗВ. Заранее отметим, что сложение элементов массивов инвестиций и непроемленного потребления (IM и MC) дают векторы IV и VC соответственно.

В начале нашего изложения мы говорили о максимальном использовании данных официальной статистики при подготовке к вычислительным экспериментам. Исходя из этого можно: (1) матрицу инвестиций IM вычислить, используя вектор IV , а матрицу непроемленного потребления MC — из суммы матриц (8), когда она будет единственным неизвестным слагаемым; (2) MC вычислить, используя VC , а уже IM определить из (8) — она будет единственным неизвестным слагаемым. Получим две пары формул для таких расчетов:

$$IM = diag(IV/X) \times MTC; MC = MTC - MIC - IM, \quad (9)$$

$$MC = diag(VC/X) \times MTC; IM = MTC - MIC - MC. \quad (10)$$

С точки зрения качества прогнозирования валового производства и определения степеней роста производства варианты (8) и (9) оказались равноценными.

Теперь акселератор в формуле (2) позволяет предложить формулу для вычисления приближения матрицы межотраслевых инерционностей:

$$B = IM \times diag\left(\frac{\Delta t}{\Delta X}\right). \quad (11)$$

Для начала вычислительных экспериментов с хорошим, так скажем, качеством воспроизведения экономической динамики в координатах прогнозирования объемов валового производства на пятилетнем временном горизонте, а также для определения степеней экономического роста (роста производства) в разрезе

ВЭД/продуктов (в ТЗВ могут быть представлены либо ВЭД, либо продукты, что не меняет сути нашего исследования) точности приближения B по (11) оказывается достаточно. То есть формула (11) позволяет получить в качестве B матрицу инерционностей формирования накоплений в экономике — мы использовали данные первого и второго квадрантов, то есть строки симметричной ТЗВ. Запись модели по столбцам позволит получить другую модель, в которой B представит уже инерционности формирования добавленных стоимостей. Напомним, что алгебраические уравнения по столбцам записывают при формировании ценовой статической модели МОБ. Можно также предложить вариант модели, когда B будет содержать инерционности формирования всего конечного спроса в экономике. Мы не будем здесь рассматривать такие модели, оставляя их для будущих исследователей темы «Инерционности экономических систем».

Для начала расчетов в нашем случае принято $\Delta X = (X_{2016} - X_{2011})/5$, компоненты X берутся, естественно, в сопоставимых ценах, в вычислениях используем дефляторы. Тогда, опустив t , представим формулу (2) следующим образом:

$$\begin{aligned} X &= B \frac{\Delta X}{\Delta t} + A \times X + C \times X = \\ &= IM \times \text{diag}\left(\frac{\Delta t}{\Delta X}\right) \times \left(\frac{\Delta X}{\Delta t}\right) + MIC \times \text{diag}\left(\frac{1}{X}\right) \times X + MC \times \text{diag}\left(\frac{1}{X}\right) \times X \quad (12) \end{aligned}$$

и перейдем к нормальной форме Коши:

$$\frac{dX}{dt} \approx \frac{\Delta X}{\Delta t} = G \times X, \quad (13)$$

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

Для получения решения в виде интегральных кривых в нашем случае наиболее естественно было бы вычислить матричную экспоненту, для чего имеются стандартизованные процедуры [Торопцев и др., 2020]:

$$X(t) = e^{Gt} \times X_0. \quad (14)$$

Для построения вычислительного алгоритма важно заметить, что в (13) имеет место обращение матрицы B , что требует ее невырожденности. Однако для ТЗВ Росстата это не так [Торопцев, Мараховский, 2022]. Нетрудно видеть, что столбцы с номером 108 симметричных ТЗВ за 2011 и 2016 годы содержат по 22 нулевых элемента из 98. Точные это нули или просто статистически незначимые величины — вопрос без ответа. Ясно, что формула (11) в таком случае даст матрицу B с нулевыми строками

и их будет 22. Если для преодоления вырожденности в [Алмон, 2016] предложено агрегировать модель вплоть до исчезновения проблемы, то мы можем предложить два равноправных и лучших варианта. Первый предусматривает использование так называемой псевдообратной матрицы B вместо обратной B^{-1} в (13), для чего применяется известное из линейной алгебры сингулярное разложение (Singular Value Decomposition, SVD), которое давно вошло в популярные вычислительные пакеты и надежно зарекомендовало себя для преодоления вырожденности при обращении матриц [Форсайт и др., 1980]. Подробное изложение применения процедуры сингулярного разложения матриц в межотраслевом анализе можно видеть в работах [Дужински и др., 2016; Торопцев и др., 2023].

Второй вариант преодоления вырожденности также состоит в учете особенности матрицы B . В этом случае показана перестановка строк и соответствующих столбцов в симметричной ТЗВ так, чтобы нулевые элементы IV оказались внизу, а таблица сохраняла симметричность в том смысле, в каком в базовых ТЗВ содержится симметричная ТЗВ. Такая перестановка позволяет получить систему, где под номерами с 1 по 76 будут записаны дифференциальные уравнения, а под номерами с 77 по 98 — алгебраические [Дужински и др., 2016]. На следующем этапе последние исключаются так, как мы неоднократно описывали в своих работах с начала 2000-х годов, а нормальная форма Коши формируется для СЛДУ из 76 уравнений.

В своих расчетах мы использовали оба варианта преодоления вырожденности, в том числе и для их верификации. Так, на рис. 1 (см. раздел 2) представлен результат, полученный с вычислением псевдообратной матрицы на основе сингулярного разложение (SVD), а результат на рис. 2 (см. раздел 2) получен при формировании формы Коши для 76 дифференциальных уравнений после исключения 22 алгебраических связей.

Еще одна особенность исследуемой модели состоит в том, что любые методы интегрирования модели в форме Коши, применяемые без калибровки, дают неинтерпретируемые результаты — развал решения, о котором мы говорили выше. Хорошее представление о калибровке модели как о целенаправленном и обоснованном изменении ее структуры и свойств дает работа [Макаров и др., 2007] и более поздние работы этих авторов. Можно предположить, что отсутствие калибровки в свое время стало главной причиной отказа от дифференциальных уравнений в межотраслевом анализе. В нашем случае для уверенного прогнозирования с помощью модели экономической динамики потребовалось введение матри-

цы FFC . Представляемые ею коэффициенты финансовых потоков легко могут быть рассчитаны, когда известны сами потоки:

$$FFC = MTC \times \text{diag}(X^{-1}). \quad (15)$$

Оказалось, что рассчитанный массив FFC обладает чрезвычайно ценными свойствами для нашего моделирования. Из (15) нетрудно видеть, что $FFC \times X = X$ в нулевой, стартовой для интегрирования точке. То есть X — собственный вектор FFC , которому соответствует единичное собственное значение. Таким образом, модель (2) можно переписать в виде:

$$FFC \times X(t) = B \times \frac{dX}{dt} + A \times X(t) + VC(t), X(0) = X_0. \quad (16)$$

На месте единичной матрицы E в формуле (13) оказывается FFC . Мы давно предполагали, что перед $X(t)$ в левой части (16) должна стоять матрица, отличающаяся от единичной (оставалось только найти ее), — это FFC . Очевидно, что (2) и (16) эквивалентны в вычислительном отношении, но (16) откалибрована матрицей FFC [Торопцев и др., 2016].

С учетом сказанного рассмотрим модель (16) с аппроксимацией производных отношением конечных разностей в виде

$$B \frac{\Delta X}{\Delta t} + F \times X = 0, \quad (17)$$

где $F = A + C - FFC = (MIC + MC - MTC) \times \text{diag}(X^{-1}) = -IM \times \text{diag}(X^{-1})$.

Тогда при $\Delta t = 1$ уравнение (17) имеет вид:

$$B \times \Delta X = -F \times X = IM \times \text{diag}(X^{-1}), \quad (18)$$

откуда с учетом формулы (11) для вычисления B получим

$$IM \times \text{diag}(\Delta X^{-1}) \times \Delta X = IM \times \text{diag}(X^{-1}) \times X, \quad (19)$$

а затем и выражение для формы Коши в нашем случае:

$$\frac{dX}{dt} \approx \frac{\Delta X}{\Delta t} = \Delta X = \text{diag}(X^{-1}) \times \left(\frac{\Delta X}{X} \right) \times X = G \times X, X(0) = X_0. \quad (20)$$

Таким образом, матрица состояния диагональна при введенной калибровке. Тогда на диагонали стоят ее собственные числа или степени роста/спада производства в зависимости от знака соответствующего элемента вектора ΔX . Это не только сильно упрощает задачу среднесрочного прогнозирования валового

производства, но и приводит к фундаментальным выводам. Если производство X со всеми характеристиками определяется технологической матрицей A , то рост производства, экономический рост, экономическая динамика определяются инерционностями и, согласно (11), инвестициями. Нет инвестиций — нет роста, меньшие инерционности — выше степени роста, именно степени роста по ВЭД или продуктам, так как это числа, стоящие в показателях степеней экспонент (согласно формуле (14)), которыми представляется решение СЛДУ.

2. Вычислительный эксперимент и его анализ

Интегральные кривые решения задачи Коши (13) $X(t)$ на интервале 2011–2016 годов с начальными значениями $X_0 = X_{2011}$ (другими вариантами, напомним, не располагает официально опубликованная статистика) содержат ошибки оценок выпуска. Если заранее знать соотношение (20), то можно не прибегать к псевдообращению матрицы B , а сразу получать матрицу состояния, а затем, при необходимости, — все остальные массивы модели. Незнание о соотношении (20) и использование псевдообращения служат источником упомянутой ошибки в вычислительном процессе. При этом максимальная относительная ошибка прогнозирования не превысила 8% на пятилетнем временном интервале. Этот приемлемый, на наш взгляд, результат можно улучшить, если вместо псевдообращения сформировать алгебро-дифференциальную модель [Торопцев и др., 2024].

Формулы (17)–(20), демонстрирующие диагональность матрицы состояния откалиброванной модели, сильно упрощают получение интегральных кривых валового производства. Однако только интегрирование переходного процесса — хотя и первая задача из числа возможных для постановки и решения, важная как таковая, но далеко не единственная. Например, как на этапе разработки структурной политики, так и на стадии анализа результатов ее реализации, даже только предстоящей, могут и должны ставиться и решаться оптимизационные задачи. Примером может служить задание желаемых приращений выпуска ΔX в сопоставимых ценах, определение соответствующих этим приращениям степеней роста производства — собственных чисел матрицы состояния G . Далее естественным было бы определение соответствующих заданным приращениям ΔX межотраслевых инерционностей (матрица B) и межотраслевых инвестиций (матрица IM). Затем инициируется следующий цикл оптимизации.

Можно также задаться целью установить то, каким образом меняющиеся инвестиции в капитал и инерционности меняют

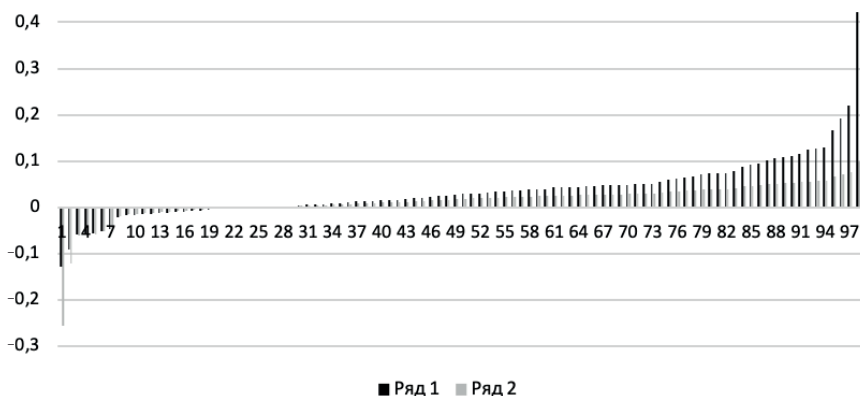
степени роста или спада валового производства в разрезе ВЭД или продуктов. Это делается на основе вычисления чувствительностей/управляемостей указанных показателей степеней α_i от вариации инерционностей, например:

$$\frac{\delta \alpha_i}{\delta b_{jk}} \approx \frac{\Delta \alpha_i}{\Delta b_{jk}}; i, j, k = 1, 2, \dots, n. \quad (21)$$

Это формальное правило инвестиционной политики, если обратиться еще раз к формуле (11). Оценка качества структурной политики может и должна включать анализ межотраслевых инерционностей, которые ранее анализировались вербально, методами философии и экономической теории. Числовые же оценки ограничивались единственным коэффициентом, значение которого, правда, определялось многими параметрами модели [Рудакова, 2001]. Наше представление — таблица размерности (98×98) — дает куда больше информации для анализа взаимодействий между отраслями экономики в разные периоды времени, а также для сопоставления разных экономик, описанных одной и той же номенклатурой ВЭД или продуктов.

И еще. В аналитическом докладе НИУ ВШЭ [Структурные изменения..., 2018] высказываются сожаления об ограниченных возможностях традиционных методов математико-статистического описания макроэкономики при росте в ней доли производства высокотехнологичных товаров и услуг. Под традиционными мы понимаем методы экономической статистики и финансовой математики, ценовые оценки, расчеты по правилам теории индексов и иные инструменты, которые работают в координатах ВВП, ВДС, производительности труда и прочих. Развитие сервисов, информационных компьютерных технологий, общий технологический прогресс снижают степень репрезентативности перечисленных подходов и показателей при описании «новой экономики». Предложенные в этой статье показатели и подходы носят неценовой характер и инвариантны в отношении уровня технологичности ВЭД. Росстат должен представить адекватный доле высоких технологий ОКВЭД/ОКПД для разработки базовых ТЗВ, а также пересчитать в этом ОКВЭД или ОКПД ТЗВ за 2011 и 2016 годы в одной и той же номенклатуре отраслей/продуктов.

Если расположить степени роста в порядке возрастания, то рис. 1 покажет соотношение этих показателей в 2011 и 2016 годах. Рис. 1 представляет оцифрованные свидетельства торможения роста производства в экономике России в указанный период времени и усугубления негатива для продуктов ОКПД, сокращающих выпуск.



Источник: составлено авторами.

Рис. 1. Степень роста производства по ВЗД в 2011 (ряд 1) и 2016 (ряд 2) годах по возрастанию

Fig. 1. Ranked Degrees of Production Growth by Foreign Economic Activity in 2016 (Series 2) and 2011 (Series 1)

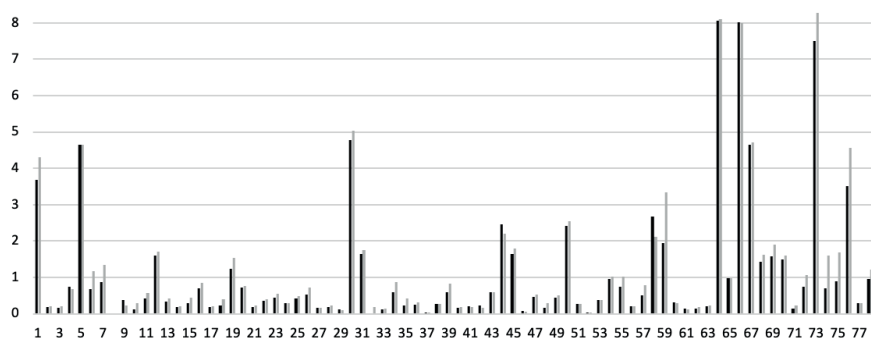
Из сказанного следует, что главной задачей инвестиционной политики является повышение роста производства при одновременном демпфировании негативных внешних и внутренних шоков. Ясно, что объем инвестирования в конкретную отрасль или продукт определяется текущими и перспективными приоритетами экономического развития. Практически уже сейчас по формуле (21) для вариации каждого α_i можно построить матрицу чувствительностей размером (98×98) от каждой инерционности. Объем задачи не позволяет представить результат непосредственно здесь, но практически эта задача важная и полезная. Всего таких матриц будет до 98.

Представление о результатах прогнозирования на пятилетнем временном горизонте дает рис. 2. Отметим также, что нет сложностей для автоматизированного перебора чувствительностей, составляющих движения от инерционностей для формирования различного рода мероприятий структурной политики (институциональных, организационных, монетарных и пр.). Далее формируется квадратичный функционал вида

$$f = \sum (\alpha_{i0} - \alpha_i)^2 \rightarrow \min, \quad (22)$$

который минимизируется выбором варьируемых элементов b_{jk} в процессе сближения желаемых (α_{i0}) и текущих (α_i) степеней роста. Закономерен вопрос: почему именно эти параметры рассматриваются в качестве варьируемых в первую очередь? Потому что прочие связаны равенствами (7) и (8) и в отдельности не могут меняться, не нарушая фундаментального принципа баланса. Инерционности

же могут уменьшиться просто политической волей в короткий срок (в основном за счет организационно-экономических мероприятий). Это, например, нашло отражение в статистической отчетности за 2023 год, когда в чрезвычайно сложных обстоятельствах жизни страны чудесным образом растет валовое производство и ВВП, чего никто ранее не прогнозировал⁴. В 2024 году чудеса роста продолжились и образовали устойчивую тенденцию. В экономико-математическом смысле это означает, что формула (11) нуждается во введении в нее корректирующей функции, что возможно сделать при наличии адекватной проблеме статистики. Конкретные методы варьирования b_{jk} мы не будем обсуждать, иначе получится уже новая статья, выводящая на применение аппарата искусственных нейронных сетей.



Источник: составлено авторами.

Рис. 2. Фактический выпуск по ВЭД за 2016 год (левые столбцы), прогноз выпуска в 2016 году по данным за 2011 год (правые столбцы)

Fig. 2. Actual Output by Foreign Economic Activity for 2016 (bars to the left) Projected Output From Data for 2011 (bars to the right)

Обратим внимание на следующее обстоятельство: выполнение поручения Президента РФ о вписывании оборонно-промышленного комплекса в экономику страны приведет к получению совсем других, гораздо более адекватных реальности, базовых ТЗВ. Тогда предложенный в статье инструментарий анализа структурной динамики экономики приобретет большую актуальность для использования.

Заключение

Настоящая публикация финализирует серию наших работ по изъятию дифференциальных уравнений МОБ из множества «чисто теоретических моделей», в котором они оказались с одобрения автора — Леонтьева еще в начале 1950-х годов. Последующие поколения ученых, включая Алмона и его группу INFORUM,

⁴ <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/2229>.

сохранили сложившийся статус-кво в межотраслевом моделировании. Многие годы «теоретичность» модели мы воспринимали как странное явление, как незакрытый гештальт, не принимая факт исключения из межотраслевого анализа дифференциальных уравнений и линейной алгебры со всем их могуществом в задачах анализа динамических систем самой разной природы. Теперь же, в условиях широкой доступности готовых для работы с обыкновенными дифференциальными уравнениями вычислительных математических сред, они имеют хорошую возможность стать востребованным инструментом разработки и оценки качества структурной политики, а также анализа влияния межотраслевых инерционностей на экономическую динамику в формирующемся многополярном мире.

П р и л о ж е н и е

Перечень использованных в статье математико-статистических объектов — векторов и матриц

A p p e n d i x

Mathematical and Statistical Tools Used in the Article — Vectors and Matrices

В формулах статьи использованы следующие векторы и матрицы:
– *МТС* — матрица (потoki) полных затрат (*Matrix of Total Costs*), вычисляется из симметричной ТЗВ;

– *ТИС* — 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, в статической модели вектор валового выпуска X за соответствующий год;

– $Y(t)$ — вектор-функция совокупного конечного спроса, столбец 110, в статической модели вектор конечного спроса Y в соответствующем году;

– *МИС* — матрица промежуточного потребления (*Matrix of Intermediate Consumption*), столбцы и строки 1–98 симметричной ТЗВ — первый квадрант МОБ;

– *ICV* — вектор промежуточного потребления — сумма элементов строк матрицы *МИС*, столбец 99 (*Intermediate Consumption Vector*);

– *A* — матрица коэффициентов прямых затрат — технологическая матрица;

– *B* — матрица межотраслевых инерционностей, имеет размерность времени (ранее на ее месте в модели располагалась матрица приростных фондоемкостей — капитальных коэффициентов);

– *IV* — вектор «Итого накопление», столбец 108 (*Investment Vector*);

– *IM* — матрица межотраслевых 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 непроизводственного потребления (*Matrix of non-productive Consumption*);
- C — матрица коэффициентов непроизводственного потребления;
- FFC — матрица коэффициентов финансовых потоков (*Financial Flow Coefficients*), отсутствует в ТЗВ;
- E — единичная матрица;
- G — матрица состояния модели/системы, приведенной к нормальной форме Коши.

Литература

1. Алмон К. Искусство экономического моделирования / пер. с англ. Г.Г. Сапова, Г.Р. Серебрякова. М.: МАКС Пресс, 2012.
2. Алмон К. Межотраслевые модели INFORUM: происхождение, развитие и преодоление проблем // Проблемы прогнозирования. 2016. № 2(155). С. 3–15.
3. Будущее мировой экономики. Доклад группы экспертов ООН во главе с В. Леонтьевым. М.: Международные отношения, 1979.
4. Буклемишев О.В. «Структурная трансформация» российской экономики и экономическая политика // Проблемы прогнозирования. 2023. № 4(199). С. 42–53. DOI: 10.47711/0868-6351-199-42-53.
5. Глазьев С.Ю. Экономика будущего. Есть ли у России шанс? М.: Книжный мир, 2016.
6. Гранберг А.Г. Василий Леонтьев в мировой и отечественной экономической науке // Экономический журнал ВШЭ. 2006. № 3. С. 471–491.
7. Долятовский В.А., Гречко М.В. Моделирование механизмов поведения экономических агентов // Экономический анализ: теория и практика. 2018. Т. 17. № 10(481). С. 1835–1848. DOI: 10.24891/ea.17.10.1835.
8. 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.
9. Дужински Р.Р., Торопцев Е.Л., Мараховский А.С. Статическая устойчивость и динамические свойства макроэкономических систем // Региональная экономика: теория и практика. 2016. № 6. С. 69–82. <https://rucont.ru/efd/408102>.
10. Ивантер В.В. Структурно-инвестиционная политика в целях обеспечения экономического роста в России: монография. М.: Научный консультант, 2017.
11. Клейнер Г.Б. Системная экономика как платформа развития современной экономической теории // Вопросы экономики. 2013. № 6. С. 4–28. DOI: 10.32609/0042-8736-2013-6-4-28.
12. Леонтьев В.В. Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. М.: Политическая литература, 1990.
13. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулакишин С.С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт, 2007.
14. Палаш С.В. Стратегические ориентиры и эффективность реализации структурной промышленной политики: дис. ... д. э. н. М.: ЦЭМИ РАН, 2022.
15. Пархименко В.А. Опыт экспериментальной оценки матрицы коэффициентов импортных капитальных затрат в динамической модели Леонтьева для белорусской экономики в 2016–2020 годах // Проблемы прогнозирования. 2023. № 4(199). С. 168–180. DOI: 10.47711/0868-6351-199-168-180.
16. Позамантир Э.И. Вычислимое общее равновесие экономики и транспорта (Транспорт в динамическом межотраслевом балансе). М.: Поли Принт Сервис, 2014.

17. Рудакова И. Е. О применимости языка экономической теории и базовых экономических моделей для анализа российской экономики // Вопросы экономики. 2001. № 12. С. 32–45.
18. Структурные изменения в российской экономике и структурная политика / под ред. Е. Г. Ясина. М.: Изд. дом ГУ-ВШЭ, 2018.
19. Суворов Н. В., Трещина С. В., Белецкий Ю. В., Балашов Е. Е. Балансовые и факторные модели как инструмент анализа и прогнозирования структуры экономики // Научные труды ИМП РАН. 2017. Т. 15. С. 50–75.
20. Торопцев Е. Л. Инструмент анализа эффективности структурной политики». Доклад на XXII Международных Лихачевских научных чтениях. Секция 3: «Экономика нового многополярного мира». Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов, 2024.
21. Торопцев Е. Л., Кандохова М. М., Гудиева Н. Г. Динамический межотраслевой баланс как инструмент анализа структурной политики // Экономика и математические методы. 2024. Т. 60. № 3. С. 43–53. DOI: 10.31857/S0424738824030049.
22. Торопцев Е. Л., Кандохова М. М., Гудиева Н. Г. Оптимизация структурной динамики экономики в рамках методологии «затраты — выпуск» // Экономика и математические методы. 2023. Т. 59. № 2. С. 26–38. DOI: 10.31857/S042473880025859-3.
23. Торопцев Е. Л., Мараховский А. С. Анализ макроструктурной динамики в рамках методологии «затраты — выпуск» // Журнал Новой экономической ассоциации. 2022. № 1(53). С. 12–30. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-53-1-1.
24. Торопцев Е. Л., Мараховский А. С. Структурные инерционности экономических систем // Экономика и математические методы. 2022. Т. 58. № 1. С. 38–47. DOI: 10.31857/S042473880016564-9.
25. Торопцев Е. Л., Мараховский А. С., Дужински Р. Р. Межотраслевое моделирование переходных процессов // Экономический анализ: теория и практика. 2020. Т. 19. № 3. С. 564–585. <https://doi.org/10.24891/ea.19.3.564>.
26. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений / пер. с англ. Х. Д. Икрамова. М.: Мир, 1980.
27. Узякова Е. С., Узяков Р. М. Анализ влияния научно-технического развития на экономический рост с использованием инструментария межотраслевого баланса // Проблемы прогнозирования. 2018. № 6. С. 82–92.
28. Широ А. А. Трансформация структуры экономики: механизмы и управление: монография. М.: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, 2018.
29. Широ А. А., Саяпова А. Р., Янговский А. А. Интегрированный межотраслевой баланс как элемент анализа и прогнозирования связей на постсоветском пространстве // Проблемы прогнозирования. 2015. № 1. С. 11–22.
30. The Oxford Handbook of Structural Transformation / Ed. by C. Monga, J. Y. Lin. Oxford: Oxford University Press, 2019. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780198793847.001.0001.
31. Rodrik D. Premature Deindustrialization // Journal of Economic Growth. 2016. Vol. 21. P. 1–33.
32. Stiglitz J. E. Structural Transformation, Deep Downturns, and Government Policy. NBER. Working Paper No 23794. 2017.
33. Breaking In and Moving Up: New Industrial Challenges for the Bottom Billion and the Middle-Income Countries. Industrial Development Report. UNIDO, 2009. https://www.unido.org/sites/default/files/2009-02/IDR_2009_print_0.PDF.

References

1. Almon C. *The Craft of Economic Modeling*. Boston, Ginn Press, 1988.
2. Almon K. Mezhotraslevye modeli INFORUM: proiskhozhdenie, razvitie i preodolenie problem [Inter-Industry INFORUM Models: Origin, Development and Overcoming Problems]. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, 2016, no. 2(155), pp. 3–15. (In Russ.)
3. Budushchee mirovoy ekonomiki. Doklad gruppy ekspertov OON vo glave s V. Leontevym [The Future of the World Economy. The Report of the UN Group of Experts Headed by V. Leontief]. Moscow, Mezhdunarodnye otnosheniya, 1979. (In Russ.)

4. Buklemishev O.V. “Strukturnaya transformatsiya” rossiyskoy ekonomiki i ekonomicheskaya politika [“Structural Transformation” of the Russian Economy and Economic Policy]. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, 2023, no. 4(199), pp. 42-53. DOI: 10.47711/0868-6351-199-42-53. (In Russ.)
5. Glazev S. Yu. *Ekonomika budushchego. Est' li u Rossii shans? [Economics of the Future: Does Russia Have a Chance?]*. Moscow, Knizhnyy mir, 2016. (In Russ.)
6. Granberg A. G. Vasiliiy Leontev v mirovoy i otechestvennoy ekonomicheskoy nauke [Vasily Leontiev in World and Domestic Economics]. *Ekonomicheskiiy zhurnal VShE [HSE Economic Journal]*, 2006, no. 3, pp. 471-491. (In Russ.)
7. Dolyatovskiy V.A., Grechko M.V. Modelirovanie mekhanizmov povedeniya ekonomicheskikh agentov [Modeling the Mechanisms of Economic Agent Behavior]. *Ekonomicheskiiy analiz: teoriya i praktika [Economic Analysis: Theory and Practice]*, 2018, vol. 17, no. 10(481), pp. 1835-1848. DOI: 10.24891/ea.17.10.1835. (In Russ.)
8. Domozhirev D.A., Ibragimov N.M., Melnikova L.V., Tsyplakov A.A. Integratsiya podkhoda “zatraty-vypusk” v agent-orientirovannoe modelirovanie. Ch. 1. Metodologicheskie osnovy [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. (In Russ.)
9. Duzhinski R.R., Toroptsev E.L., Marakhovskii A.S. Stacheskaya ustoychivost' i dinamicheskie svoystva makroekonomicheskikh sistem [Statistical Stability and Dynamic Properties of Macroeconomic Systems]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika [Regional Economics: Theory and Practice]*, 2016, no. 6, pp. 69-82. <https://rucont.ru/efd/408102>. (In Russ.)
10. Ivanter V.V. *Strukturno-investitsionnaya politika v tselyakh obespecheniya ekonomicheskogo rosta v Rossii: monografiya [Structural and Investment Policy in Order to Ensure Economic Growth in Russia: Monograph]*. Moscow, Nauchnyy konsul'tant, 2017. (In Russ.)
11. Kleyner G.B. Sistemnaya ekonomika kak platforma razvitiya sovremennoy ekonomicheskoy teorii [System Economics as a Platform for Development of Modern Economic Theory]. *Voprosy ekonomiki*, 2013, no. 6, pp. 4-28. DOI: 10.32609/0042-8736-2013-6-4-28. (In Russ.)
12. Leontief V.V. *Ekonomicheskie esse. Teorii, issledovaniya, fakty i politika [Economic Essays: Theories, Research, Facts and Politics]*. Moscow, Politicheskaya literatura, 1990. (In Russ.)
13. Makarov V.L., Bahtizin A.R., Sulakshin S.S. *Primenenie vychislimykh modeley v gosudarstvennom upravlenii [The Use of Computable Models in Public Administration]*. Moscow, Nauchnyy ekspert, 2007. (In Russ.)
14. Palash S.V. *Strategicheskie orientiry i effektivnost' realizatsii strukturnoy promyshlennoy politiki: dis. ... d. e. n. [Strategic Guidelines and Effectiveness of Implementation for Structural Industrial Policy: Doctoral Dissertation]*. Moscow, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, 2022. (In Russ.)
15. Parkhimenko V.A. Opyt eksperimental'noy otsenki matritsy koeffitsientov importnykh kapital'nykh zatrat v dinamicheskoy modeli Leonteva dlya belorusskoy ekonomiki v 2016-2020 godakh [The Experience of Experimental Evaluation of the Matrix of Import Capital Expenditure Coefficients in the Leontief Dynamic Model for the Belarusian Economy in 2016-2020]. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, 2023, no. 4(199), pp. 168-180. DOI: 10.47711/0868-6351-199-168-180. (In Russ.)
16. Pozamantir E.I. *Vychislimoe obshchee ravновесие ekonomiki i transporta (Transport v dinamicheskoy mezhotraslevom balanse) [A Computable General Equilibrium of the Economy and Transport (Transport in a Dynamic Intersectoral Balance)]*. Moscow, Poli Print Servis, 2014. (In Russ.)
17. Rudakova I.E. O primenimosti yazyka ekonomicheskoy teorii i bazovykh ekonomicheskikh modeley dlya analiza rossiyskoy ekonomiki [Applying the Language of Economic Theory and Fundamental Economic Models to the Russian Economy]. *Voprosy ekonomiki*, 2001, no. 12, pp. 32-45. (In Russ.)
18. Yasin E.G. (ed.). *Strukturnye izmeneniya v rossiyskoy ekonomike i strukturnaya politika [Structural Changes in the Russian Economy and Structural Policy]*. Moscow, HSE Publishing House, 2018. (In Russ.)

19. Suvorov N. V., Treshchina S. V., Beletskiy Yu. V., Balashov E. E. Balansovye i faktornye modeli kak instrument analiza i prognozirovaniya struktury ekonomiki [Balance and Factor Models as a Tool for Analysis and Forecasting Structure of the Economy]. *Nauchnye trudy: IPN RAN [Scientific Works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences]*, 2017, vol. 15, pp. 50-75. (In Russ.)
20. Toroptsev E. L. *Instrument analiza effektivnosti strukturnoy politiki. Doklad na XXII Mezhdunarodnykh Lihachevskikh nauchnykh chteniyakh. Sektsiya 3 "Ekonomika novogo mnogopolynarnogo mira" [An Analytical Tool for the Effectiveness of Structural Policy: Presentation at the 23rd International Likhachev Scientific Readings, Section 3: "The Economy of the New Multipolar World"]*. St. Petersburg, Saint Petersburg Humanitarian University of Trade Unions, 2024. (In Russ.)
21. Toroptsev E. L., Kandokhova M. M., Gudieva N. G. Dinamicheskiy mezhotraslevoy balans kak instrument analiza strukturnoy politiki [Dynamic Input-Output Balance as a Tool for Analysis of Structural Policy]. *Ekonomika i matematicheskie metody [Economics and Mathematical Methods]*, 2024, vol. 60, no. 3, pp. 43-53. DOI: 10.31857/S0424738824030049. (In Russ.)
22. Toroptsev E. L., Kandokhova M. M., Gudieva N. G. Optimizatsiya strukturnoy dinamiki ekonomiki v ramkakh metodologii "zatraty-vypusk" [Optimization of Structural Dynamics of the Economy in the Framework of the "Input-Output" Methodology]. *Ekonomika i matematicheskie metody [Economics and Mathematical Methods]*, 2023, vol. 59, no. 2, pp. 26-38. DOI: 10.31857/S042473880025859-3. (In Russ.)
23. Toroptsev E. L., Marakhovskii A. S. Analiz makrostrukturnoy dinamiki v ramkakh metodologii "zatraty-vypusk" [Analysis of Macrostructural Dynamics Framed by the "Input-Output" Methodology]. *Zhurnal Novoy ekonomicheskoy assotsiatsii [Journal of the New Economic Association]*, 2022, no. 1(53), pp. 12-30. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-53-1-1. (In Russ.)
24. Toroptsev E. L., Marakhovskii A. S. Strukturnye inertsionnosti ekonomicheskikh sistem [Structural Inertia of Economic Systems]. *Ekonomika i matematicheskie metody [Economics and Mathematical Methods]*, 2022, vol. 58, no. 1, pp. 38-47. DOI: 10.31857/S042473880016564-9. (In Russ.)
25. Toroptsev E. L., Marakhovskii A. S., Duzhinski R. R. Mezhotraslevoe modelirovanie perekhodnykh protsessov [Intersectional Modeling of Transients]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika [Economic Analysis: Theory and Practice]*, 2020, vol. 19, no. 3, pp. 564-585. <https://doi.org/10.24891/ea.19.3.564>. (In Russ.)
26. Forsythe G. E., Malcolm M. A., Moler C. B. *Computer Methods for Mathematical Computations*. Prentice-Hall, 1977.
27. Uzyakova E. S., Uzyakov R. M. Analiz vliyaniya nauchno-tekhnicheskogo razvitiya na ekonomicheskii rost s ispol'zovaniem instrumentariya mezhotraslevogo balansa [Analysis of the Impact of Scientific and Technological Development on Economic Growth Using the Tools of Intersectoral Balance]. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, 2018, no. 6, pp. 82-92. (In Russ.)
28. Shirov A. A. *Transformatsiya struktury ekonomiki: mekhanizmy i upravlenie: monografiya [The Transformation of Economic Structure: Mechanisms and Management, Monograph]*. Moscow, Economic Forecasting Institute of the Russian Academy of Sciences, 2018. (In Russ.)
29. Shirov A. A., Sayapova A. R., Yantovskiy A. A. Integrirovanny mezhotraslevoy balans kak element analiza i prognozirovaniya svyazey na postsovetском prostranstve [Integrated Intersectoral Balance as an Element of Analysis and Forecasting of Relations in the Post-Soviet Space]. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, 2015, no. 1, pp. 11-22. (In Russ.)
30. Monga C., Lin J. Y. (eds). *The Oxford Handbook of Structural Transformation*. Oxford, Oxford University Press, 2019. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780198793847.001.0001.
31. Rodrik D. Premature Deindustrialization. *Journal of Economic Growth*, 2016, vol. 21, pp. 1-33.
32. Stiglitz J. E. Structural Transformation, Deep Downturns, and Government Policy. *NBER, Working Paper no. 23794*, 2017.
33. *Breaking In and Moving Up: New Industrial Challenges for the Bottom Billion and the Middle-Income Countries*. Industrial Development Report. UNIDO, 2009. https://www.unido.org/sites/default/files/2009-02/IDR_2009_print_0.PDF.