

---

---

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ  
И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

---

---

**Структурные инерционности экономических систем**

© 2022 г. Е.Л. Торопцев, А.С. Мараховский

**Е.Л. Торопцев,**

*Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь; e-mail: eltoroptsev@yandex.ru*

**А.С. Мараховский,**

*Филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Пятигорск; e-mail: marahov@yandex.ru*

Поступила в редакцию 13.09.2021

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-010-00084А «Математическое моделирование структурной устойчивости и макроэкономической динамики»).*

**Аннотация.** Системные инерционности образуют мультидисциплинарную область исследований, в которой пересекаются интересы естественнонаучных, технических, гуманитарных, социально-экономических и иных дисциплин. При анализе данного явления экономическая наука опиралась в основном на методы и положения экономической теории и философии. Глобальные свойства предмета затрудняли формализацию исследований, числовые оценки инерционностей ограничивались введением того или иного коэффициента в экономико-математическую модель. Вместе с тем, задел для получения числовых значений структурных инерционностей в координатах отраслей (видов экономической деятельности) естественным образом создает базовая динамическая модель межотраслевого баланса, записанная в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Входящая в нее матрица коэффициентов капиталоемкости невырождена и вполне может называться матрицей межотраслевых инерционностей, элементы которой имеют размерность времени. В работе описана методика исчисления указанной матрицы. Ее размерность равна размерности матрицы формирования выпуска товаров и услуг, публикуемой Росстатом. Заявленная методика представляет собой верифицируемую последовательность алгебраических преобразований в рамках методологии «затраты–выпуск». В работе приведены инерционности, связанные с процессами формирования основного капитала, а также инерционности создания валовой добавленной стоимости экономики России. Большое прикладное значение полученных результатов состоит в разработке и демонстрации экономико-математического аппарата для сопоставительного анализа структурных динамических свойств разных экономик при их моделировании в координатах одних и тех же отраслей.

**Ключевые слова:** инерционности экономических систем, динамический межотраслевой баланс, экономическая динамика, базовая матрица, матрицы промежуточного потребления и добавленных стоимостей, оцифровка модели.

**Классификация JEL:** B41, C02, C61, C68.

**Цитирование:** Торопцев Е.Л., Мараховский А.С. (2022). Структурные инерционности экономических систем // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 1. С. 38–47. DOI: 10.31857/S042473880016564-9

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Всякому проявлению экономической динамики присуще свойство инерционности. Адекватных знаний об экономических аспектах обсуждаемого в работе явления на сегодняшний день явно недостаточно, а имеющиеся сведения представлены вербально в большом числе источников. Примером тому могут служить работы (Сиднина, 2002, 2009). Множество смыслов, вкладываемых в понятие «инерционность», касается различных вариантов проявления устойчивости или изменчивости структур и динамики процессов в экономике и социальной сфере, чему посвящены исследования (Сиднина, 2002, 2009; Воеводина, 2001; Нельсон, Уинтер, 2002; Полтерович, 2007; Агеева, Спатов, Юшкова, 2018), а также иностранных авторов (Narula, Jormanainen, 2008; Narula, 2002). Исследований, опубликованных после 2018 г., нам обнаружить не удалось, за исключением тезисов

в сборниках трудов научных конференций. Исключение здесь представляет глава из монографии (Różycki, 2019).

Общим для перечисленных работ являются: «постановка проблемы», «рассмотрение сущности явления», «выявление особенностей». При этом элементы анализа инерционности в социально-экономических системах математическими методами не уходят дальше описания этих систем некими (не уточняется, какими именно) функциями с последующим построением матрицы Якоби с участием этих функций и переменных, от которых они зависят (Павлов, Самохин, 2007). Есть предложения моделировать инерционности соответствующими эластичностями. На этом математика исследования проблемы исчерпывается. Косвенным образом она затрагивается в работах (Аглицкий, Клейнер, Сирота, 2018; Баранова, Сорокин, 2017; Любушин, Бабичева, Конышков, 2017; Виленский, Лившиц, Смоляк, 2015; Любушин и др., 2015). В этих работах речь идет об устойчивости и устойчивом развитии экономики, человеческом капитале, инвестициях, инвестиционной деятельности, а это — сугубо инерционные категории.

Итак, большинство форм проявления экономической жизни инерционны. Функционирование контура управления экономикой также в полной мере обладает этим свойством. Последнее часто, порой во вред планируемому и возможному для достижения результату, оправдывается необходимостью взвешенного подхода, получения обоснованного, выверенного управленческого решения или действий по правилу «семь раз отмерь». При этом другое правило, согласно которому «кто выигрывает время, тот выигрывает все», остается в стороне.

Инерционность как явление рассматривается в микро- (Нельсон, Уинтер, 2002), макро- и институциональной экономиках (Полтерович, 2007). Безусловно, инерционность присутствует также в процессах целенаправленного преобразования институтов и формирования институциональных ловушек, реформирования рынков, трансформационных спадов и восстановительных релаксаций с последующими подъемами, называемыми периодами экономического роста. Множество публикаций, в которых обсуждаются варианты проявления анализируемого свойства в экономических системах, относятся к периоду от середины 1990-х до начала 2000-х годов<sup>1</sup>. Знакомясь с этими работами, можно прочитать о некой «вязкости» структуры производственных и институциональных систем, производительных сил и производственных отношений, принятия разноуровневых управленческих решений. Этим свойством обладает наука и мышление, переходные процессы различаются по качеству и интенсивности, а виды экономической деятельности и рынок труда имеют различные чувствительности ко всем управляющим воздействиям — от инвестиционных до административных.

Как мы видим, обсуждаемое понятие имеет чрезвычайно много аспектов. С его проявлениями некоторые авторы связывают и генерацию циклов деловой активности (см., например, (Агеева, Спахов, Юшкова, 2018)), и временные параметры смены технологических укладов (Глазьев, 2016), и вообще все процессы, имеющие динамику. При этом в зависимости от содержательной постановки задачи делается вывод о полезности больших или меньших инерционностей (Воеводина, 2001). В качестве примера отметим, что экономике желательно обладать демпферными свойствами в отношении циклов деловой активности, а также в отношении рецессий, экономических кризисов и спадов (Журавский, 2005, 2019; Афонасова, 2016), а их проявления в деятельности предприятий (например, торговли) следует минимизировать (Шишкин и др., 2012). И если речь идет о росте национальной экономики, то хочется стать свидетелями и творцами его устойчивого, магистрального темпа в соответствии с экспоненциальным законом и со всеми пропорциями, отражаемыми в теории и методологии «затраты—выпуск» (Широв, 2018). В последнем случае меньшие собственные (внутриотраслевые) инерционности свидетельствуют о более высокой чувствительности экономики к управляющим, прежде всего инвестиционным, воздействиям.

Анализ приведенных публикаций позволяет заметить, что проблема экономико-математического моделирования предмета нашего исследования в экономических системах анализировалась, но решений найдено не было. Исключения составляют работы (Воеводина, 2001; Рудакова, 2001), где содержатся указания на необходимость включения в макроэкономическую модель числовой оценки инерционности в виде соответствующего параметра или коэффициента. И если у (Воеводина, 2001) это число позволяет поставить знак равенства (вместо знака пропорциональности) в некоей формуле, то у (Рудакова, 2001) предложен более сложный подход: сформирована числовая оценка, зависящая от многих компонент. Однако не стоит уповать на высокую информативность одного-единственного числа, записанного в отношении сложной и многомерной экономики, даже

<sup>1</sup> Перечень таких работ приведен в списке литературы в (Сиднина, 2002).

если его конкретное значение зависит от многих переменных и параметров модели или факторов реальной экономической жизни.

Теоретики-классики экономики и смежных наук обнаруживают сущности различных явлений, вводят и раскрывают категории и понятия, устанавливают разные системные свойства, в том числе анализируют формы проявления инерционности в экономике и социальной сфере (Berns, Metchell, 1946; Blanchard, Fisher, 1989). Однако наиболее продуктивный, на наш взгляд, подход в проблеме основан на обращении к леонтьевской методологии и моделям «затраты–выпуск».

Инерционности (мы переходим к множественному числу этого термина) характеризуют свойства структуры экономики, а модель межотраслевого баланса (МОБ) — как раз структурная. Более того, количественная оценка этих явлений дает представление о структурной экономической динамике, а это значит, что нам надо использовать *динамические* модели МОБ.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ИНЕРЦИОННОСТЕЙ

До настоящего времени серьезные числовые оценки инерционностей были недоступны исследователям. Мы попытаемся начать решать эту проблему. Адекватная поставленной проблеме модель появилась в (Leontief et al., 1953), когда динамическая теория «затраты–выпуск» стала внедряться в практику исследования экономики США. Позже В.В. Леонтьев включил модель в свои «Экономические эссе» (Леонтьев, 1990), записав ее в виде

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

где использованы традиционные леонтьевские обозначения из (Леонтьев, 1990). Рассмотрение современного состояния проблемы отраслевой классификации в России и за рубежом выполнено в (Козырь, Коваленко, 2017). Особое внимание в модели (1) привлекает матрица  $B$  — матрица приростных фондоемкостей (у Леонтьева — *capital coefficients*, коэффициентов капиталоемкости). В «Экономико-математическом словаре» Л.И. Лопатникова читаем: «Если провести физическую аналогию, этот показатель как бы играет роль массы, характеризующей инерцию экономической системы». Таким образом, матрицу  $B$  модели (1) логично и закономерно назвать матрицей инерционностей формирования основного капитала. Другое проявление свойства инерционностей рассмотрено ниже.

Матрица  $B$  — объект уникальный. Нет такой страны, которая бы в своей статистической отчетности опубликовала эту матрицу, и это имеет свои объяснения. Во времена действия классификатора ОКОНХ считалось, что матрица  $B$  вырождена на том основании, что числовое наполнение могут иметь только строки, соответствующие фондообразующим отраслям. Такими отраслями были строительство и машиностроение (или две группы отраслей в детализированных балансовых схемах). Указанный факт становился известным исследователям еще со студенческой скамьи и потом уже не подвергался сомнению. Аксиома о вырожденности  $B$  многие десятки лет отбивала охоту заниматься моделью (1), которая была отнесена к чисто теоретическим конструкциям (Суворов, Трещина, Белецкий, 2017). Вместе с тем, вырожденность  $B$  языком математики показывает, что модель (1) представляет собой систему, состоящую как из дифференциальных, так и из алгебраических уравнений. Последнее означает, что вектор выпуска  $X(t)$  состоит из интегрируемых и неинтегрируемых переменных. Первые не могут меняться скачком, т.е. обладают инерционностями. Вторые могут изменяться внезапно, т.е. являются безынерционными. Последние трудно представить в условиях реальной экономики, где отраслевые выпуски товаров и услуг в условиях мирного времени скачкообразно не меняются, а межотраслевые инерционности присутствуют. Матрица  $B$  может иметь нулевые элементы, но вырожденной быть не может. Внезапно могут измениться, например, экономические отношения, формы мотивации экономической активности, институты и механизмы принятия решений, цены конечных потребителей, ставки, курсы, тарифы и прочие атрибуты функционирования отраслей, не отражаемые в модели (1).

Наши ранние попытки оцифровки модели (1) наталкивались на постоянное появление в  $B$  множества отрицательных элементов, что не имеет смысла в нормально функционирующей экономике. Наше название и вложенный выше в матрицу  $B$  смысл обусловлены тем, что приростные фондоемкости безразмерны, а инерционности имеют размерность времени, что привело к успеху проверки модели (1), как минимум, по размерности. Переходный процесс для модели (1) определяется интегрированием соответствующей матричной экспоненты  $\exp(B^{-1}(E - A - L)t)$  после приведения модели

к нормальной форме Коши. Здесь  $E$  — единичная матрица;  $L$  — матрица, возникающая в (1) при установлении линейной связи между выпуском и конечным спросом  $Y(t) = LX(t)$  (Торопцев, Мараховский, Дужински, 2020). Исчерпывающие выводы о качестве переходных процессов, о собственных (внутренних, структурных) динамических свойствах (СДС) экономики теоретически были бы доступны на основе анализа собственных значений и собственных векторов матрицы состояния (1):  $G = (B^{-1}(E - A - L))$ . Ее элементы имеют размерность частоты (1/год). Как известно, собственные значения и векторы этой матрицы однозначно определяют структурную динамику. Точные суждения о полных межотраслевых инерционностях, формируемых всеми массивами модели, можно было бы высказывать на основе анализа элементов матрицы  $G^{-1} = (E - A - L)^{-1}B$ . Ее элементы имеют размерность времени и в данном случае измеряются в годах. Матрицы  $B$  (как и  $G^{-1}$ ) для различных экономик можно было бы сравнивать между собой с целью сопоставительного анализа их динамических свойств.

Почему в вышесказанном присутствует частица «бы», означающая, как известно, предположительную возможность? Ответ на этот вопрос выглядит следующим образом. Уравнения динамического МОБ можно записать как по строкам баланса, так и по столбцам, как это делают в случае составления ценовой модели МОБ. В последнем случае получим модель с некоторой матрицей  $\hat{B}$  перед производными, которая будет характеризовать динамику процесса создания валовой добавленной стоимости (ВДС), тогда как  $B$  из (1) отображает динамику образования основного капитала отраслей. Таким образом, это — две разные матрицы инерционностей. Если ВДС представляет разницу между валовым выпуском и промежуточным потреблением, то

$$\hat{B}pX + A^T X(t) = X(t), \quad X(0) = X_0. \quad (2)$$

Наши многолетние попытки получить (вычислить/синтезировать) неотрицательные  $B$  и  $\hat{B}$  увенчались успехом только в (Торопцев, Мараховский, Дужински, 2020). До этого среди элементов данных матриц неминуемо присутствовало доминирующее множество отрицательных. Мы не были одиноки в своих неудачах, чем объясняется тотальное отсутствие обсуждаемых матриц в научных и статистических изданиях, а Росстат никогда не ставил задачи их разработки. Это стало возможным благодаря предложению А.С. Мараховского ввести в модель (1) так называемую базовую матрицу  $BM$  (basic matrix), на которую умножается вектор валового производства таким образом, что при получении матрицы состояния  $G$  на месте единичной матрицы оказывается базовая. Базовая матрица представляет собой такой математический объект, который обладает тем свойством, что умножение его на вектор  $X$  возвращает тот же вектор  $X$ . Иными словами, вектор выпуска является собственным вектором базовой матрицы, которому соответствует единичное собственное значение, поэтому  $BM \times X = X$ .

С базовой матрицей и неотрицательными инерционностями  $b_{ij}$  исследуемую здесь модель можно включить в состав ведущих в области макроэкономики модельных комплексов типа RIM (Широв, Янговский, 2017).

### 3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Перейдем теперь к обоснованию и анализу вычислительных экспериментов.

Расчеты выполнялись на основе статистики за 2011 г. из периодически издаваемого Росстатом сборника<sup>2</sup>. Этот год был выбран, потому что:

- наши расчеты не требуют новейшей статистики, да и структура экономики за последующие 10 лет не претерпела радикальных трансформаций;
- в это время уже сошло на нет влияние мирового кризиса 2008–2009 гг., а эпоха экономического давления и санкций еще не наступила;
- год был относительно спокойным в отношении функционирования экономики и возможностей ее развития и роста.

«Национальные счета России» предоставляют нам для расчетов матрицы формирования выпуска товаров и услуг на пятилетнем интервале. В наших обозначениях это —  $PM$  (production matrix). Шапка таблицы и левый столбец содержат перечисления разделов ОКВЭД-2, нижняя строка и правый столбец представляют валовые выпуски. При этом первая содержит суммы элементов столбцов

<sup>2</sup> Национальные счета России в 2011–2016 гг. [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2017/nac/NAC\\_Ch\\_2017.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2017/nac/NAC_Ch_2017.pdf).

таблицы и дает представление о денежных суммах в разрезе ВЭД, выступающих в качестве оценки товаров и услуг для продажи и потребления, а второй (содержит суммы элементов строк) информирует о материальных результатах процессов производства продукции и услуг. Суммы элементов указанных строки и столбца равны и отражены в числе, стоящем в правом нижнем углу таблицы — как в схеме МОБ. Величины же соответствующих разным ВЭД элементов строки и столбца хотя и сопоставимы друг с другом, но в целом различны. Сказанное дает основание для различия *произведенного* и *использованного* выпуска. Аналогично различают произведенный и использованный ВВП. Обозначим их теперь  $X_{prod}$  и  $X_{used}$  соответственно. Это позволяет так записать теперь модели (1) и (2):

$$BpX_{used}(t) + AX_{used}(t) + Y(t) = X_{used}(t), \quad X_{used}(0) = X_{0,used}, \quad (3)$$

$$BpX_{prod} + A^T X_{prod}(t) = X_{prod}(t), \quad X_{prod}(0) = X_{0,prod}. \quad (4)$$

Первоначально рассмотрим уравнение (4), записанное по схеме МОБ «сверху вниз». Для этого случая Росстат публикует вектор промежуточного потребления, обозначим его  $ICV$  (intermediate consumption vector), а также вектор добавленных стоимостей  $VAV$  (value added vector). Справедливо равенство

$$X_{prod} = ICV + VAV. \quad (5)$$

Векторы, входящие в (5), являются свертками матриц промежуточного потребления ( $MIC$ , matrix of intermediate consumption) и добавленных стоимостей ( $MVA$ , matrix of value added). Векторы из (5) задают необходимые пропорции для генерации последних матриц при естественном выполнении равенства

$$PM^T = MIC + MVA. \quad (6)$$

Переход от (5) к (6) задается формулой

$$PM^T = \text{diag}\left((PM^T)^{-1} ICV\right) PM^T + \text{diag}\left((PM^T)^{-1} VAV\right) PM^T, \quad (7)$$

из которой очевидны матрицы правой части (6), построенные на основе пропорций, заданных векторами из (5). Элементарные алгебраические приемы показывают верность (7).

Выражения (5) и (6) также связывает формула

$$PM^T \text{diag}\left(1 / X_{prod}\right) X_{prod} = MIC \text{diag}\left(1 / X_{prod}\right) X_{prod} + MVA \text{diag}\left(1 / X_{prod}\right) X_{prod}, \quad (8)$$

где  $\text{diag}(1 / X_{prod}) = \text{diag}\{1 / x_{prod,i}\}_{i=1}^n$  является диагональной матрицей, а  $X_{prod} = \{x_{prod,i}\}_{i=1}^n$  — столбцом.

Уравнение (8) позволяет перейти от финансовых потоков к удельным затратам и приводит к статической ценовой модели МОБ, в чем нетрудно убедиться. Во-первых, умножение матрицы на вектор с единичными элементами суммирует ее строки, что сразу дает (5). Во-вторых, и это для нас — самое ценное, умножение базовой матрицы  $BM = PM^T \text{diag}(1 / X_{prod})$  на вектор  $X_{prod}$  дает тот же вектор. Если  $PM$  — матрица формирования выпуска товаров и услуг, то  $BM$  — матрица коэффициентов формирования выпуска товаров и услуг. Но наше название «базовая матрица» короче и подчеркивает фундаментальную роль введенного объекта. В-третьих, справедливы записанные на основе (8) уравнения:

$$\begin{aligned} BM \times X_{prod} &= A^T \times X_{prod} + MVA' \times X_{prod}, \quad MVA' = MVA \times \text{diag}\left(1 / X_{prod}\right), \\ X_{prod} &= BM^{-1} \times A^T \times X_{prod} + BM^{-1} \times MVA' \times X_{prod}, \\ X_{prod} &= A^T \times X_{prod} + VAV, \end{aligned} \quad (9)$$

где последнее уравнение представляет собой ценовой МОБ в узнаваемом виде. Таким образом, в (9) нами идентифицирована матрица коэффициентов прямых производственных затрат из основного уравнения МОБ (1). Динамизм же процесса создания добавленной стоимости может быть учтен, если нижнее уравнение из (9) записывать для соседних периодов  $t$  и использовать получаемые отсюда разностные уравнения или прямо использовать для моделирования дифференциальное уравнение (4).

При этом для анализа структурных переходных процессов оно записывается в нормальной форме Коши:

$$pX_{prod}(t) = B^{-1}(BM - A^T)X_{prod}(t) = GX_{prod}(t), \quad X_{prod}(0) = X_{0,prod}. \quad (10)$$

В уравнении (10) вместо единичной применена базовая матрица. При этом качественное приближение матрицы состояния  $G$  можно определить на основе анализа динамики валового производства, которую предоставляет Росстат, для чего выполняются следующие действия.

На основе анализа указанной динамики за несколько лет задаем приближение матрицы состояния модели. Так, если в номинальном денежном выражении динамика была экспоненциальной, то, например, считаем, что

$$G = \text{diag} \{ \lambda_i \}_{i=1}^n; \quad \lambda_i = \ln(x_{i,2018} / x_{i,2011}) / (2018 - 2011) \quad (11)$$

на интервале 2011–2018 гг. Если в каких-либо ВЭД наблюдаются околорендовые колебания различной природы, то среди собственных значений  $G$  появляются комплексно-сопряженные пары  $\lambda_{j,j+1} = \alpha_j \pm i\omega_j$ ,  $i = \sqrt{-1}$ . Тогда формула (11) модифицируется, а избежать работы с комплексной арифметикой можно за счет организации в матрице  $G$  блочно-диагональных клеток второго порядка вида

$$G = \begin{pmatrix} \alpha_i & -\omega_i \\ \omega_i & \alpha_i \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Как правило, этого достаточно, но при необходимости отобразить более сложные процессы, вызывающие образование кратных комплексных пар собственных значений, матрица  $G$  на диагонали будет содержать Жордановы клетки соответствующего размера. Однако это — маловероятный для экономики случай.

Естественно, что заданное изначально матрицей  $PM$  диагональное доминирование сохраняется и в базовой матрице. Базовая матрица, обладающая чудесным свойством  $X = BM \times X$ , позволила использовать модель (1) для исследований структуры реальной экономики и уверенно расположить ее во множестве вычислимых. Формула (7) позволяет вычислить матрицы промежуточного потребления (промежуточных затрат)  $MIC$  и добавленной стоимости  $MVA$ . Из (8) следуют матрицы коэффициентов прямых производственных затрат  $A$  и матрицы коэффициентов формирования добавленной стоимости  $MVA'$  из первого уравнения в (9). При этом несложно заметить, что  $BM = A^T + MVA'$ .

Оцифровка модели будет завершена, если по данным валового производства будет определено приближение матрицы состояния  $G$  из 20 диагональных элементов. Если рассматривать динамику валового производства по данным Росстата на принятом интервале, то

$$G = \text{diag} \left\{ \begin{array}{l} 0,085; 0,125; 0,096; 0,058; 0,099; 0,066; 0,065; 0,102; 0,094; 0,089; \\ 0,100; 0,074; 0,093; 0,131; 0,084; 0,070; 0,093; 0,125; 0,123; 0,081 \end{array} \right\}. \quad (13)$$

Последние данные позволяют вычислить  $\hat{B}$  из уравнения (10):

$$\hat{B} = (BM - A^T) \times G^{-1}. \quad (14)$$

Расчеты по формуле (14) содержит рис. 1.

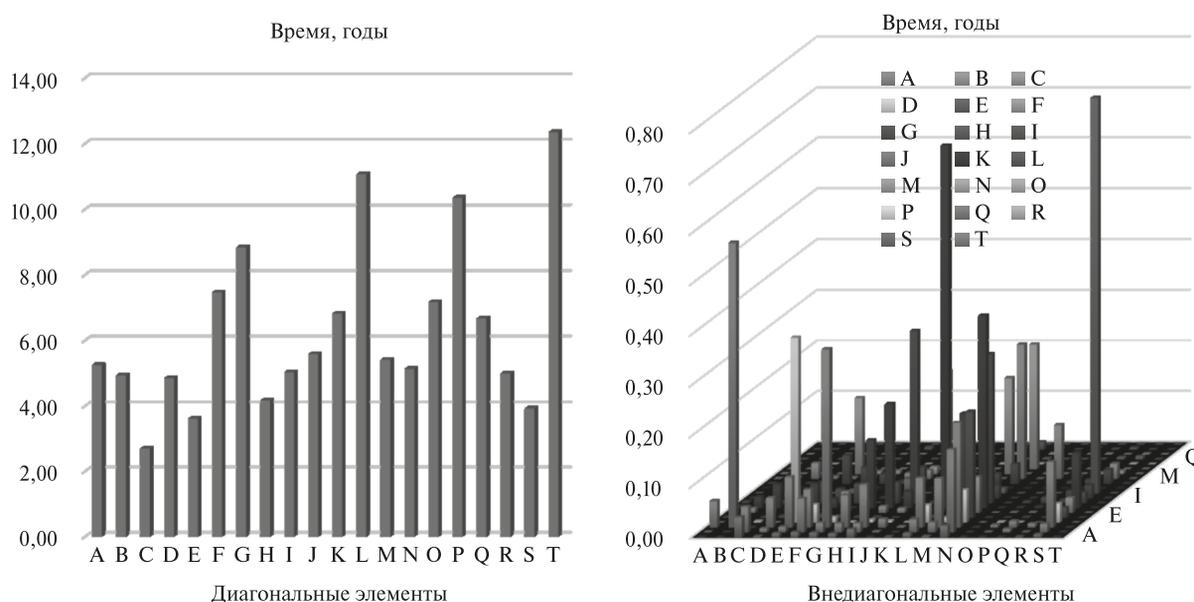
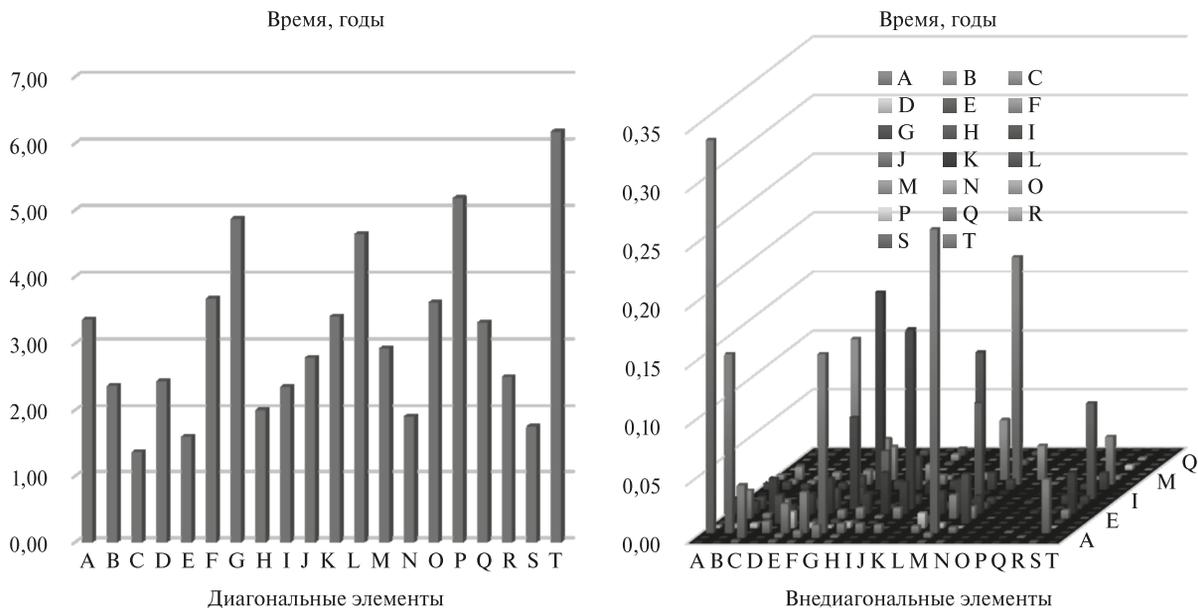


Рис. 1. Диагональные и внедиагональные элементы матрицы инерционностей формирования добавленной стоимости

Источник: расчеты авторов.



**Рис. 2.** Диагональные и внедиагональные элементы матрицы инерционностей формирования основного капитала

*Источник:* авторские расчеты.

Таким образом, расчетным путем удастся определить все массивы для оцифровки моделей (1) и (2), а именно базовые матрицы, матрицы промежуточного потребления и добавленных стоимостей, а также межотраслевых инерционностей. Последние матрицы — это то, чего так недоставало для получения работоспособных и практически значимых версий динамических моделей МОБ В.В. Леонтьева. Теперь они есть! Во-первых, получен метод численного анализа межотраслевых инерционностей, представляющий самостоятельную ценность для науки и практики моделирования экономики. Это принципиально новый подход к проблеме численного анализа инерционностей. А во-вторых, на основе моделей Леонтьева возможно как прогнозирование (минимум среднесрочное) отраслевых выпусков путем решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, так и решение широкого круга задач, направленных на анализ и обеспечение устойчивости функционирования экономики, оптимизации и управления структурными динамическими свойствами экономических систем, разработки сценарных вариантов экономической политики, прежде всего инвестиционной. Лучше всего решать их в составе больших систем моделирования типа RIM. Модели (1) и (2) совокупно с таблицами использования товаров и услуг и предложенным нами аппаратом анализа СДС представляют инструментарий для оценки тесноты межотраслевых связей, исследования простоты или сложности структуры отечественной экономики, а при наличии статистики — экономики любого региона или страны.

Матрицу инерционностей формирования основного капитала  $B$ , входящую в модель (1), также можно рассчитать по формуле

$$B = (BM - A - L)G^{-1}, \quad (15)$$

очевидно следующей из проведенного нами анализа. На рис. 2 приведен результат расчета по формуле (15) матрицы  $B$ . Конечно, большое влияние на результат вычислений оказывает матрица  $L$ , характеризующая потребление в секторе правительства, в домашних хозяйствах, а также учитывающая экспортно-импортное сальдо.

Для примера, представленного на рис. 2, мы предположили, что на указанное потребление расходуется половина ВДС. Понятно, что не следует брать данные для  $L$  случайным образом — нужны обоснованные предположения, а лучше — официальная статистика. Мы не располагали ни первым, ни вторым. Вместе с тем, случайный выбор  $L$  не меняет сделанные в работе выводы относительно деталей оцифровки динамических МОБ и о предназначении дифференциальных уравнений в задачах исследования существующей и синтеза желаемой экономической динамики.

Отметим, что помимо открывающихся новых возможностей в сфере анализа исследуемой экономики, а также для сопоставления динамических свойств разных экономик, новое качество и формализованное решение обретает проблема оценки влияния инвестиционных воздействий (масштабных инвестиционных проектов) на экономический рост и структурную устойчивость, что станет предметом наших дальнейших исследований. Очевидно, что связность, а значит, и устойчивость экономики растет по мере уменьшения столь сильных различий между величинами собственных (расположенных на диагонали матрицы  $B$ ) и взаимных (представляемых внедиагональными элементами  $B$ ) инерционностей отраслей. При этом ее чувствительность к управляющим воздействиям повышается с уменьшением абсолютных величин всех инерционностей. Последнее, в свою очередь, поддерживает рост требований к качеству, профессионализму физических лиц из структур, образующих контур управления экономикой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Агеева О.Ю., Спахов С.В., Юшкова В.Э. (2018). Инерционность экономических систем как фактор цикличности экономики // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. № 3 (58). С. 231–237. DOI: 10.17238/issn2071–2243.2018.3.231 [Ageeva O. Yu., Spakhov S. V., Yushkova V. E. (2018). Rigidities of economic systems as a factor of boom-and-bust economy. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*, 3 (58), 231–237. DOI: 10.17238/issn2071–2243.2018.3.231 (in Russian).]
- Аглицкий И.С., Клейнер Г.Б., Сирота Е.Н. (2018). Системный анализ инвестиционной деятельности. М.: Прометей. [Aglitskii I. S., Kleiner G. B., Sirota E. N. (2018). *System analysis of investment activity*. Moscow: Prometei (in Russian).]
- Афонасова М.А. (2016). К вопросу о механизмах преодоления инерции экономического спада // *Фундаментальные исследования*. № 9–2. С. 316–320. [Afonasova M. A. (2016). On the question of mechanisms for overcoming the inertia of the economic downturn. *Fundamental Research*, 9–2, 316–320 (in Russian).]
- Баранова Н.М., Сорокин Л.В. (2017). Влияние человеческого капитала на устойчивое развитие экономики // *Экономический анализ: теория и практика*. Т. 16. Вып. 12. С. 2224–2237. DOI: 10.24891/ni.13.9.1641 [Baranova N. M., Sorokin L. V. (2017). The impact of human capital on the sustainable development of the economy. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 16, 12, 2224–2237. DOI: 10.24891/ni.13.9.1641 (in Russian).]
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. (2015). Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. М.: ПолиПринт Сервис. [Vilenskii P. L., Livshits V. N., Smolyak S. A. (2015). *Evaluation of the effectiveness of investment projects: Theory and practice*. Moscow: PoliPrint Servis (in Russian).]
- Воеводина Н.В. (2001). Инерционность национальной экономики: фундаментальная база исследования. Уссурийск: ДВГУ. [Voevodina N. V. (2001). *Inertia of the national economy: The fundamental basis of research*. Ussuriisk: DVGU (in Russian).]
- Глазьев С.Ю. (2016). Прикладные результаты теории мирохозяйственных укладов // *Экономика и математические методы*. Т. 52. № 3. С. 3–21. [Glaz'ev S. Yu. (2016). Applied results in the theory of world economic structures. *Economics and Mathematical Methods*, 52, 3, 3–21 (in Russian).]
- Журавский М.Ю. (2005). К вопросу о методологии исследования инвестиционной инерции // *Вестник ТГПУ*. Вып. 5 (49). С. 20–22. [Zhuravsky M. Yu. (2005). On the issue of the methodology of investment inertia research. *Vestnik TGPU*, 5 (49), 20–22 (in Russian).]
- Журавский Ю.А. (2019). Экономическая инерция и ускорение в методологии экономической динамики // *Экономика и управление инновациями*. № 4 (11). С. 20–34. [Zhuravsky Yu. A. (2019). Economic inertia and acceleration in the methodology of economic dynamics. *Economics and Innovation Management*, 4 (11), 20–34 (in Russian).]
- Козырь Н.С., Коваленко В.С. (2017). Метрика отраслевой классификации в Российской Федерации и за рубежом // *Экономический анализ: теория и практика*. Т. 16. № 10 (469). С. 1914–1927. DOI: 10.24891/ea.16.10.1914 [Kozyr' N. S., Kovalenko V. S. (2017). Performance Metrics of Industrial Classification in the Russian Federation and Abroad. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 16, 10 (469), 1914–1927. DOI: 10.24891/ea.16.10.1914 (in Russian).]
- Леонтьев В.В. (1990). Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. М.: Политическая литература. [Leontief V. V. (1990). *Economic essays. Theories, research, facts and politics*. Moscow: Politicheskaya literature (in Russian).]
- Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Коньшков А.С. (2017). Устойчивое развитие: оценка, анализ, прогнозирование // *Экономический анализ: теория и практика*. Т. 16. Вып. 12. С. 2392–2406. DOI: 10.24891/ea.16.12.2392 [Lyubushin N. P., Babicheva N. E., Konyshkov A. S. (2017). Sustainable development: Evaluation, analysis, forecasting. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 16, 12, 2392–2406. DOI: 10.24891/ea.16.12.2392 (in Russian).]
- Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Усачев Д.Г., Шустова М.Н. (2015). Генезис понятия «устойчивое развитие экономических систем различных иерархических уровней» // *Региональная экономика: теория и практика*.

- № 48. С. 2–14. [Lyubushin N.P., Babicheva N.E., Usachev D.G., Shustova M.N. (2015). Genesis of the concept of sustainable development of economic systems of various hierarchical levels. *Regional Economics: Theory and Practice*, 48, 2–14 (in Russian).]
- Нельсон Р.Р., Уинтер С.Дж. (2002). Эволюционная теория экономических изменений. М.: Дело. [Nelson R.R., Winter S.G. (2002). *The evolutionary theory of economic changes*. Moscow: Delo (in Russian).]
- Павлов К.В., Самохин А.С. (2007). Инерционность социально-экономических и экологических систем // *Вестник Челябинского государственного университета*. № 19. С. 45–53. [Pavlov K.V., Samokhin A.S. (2007). Inertia of socio-economic and ecological systems. *Chelyabinsk State University's Academic Journal*, 19, 45–53 (in Russian).]
- Полтерович В.М. (2007). Элементы теории реформ. М.: Экономика. [Polterovich V.M. (2007). *Elements of the theory of reforms*. Moscow: Ekonomika (in Russian).]
- Рудакова И.Е. (2001). О применимости языка экономической теории и базовых экономических моделей для анализа российской экономики // *Вопросы экономики*. № 12. С. 32–45. [Rudakova I.E. (2001). On the applicability of the language of economic theory and basic economic models for the analysis of the Russian economy. *Voprosy Ekonomiki*, 12, 32–45 (in Russian).]
- Сиднина В.Л. (2002). Формы проявления инерционностей в социально-экономической системе // *Вестник Оренбургского государственного университета*. № 2. С. 150–154. [Sidnina V.L. (2002). Forms of manifestation of inertia in the socio-economic system. *Orenburg State University*, 2, 150–154 (in Russian).]
- Сиднина В.Л. (2009). Проявление инерционности в существовании российской экономической элиты // *Известия Саратовского университета. Сер. Экономика. Управление. Право*. Т. 9. Вып. 1. С. 11–15. [Sidnina V.L. (2009). The manifestation of inertia in the existence of the Russian economic elite. *Bulletin of the Saratov State University*, 9, 1, 11–15 (in Russian).]
- Суворов Н.В., Трещина С.В., Белецкий Ю.В. (2017). Балансовые и факторные модели как инструмент анализа и прогнозирования структуры экономики. В сб.: *Научные труды // Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН*. М.: Макс-Пресс. Т. 15. С. 50–75. [Suvorov N.V., Treshchina S.V., Beletskii Yu.V. (2017). Balance and factor models as a tool for analyzing and forecasting the structure of the economy. In: *Nauchnye trudy: Institute of Economic Forecasting RAS*. Moscow: Maks-Press, 15, 50–75 (in Russian).]
- Торопцев Е.Л., Мараховский А.С., Дужински Р.Р. (2020). Проблема оцифровки динамической модели межотраслевого баланса // *Экономический анализ: теория и практика*. Т. 19. № 5. С. 946–972. DOI: 10.24891/ea.19.5.946 [Toroptsev E.L., Marakhovskii A.S., Duszynski R.R. (2020). The problem of digitalization of the dynamic input-output model. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 19, 5, 946–972. DOI: 10.24891/ea.19.5.946 (in Russian).]
- Шишов А.А. (2018). Трансформация структуры экономики: механизмы и управление. М.: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Макс-Пресс. [Shirov A.A. (2018). *Transformation of the structure of the economy: mechanisms and management*. Moscow: Institute of Economic Forecasting RAS, Maks-Press (in Russian).]
- Шишов А.А., Янговский А.А. (2017). Межотраслевая макроэкономическая модель RIM — развитие инструментария в современных российских условиях // *Проблемы прогнозирования*. Т. 162. № 3. С. 3–19. [Shirov A.A., Yantovskii A.A. (2017). Intersectoral macroeconomic model of the RIM — the development of tools in modern Russian conditions. *Studies on Russian Economic Development*, 162, 3, 3–19 (in Russian).]
- Шишкин В.В., Капустина И.В., Кудрявцева Г.В., Шишкин В.И. (2012). Инерционность торговых предприятий как свойство экономических функциональных систем // *Международный научный журнал*. № 3. С. 25–29. [Shishkin V.V., Kapustina I.V., Kudryavtseva G.V., Shishkin V.I. (2012). Inertia of commercial enterprises as a property of economic functional systems. *The International Scientific Journal*, 3, 25–29 (in Russian).]
- Berns A., Metcalf U. (1946). *Business cycles analysis*. Cambridge (MA), National Bureau of Economic Research, pp. 35–37.
- Blanchard O., Fisher S. (1989). *Lectures on Macroeconomics*. Cambridge: Mass., MIT Press.
- Leontief W., Chenry H.B., Clark P.G., Duesenberry J.S., Ferguson A.R., Grosse A.P., Grosse R.N., Holzman M., Isard W., Kistin H. (1953). *Studies in the structure of the American Economy*. Harvard Economic Research Project: Research Project on the Structure of the American Economy. New York: Oxford University Press.
- Narula R. (2002). Innovation systems and ‘inertion’ in R&D location: Norwegian firms and the role of systematic lock-in. *Research Policy*, 31 (5), 795–816.
- Narula R., Jormanainen I. (2008). *When a good science base is not enough to create competitive industries: Lock-in and inertia in Russian systems of innovation*. United Nations University — Maastricht Economic and social Research and training center on Innovation and Technology Keizer Karelplein. Maastricht, Netherlands.
- Rózycki M. (2019). *Inertia in assessing the possibilities of economic development: Limits in modelling economies*. DOI: 10.5772/intechopen.86351

## Structural inertia of economic systems

© 2022 E.L. Toroptsev, A.S. Marakhovskiy

**E.L. Toroptsev,**

*North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia; e-mail: eltoroptsev@yandex.ru*

**A.S. Marakhovskiy,**

*Branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Pjatigorsk, Russia; e-mail: marahov@yandex.ru*

Received 13.09.2021

*The article was prepared with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project 20-010-00084A “Mathematical modeling of stability and macroeconomic dynamics”).*

**Abstract.** Systemic inertia forms a transdisciplinary field of studies, which includes interests of natural sciences, technical studies, humanitarian studies, socio-economic studies, etc. Economic science mainly relied on the methods of economic theory and philosophy to analyze this phenomenon. The global character of this subject impeded the formalization of research. Numerical interpretations of inertia were limited to the introduction of a coefficient in economic and mathematical model. At the same time, the opportunity of getting numerical values of structural inertia in the industry coordinates was provided by basic dynamic input–output balance model, presented as a system of basic differential equations. This model’s matrix of capital coefficients (according to V. Leontief) is non-singular and can be called the matrix of interindustry inertia. Its elements have time measurements. This research presents the methodology for calculating the matrix. Its measurements are equal to the measurements of the matrix of the goods’ output formation and services published by ROSSTAT with two years interval. This methodology consists of verifiable sequence of algebraic transformations within the input–output methodology with the specified matrix. This research represents the inertia, related to the processes of basic stock formation, and the inertia of the formation of the gross value added of Russian economy. The high practical importance of the research consists in the development and demonstration of the economic and mathematical apparatus for comparative analysis of structural dynamic properties of different economies when they are modeled in the coordinates of the same industries.

**Keywords:** inertia of economic systems, dynamic input–output balance, economic dynamics, basic matrix, matrices of intermediate consumption, matrices of added values, digitization of the model.

**JEL Classification:** B41, C02, C61, C68.

Quoting: **Toroptsev E.L., Marakhovskiy A.S.** (2022). Structural inertia of economic systems. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 1, 38–47. DOI: 10.31857/S042473880016564-9