

pISSN 2073-1477
eISSN 2311-8733

Экономико-математическое моделирование

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ МЕЖОТРАСЛЕВОГО БАЛАНСА*

Владимир Романович ЦИБУЛЬСКИЙ^a,
Илья Георгиевич СОЛОВЬЁВ^b,
Лариса Витальевна ВАЖЕНИНА^c,
Денис Александрович ГОВОРКОВ^d.

^a доктор технических наук,
профессор, ведущий научный сотрудник,
Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН (ТюмНЦ СО РАН),
Тюмень, Российская Федерация
v-tsib@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0353-9522>
SPIN-код: 4211-9183

^b кандидат технических наук,
доцент, старший научный сотрудник,
Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН (ТюмНЦ СО РАН),
Тюмень, Российская Федерация
solovyev@ikz.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9871-0075>
SPIN-код: 4340-6350

^c кандидат экономических наук,
доцент кафедры экономики и организации производства,
Тюменский индустриальный университет (ТИУ),
Тюмень, Российская Федерация
vagenina@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0472-3815>
SPIN-код: 6381-0324

^d кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН (ТюмНЦ СО РАН),
Тюмень, Российская Федерация
dagovorkov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5430-0231>
SPIN-код: 3687-5960

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 511/2022
Получена 07.11.2022
Получена в
доработанном виде
23.12.2022
Одобрена 04.02.2023
Доступна онлайн
15.03.2023

Аннотация

Предмет. Перспективы применения математических моделей в процессе мониторинга экономического развития Тюменской области.

Цели. Апробация схемы настройки матриц динамической модели межотраслевого баланса Леонтьева с использованием статистических данных, отражающих экономическое положение Тюменской области.

Методология. Рассмотрена схема идентификации коэффициентов

УДК 330.44

JEL: B16, B21, D57,
H72, R13**Ключевые слова:**межотраслевой
баланс, динамическая
модель Леонтьева,
настройка
коэффициентов
модели, Стратегия
социально-
экономического
развития Тюменской
области, траектория
роста

динамической модели методом наименьших квадратов.

Результаты. С учетом полноты имеющихся статистических данных оценка матриц динамической модели проводилась для подсистем (агрегатов) базовых экономических показателей. Структура агрегации отраслей в подсистемы выбиралась в соответствии со Стратегией социально-экономического развития Тюменской области до 2030 года. Полученные оценки матриц динамической модели воспроизводят модельные состояния, близкие к фактическим траекториям.**Выводы.** Результаты настроек динамической модели межотраслевого баланса для Тюменской области в первом приближении позволяют восстанавливать модельные объемы выпуска, что в дальнейшем может использоваться для сопоставления прогнозных, фактических и модельных траекторий с контролем отклонений и оценкой их причин.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2022

Для цитирования: Цибульский В.Р., Соловьёв И.Г., Важенина Л.В., Говорков Д.А. Динамическая модель развития Тюменской области на основе межотраслевого баланса // Региональная экономика: теория и практика. – 2023. – Т. 21, № 3. – С. 551 – 573.
<https://doi.org/10.24891/re.21.3.551>

Введение

Одним из удобных вариантов создания модели развития региона является модель В.В. Леонтьева «затраты – выпуск» [1], при идентификации которой используется система национальных счетов и соответствующие матрицы, рассчитываемые и публикуемые в открытой печати каждые пять лет по всем регионам. В предыдущих публикациях авторов [2, 3] было предложено применить методику настройки и расчета балансовой модели для подсистем региона, включающих производство, социальную, инфраструктурную, институциональную, природную подсистемы и домашние хозяйства (человек как трудовой ресурс). Корректировка такой модели каждые пять лет позволяет контролировать траекторию развития региона и своевременно принимать решения в случае ее отклонения от заявленной.

Проблема заключается в том, что за время работы одного руководителя региона и его команды могут происходить изменения заявленной траектории из-за директив, исходящих от федерального правительства и президента страны, с указанием сроков и показателей, относящихся к той или иной подсистемам региона. Кроме того, доходная часть бюджета региона может меняться значительно из-за перемещения крупных

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проект № 20-47-720001 «Разработка алгоритма цифрового мониторинга развития региона с учетом меняющихся: условий, целевой функции и оценкой восприятия развития населением региона».

налогоплательщиков. Цель представленной работы – разработать модель развития Тюменской области и построения траектории ключевого показателя, связанного с принятой стратегией развития территории.

Простейшим понятием траектории сбалансированного роста является траектория самоподдерживающихся экономик региона или систем. Такими экономиками, в настоящей действительности идеализированными, являются экономики региона, в которых потребляется все, что производится, то есть все продукты используются как для выпуска, так и для затрат (некий аналог натурального хозяйства).

Если принять X за вектор затрат, а Y – за вектор выпусков, то, по Х. Никайдо [4], «допустимой траекторией на бесконечном интервале времени» называется бесконечная последовательность $\{X(t)\}_0^\infty$ при $(X(t), X(t+1)) \in T$, $t=0,1,\dots,\infty$, T – выпуклое множество (конус). При этом сбалансированный рост объемов выпуска определяется условием

$$X(t+1) = \rho X(t),$$

где ρ – неотрицательная константа валовых выпусков или темп роста, а $\rho-1$ – норма.

Рассмотрим понятие динамической модели межотраслевого баланса (ДММБ) и понятие траекторий по В.В. Леонтьеву. Эта модель нацелена на формализацию влияния капиталовложений (инвестиций) в основные фонды на рост валовых выпусков. Основное уравнение динамики межотраслевых взаимосвязей выглядит следующим образом:

$$X(t) = A X(t) - B[X(t+1) - X(t)] - Y(t),$$

где $X(t)$, $X(t+1)$ – векторы выпуска за два года, $Y(t)$ – вектор потребления выпуска различными секторами экономики, включая домашние хозяйства, A и B – матрицы прямых затрат и коэффициентов запаса капитала первого года для развития во втором [5].

Возможны два варианта данной модели – открытая и замкнутая (закрытая). Матрица B при этом состоит из коэффициентов b_{ij} , обозначающих долю запасов зданий, сооружений, оборудования и материалов, необходимую для развития в следующем году. Для открытых систем структура матрицы B подобна структуре матрицы A , а для закрытых систем столбец запасов домашних хозяйств будет содержать нули. При этом сбалансированная траектория выпуска $X(t) = [X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)]^T$ будет иметь вид

$X(t+1)=\lambda \cdot X(t)$, где λ – собственное число специальной матрицы H , связывающей $X(t+1)=H \cdot X(t)$.

В силу того что для такой матрицы в закрытой динамической модели межотраслевого баланса должно соблюдаться много жестких условий, В.В. Леонтьев на практике рекомендовал пользоваться открытыми ДММБ, в которых λ – это темп роста сбалансированной траектории при условии $\lambda > 0$. Эта модель позволяет планировать и контролировать траекторию производственного сектора $\{X(t)\}_{t=0}^T$, а значит, и промышленной подсистемы и подсистемы услуг; траекторию основных производственных фондов $\{\Phi(t)\}_{t=0}^T$ и траекторию конечного спроса $\{Y(t)\}_{t=0}^T$. Причем все эти траектории, при соблюдении известных условий, сбалансированы и имеют один темп роста λ . Если этот темп максимален, то, по Д. фон Нейману, траектория называется магистралью расширяющейся экономики.

В обобщающей монографии по моделям «вход–выход» Р. Миллер [5] приводит развитие подхода, суть которого – включение запасов капитальных товаров в анализ «затраты–выпуск». Основное уравнение выпуска в данном подходе выглядит так:

$$x_i^t = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j^t + \sum_{j=1}^n ab_{ij} (x_i^{t+1} - x_i^t) + f_i^t,$$

где f_i^t – объемы потребления на текущий год. Данное решение в матричном виде запишется как

$$X(t) = (I - A - D + B)^{-1} b X(t+1) + f X(t).$$

Интересен вариант модели с замещающим капиталом (с новым оборудованием вместо амортизированного) и капиталом расширения:

$$(I - A - D + B) x^t - B x^{t+1} = r^t,$$

где D – матрица коэффициентов замещающего капитала, B – матрица коэффициентов капитала расширения.

Различные варианты схем адаптации, настройки и расчета моделей межотраслевого баланса (МОБ) рассматриваются многими отечественными авторами применительно к задачам прогнозирования макроэкономики на уровне регионов России – например, Г.Р. Серебряковым [6] – для Ивановской области, З.Б.-Д. Дондоковым и К.П. Дырхеевым – для Республики Бурятия [7]. На примере моделей межотраслевого баланса

А.Р. Саяпова [8] исследует вопросы разработки планов сбалансированного развития Республики Башкортостан, а В.А. Цыбатов [9] рассматривает задачи стратегического развития Самарской области. Аспекты долгосрочного планирования и прогнозирования с использованием модельных инструментов представлены в работах Н.Н. Михеевой [10] и Н.В. Смирнова [11]. Примеры построения и анализа траекторий сбалансированного роста на основе региональных моделей межотраслевого баланса приведены А.А. Шишкиным [12] и Т.Г. Баркаловой с соавторами [13].

В последние годы вопросы разработки ДММБ рассматриваются с позиций теории автоматического управления линейными системами. Например, исследователи из Дальневосточного государственного университета [14] подходят к задаче управления региональной экономикой как к векторной задаче математического программирования, в которой управление производится за счет инвестиций в отрасли, агрегированные в виды экономической деятельности при ограничениях МОБ, ресурсов и мощностей производств и услуг. Показателем роста в данной модели является спрос в различных видах экономической деятельности. Валовой выпуск определяется балансами выпуска

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j(t) + Y_i(t),$$

$$i \in [1, 2, \dots, n]$$

и затрат

$$X_j(t) = \sum_{i=1}^n a_{ij} X_i(t) + Z_j(t),$$

$$j \in [1, 2, \dots, n].$$

Критерием оптимальной деятельности принято благосостояние населения через максимальный спрос $\max(Y(t)) = \max\{Y_j(t)\}$. Векторный критерий оптимизации выглядит так:

$$\text{opt } F(X, Y) = \max\{X(t)\}, \max\{Y(t)\}.$$

Решение векторной задачи по данной модели рассчитано на три года в соответствии с принятием бюджета Приморского края. Решение задачи осуществляется путем нормализации критериев для всех видов экономической деятельности и применения принципа максимума.

Для целей развития Дальнего востока предлагается динамическая модель (Н.Г. Джурка [15]), позволяющая оценивать взаимодействие администрации округа и отдельных отраслей экономики при их стимулировании. Исследуется влияние инвестиций в основной капитал и различных налоговых льгот на траекторию развития ключевого показателя – ВРП. За основу принята структура, включающая множество отраслей: добыча углеводородов, электроэнергетика и строительство отнесены к государственному сектору, а нефтепереработка, добыча угля и прочие отрасли – к частному. Экономическими агентами в такой структуре являются региональное правительство, фирмы и домашние хозяйства. Основное балансовое уравнение производства продукции и ее распределения выглядит следующим образом:

$$X_{ij}(t) = a_{ij} X_j(t) + U_{ij}(t) + C_{is}(t),$$

где i – множество отраслей, s – множество экономических агентов, включая региональные, федеральные и прочие, t – последовательность временных интервалов, $U_{ij}(t)$ – капиталовложения в фонды i -го вида в j -ю отрасль, $C_{is}(t)$ – конечное потребление. Кроме того, используются балансы доходов, расходов, основных фондов и трудовых ресурсов. В результате многовариантных расчетов оцениваются возможные изменения и отклонения траектории ВРП на примере инвестирования в развитие инфраструктуры.

Исследователи из Московского физико-технического института [16] предлагают оценивать влияние инвестиционных проектов на развитие региона на примере Тверской области при помощи односекторной модели и основного показателя – валового регионального продукта (ВРП). Его динамика описывается уравнением вида (производственная функция Коба–Дугласа):

$$Y(t) = A \cdot e^{\lambda t} \cdot (q_f \cdot F(t))^{\alpha} \cdot (q_i (L(t) - I(t)))^{1-\alpha}.$$

По этой формуле определяется валовая добавленная стоимость в масштабах региона.

Валовая добавленная стоимость проекта (ВДС) определяется по формуле:

$$y(t) = A \cdot e^{\lambda t} \cdot (f(t))^{\alpha} \cdot (I(t))^{1-\alpha},$$

где $F(t)$, $f(t)$ – основные фонды региона и проекта, λ – темп роста.

Не расшифровывая остальные обозначения, так как они традиционные, отметим, что в результате авторы получили возможность оптимизировать траекторию ВРП при изменении показателей в одной отрасли.

Материалы и методы исследования

В данной статье предлагается динамическая модель развития юга Тюменской области (то есть, из рассмотрения исключаются два автономных округа), направленная на достижение цели прогнозирования развития региона при существующей структуре межотраслевого баланса, нормах инвестирования в основной капитал капиталоемких отраслей и налоговых льготах [17, 18]. Структура отраслей и их агрегирование и выбор целей производятся на основе Стратегии социально-экономического развития Тюменской области до 2030 года¹.

В стратегии отмечено, что наибольшую долю добавленной стоимости дают промышленные производства: по данным на 2019 г., доля добычи полезных ископаемых – 18,1%, обрабатывающих производств – 14,6%, торговли – 10,6%, транспорта и хранения – 9,6%, научно-технической деятельности – 9,6%, операций с недвижимостью – 8,2%, строительства – 6,9%. По данным департамента экономики областной администрации, инвестиции в 2018 г. составили 353,6 млрд руб., причем доля крупных предприятий в инвестировании составила 82,7%, бюджета – 7,5%. Основная доля инвестиций в то время направлялась в обрабатывающие производства – 60,2%. Таким образом, главной подсистемой (агрегатом) в последующем анализе выбрано промышленное производство.

Следующей по значимости для развития региона в стратегии считается строительная (сервисная) отрасль, направленная на создание транспортно-логистической, информационно-коммуникационной, научно-инновационной, туристической и торговой инфраструктуры. Третьей по значимости принята система «человеческий капитал и качество жизни» – в нее входит демография и миграционная политика, уровень жизни и занятость.

Четвертой подсистемой, исходя из стратегии, можно считать социальную, в которую входит жилищная политика и жилищно-коммунальное хозяйство, социальная поддержка, образование, здравоохранение, медицинский туризм, физкультура и спорт, молодежная политика (культура и творчество), социальное партнерство власти и общества, а также экологическая

¹ Стратегия социально-экономического развития Тюменской области до 2030 года.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/570710699?ysclid=leh5wlwyk0964294642>

и общественная безопасность. Отдельно выделена проблема пространственного развития (равномерного развития всей территории). Особенно это относится к инфраструктуре, торговле и социальному обеспечению.

В табл. 1 приведена предлагаемая авторами статьи структура отраслей и их агрегация в подсистемы, основанная на приоритетах, обозначенных в стратегии развития Тюменской области. Следовательно, можно предположить, что наибольший интерес при контроле достижения выбранных целей стратегии представляют траектории приоритетных показателей:

- человек и его качество жизни и человек как трудовой ресурс;
- устойчивое развитие экономики (развитие производства товаров и услуг и информационных технологий);
- сбалансированное развитие инфраструктуры, логистики, информационных систем и здравоохранения.

Исходя из этого перечня, можно предположить, какие показатели необходимо максимизировать и что при этом будет ограничивать их рост.

Сформулируем основную модель и возможные варианты ее настройки и расчета. Отметим, что в данной работе авторами не исследуется задача оптимального управления, а рассматриваемая задача расчета модельных траекторий относится к классу задач математического программирования на заданном интервале планирования в пять лет. Такой интервал соответствует сроку правления выборного губернатора, в течение которого предполагаются неизменными матрицы ДММБ и цели стратегии.

Кроме того, предполагается, что план выпуска будет оптимальным, и отклонения от заданной траектории возможны только по причине действия экзогенных факторов (изменение инвестиционного климата, дефицит трудовых ресурсов). Такого рода модели ДММБ относят к открытым динамическим балансам с дискретным временем.

Структура модели включает прямые затраты на производство, инвестиции в основной капитал и основные фонды. Используемая ДММБ имеет общепринятый вид [1, 5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x}(k) - A \mathbf{x}(k) - K \Delta \mathbf{x}(k) = \mathbf{c}(k), \\ K \Delta \mathbf{x}(k) = \mathbf{i}(k), \\ F \Delta \mathbf{x}(k) = \Delta \mathbf{q}(k), \\ \mathbf{c}(k) = \mathbf{y}(k) - \mathbf{i}(k), \\ (I - A) \Delta \mathbf{x}(k) = \Delta \mathbf{y}(k). \end{array} \right. ,$$

где $\mathbf{x}(k) = [x_1(k) \ x_2(k) \ \dots \ x_n(k)]^T$ – вектор валовых выпусков,
 $\mathbf{y}(k) = [y_1(k) \ y_2(k) \ \dots \ y_n(k)]^T$ – вектор конечного продукта,
 $\mathbf{q}(k) = [q_1(k) \ q_2(k) \ \dots \ q_n(k)]^T$ – вектор основных производственных фондов,
 $\mathbf{i}(k) = [i_1(k) \ i_2(k) \ \dots \ i_n(k)]^T$ – вектор инвестиций, $\mathbf{c}(k) = [c_1(k) \ c_2(k) \ \dots \ c_n(k)]^T$ – вектор непроемственного потребления. Причем, $\mathbf{y}(k) = \mathbf{i}(k) + \mathbf{c}(k)$ и $\mathbf{i}(k) = D \cdot F \Delta \mathbf{x} = K \cdot \Delta \mathbf{x}(k)$, а $K = D \cdot F$ – матрица капитальных затрат,
 D – матрица капиталоемкости приращения фондов,
 F – матрица коэффициентов прямых фондоемкостей.

Результаты

Порядок настройки представленной ДММБ определяется доступными данными статистики экономического развития юга Тюменской области. Основным источником данных являются материалы Управления Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу². Временной период доступной статистической выборки – с 2011 г. по 2020 г. Доступные данные включают:

- объемы выпуска $\mathbf{x}(k)$, промежуточного потребления $\mathbf{x}_j(k)$ и валовой добавленной стоимости $\mathbf{z}(k)$ (таблицы «Счет производства по видам экономической деятельности» по годам);
- объемы основных фондов $\mathbf{q}(k)$ (таблицы «Распределение основных фондов по видам экономической деятельности организаций» по годам);
- объемы инвестиций $\mathbf{i}(k)$ (таблицы «Инвестиции в основной капитал организаций (без субъектов малого предпринимательства и объема инвестиций, не наблюдаемых прямыми статистическими методами) по видам экономической деятельности» по годам).

Отметим основные особенности предлагаемой процедуры настройки динамической модели.

² Статистический ежегодник. Тюменская область (кроме Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа) (1990–2021). URL: <https://tumstat.gks.ru/ofpublic/document/72225>

Полный временной период доступной выборки данных включает десять лет. Однако с учетом специфики обработки данных, изменения методик оценок и классификации (в частности, перехода к ОКВЭД-2), а также фактической макроэкономической ситуации в регионе и в стране в целом в качестве анализируемого периода был выбран диапазон 2014–2018 гг., характеризующийся относительно линейным ростом основных наблюдаемых состояний модели (рис. 1).

Полный набор исходных показателей, представленный в статистике, включает 17 позиций по номенклатуре ОКВЭД до 2016 г. и 19 позиций по номенклатуре ОКВЭД-2 после 2016 г. Настройка по полному набору не представляется возможной в силу ограниченности длительности выборки, с одной стороны, и нестабильности макроэкономики в долгосрочном периоде, с другой. С учетом этих обстоятельств, анализируемый набор показателей был агрегирован в три характерные подсистемы (производство продукта, инфраструктурная, социальная), как это описано в работах [2, 3]. Соответственно, настройка и построение динамической модели производятся по агрегированным показателям для трех подсистем.

В доступном наборе данных отсутствуют объемы конечного спроса, поэтому для оценки матрицы прямых затрат использовались данные об эталонной структуре спроса – соотношениях объемов конечного спроса и выпуска, представленных в данных таблиц «затраты – выпуск» по России [19] за 2016 г. Кроме того, представленная в таблице матрица прямых затрат по России, с учетом агрегации по трем подсистемам, использовалась как эталон в схеме идентификации матрицы Леонтьева по региону. Описание схемы идентификации и примеры настройки модели и таблицы межотраслевого баланса для юга Тюменской области представлены в работах [3, 20].

Оценка матриц D и F производилась по исходным модельным зависимостям

$$\mathbf{i}(k) = D \cdot \Delta \mathbf{q}(k),$$

$$\mathbf{q}(k) = F \mathbf{x}(k)$$

с использованием программной среды Matlab (модуль System Identification Toolbox) по схеме МНК. Результаты настройки корректировались вручную с тем, чтобы модельные расчетные показатели $\tilde{\mathbf{i}}(k)$ и $\tilde{\mathbf{q}}(k)$ были в среднем близки к данным статистики.

Результаты настройки динамической модели Леонтьева – матрицы прямых затрат A , капиталоемкости приращения фондов D , коэффициентов прямых фондоемкостей F и коэффициентов капитальных затрат K для выделенных подсистем – представлены на *рис. 2*. Проверка результатов настройки производилась по сопоставлению исходных объемов агрегированных выпусков и результатов моделирования, рассчитанных по основному разностному соотношению модели:

$$\tilde{x}(k+1)=[K^{-1}(I-A)+I]\tilde{x}(k)-K^{-1}c(k)$$

при заданном начальном условии $\tilde{x}(1)=x(1)$. Недостающие данные по объемам конечного спроса восстанавливались по основному уравнению традиционной модели межотраслевого баланса $y(k)=(I-A)x(k)$ с учетом эталонной структуры спроса (из таблиц «затраты – выпуск» по России за 2016 г.). Таким образом формировалась экзогенная переменная объемов внутреннего потребления $c(k)=y(k)-i(k)$.

Результаты сравнения представлены таблицами фактических объемов основных показателей и моделируемого выпуска, агрегированных по подсистемам (*табл. 2*), и графиками модельного и реального объемов выпусков для каждой подсистемы за выделенный период в пять лет (*рис. 3*).

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о работоспособности представленного алгоритма настройки матриц коэффициентов динамической модели межотраслевого баланса при имеющихся статистических данных. Непосредственно задачи моделирования межотраслевого баланса для региона в ретроспективном или прогнозном режиме, а также вопросы сопровождения модели, коррекции настроечных коэффициентов посредством прямого анализа или в результате решения обратных задач идентификации, адаптация структуры настройки в зависимости от доступной статистической выборки – все это выходит за рамки данной статьи и является предметом дальнейшего развития модельных подходов к анализу макроэкономики для юга Тюменской области.

Таблица 1**Структура отраслей и их агрегация в подсистемы****Table 1****The structure of industries and their aggregation into subsystems**

Подсистема	Отрасли
Производство продукта	Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство
	Добыча полезных ископаемых
	Обрабатывающие производства
Инфраструктурная	Электроэнергия, газ и вода, отходы
	Строительство
	Оптовая и розничная торговля; ремонт транспорта и бытовых изделий
	Гостиницы и рестораны
	Транспорт и связь
	Финансовая деятельность и страхование
	Операции с недвижимым имуществом, аренда, административная, профессиональная, научная и техническая деятельность
Социальная	Образование
	Здравоохранение и предоставление социальных услуг
	Культура, спорт, организация досуга и развлечений
	Государственное управление и безопасность; социальное страхование

Источник: авторская разработка на основе: Стратегия социально-экономического развития Тюменской области до 2030 года.

URL: <https://docs.cntd.ru/document/570710699?ysclid=leh5wlwyk0964294642>

Source: Authoring, based on the *Strategy of Socio-Economic Development of the Tyumen Oblast until 2030*.

URL: <https://docs.cntd.ru/document/570710699?ysclid=leh5wlwyk0964294642>

Таблица 2**Основные показатели за 2014–2018 гг., агрегированные по подсистемам, млрд руб.****Table 2****Key indicators aggregated by subsystem for 2014–2018, billion RUB**

Подсистемы	Фактический выпуск				
	2014	2015	2016	2017	2018
Производство продукта	745	872	887	956	1 185
Инфраструктурная	743	837	888	1 026	1 139
Социальная	141	142	162	173	196

Продолжение

Подсистемы	Моделируемый выпуск				
	2014	2015	2016	2017	2018
Производство продукта	745	862	874	949	1 187
Инфраструктурная	743	835	895	998	1 125
Социальная	141	144	159	169	192

Продолжение

Подсистемы	Потребление				
	2014	2015	2016	2017	2018
Производство продукта	473	563	587	590	665
Инфраструктурная	300	331	328	423	470
Социальная	54	51	54	59	67

Продолжение

Подсистемы	Основные фонды				
	2014	2015	2016	2017	2018
Производство продукта	340	407	518	598	700
Инфраструктурная	1 062	1 118	1 201	1 220	1 322
Социальная	261	283	355	359	357

Продолжение

Подсистемы	Валовая добавленная стоимость				
	2014	2015	2016	2017	2018
Производство продукта	272	308	299	366	519
Инфраструктурная	443	506	560	603	668
Социальная	87	91	109	114	129

Продолжение

Подсистемы	Инвестиции				
	2014	2015	2016	2017	2018
Производство продукта	84	101	142	217	267
Инфраструктурная	82	63	62	74	71
Социальная	11	13	8	11	14

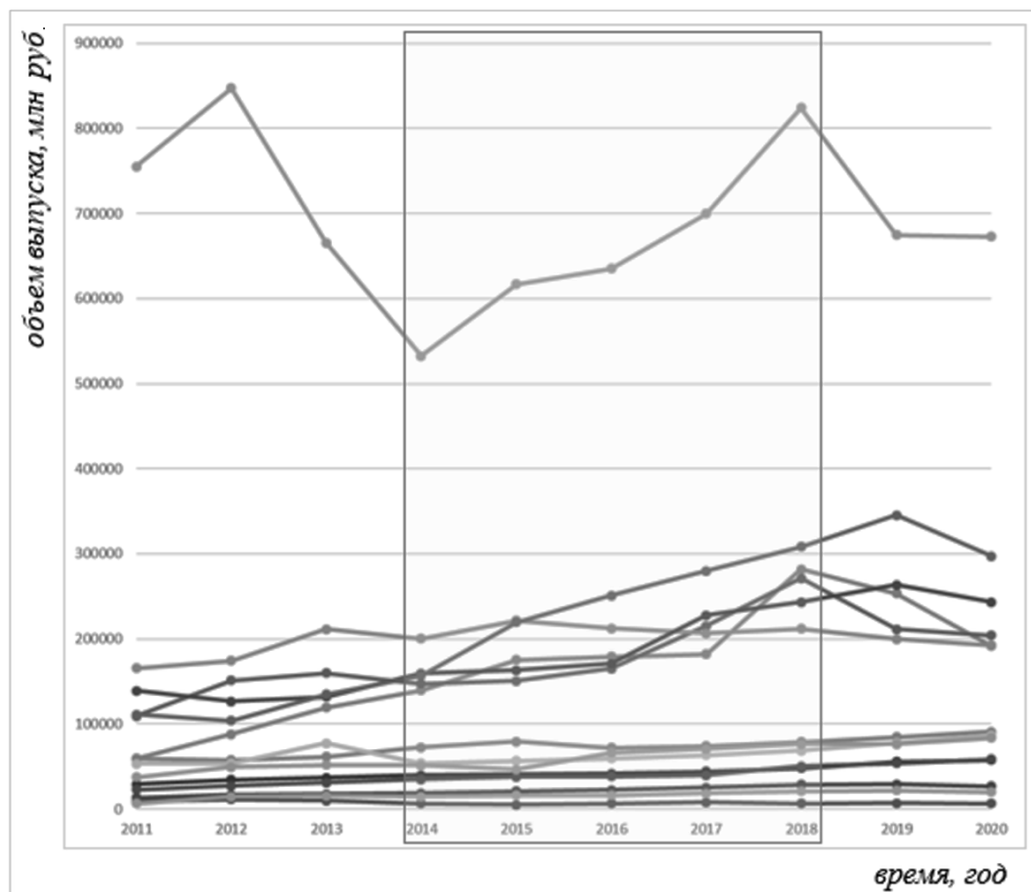
Источник: авторская разработка*Source:* Authoring

Рисунок 1

Графики объемов выпусков для юга Тюменской области (2011–2020 гг.) с выделенным периодом для анализа (2014–2018 гг.)

Figure 1

Output volume charts for the Tyumen Oblast south with a selected time fragment of the analysis from 2014 to 2018

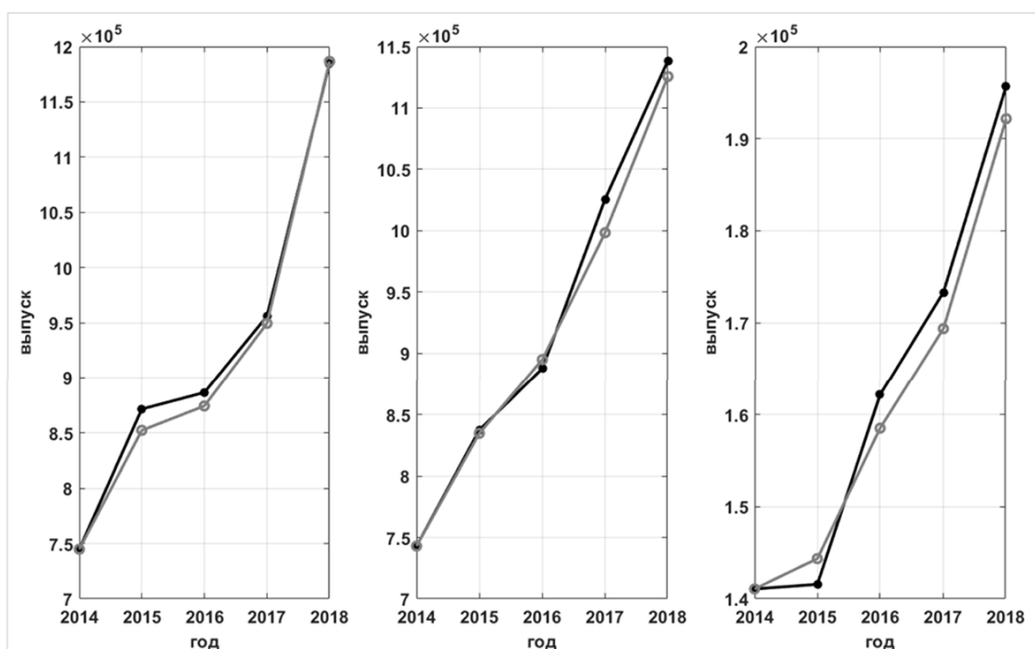


Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 2**Результаты настройки матриц динамической модели межотраслевого баланса****Figure 2****The results of setting up the matrices of the dynamic model of input-output balance**

<i>i/j</i>	<i>A</i>			<i>D</i>			<i>F</i>			<i>K</i>		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0,457	0,154	0,146	1,508	0,312	0,09	0,545	0	0	0,821	0,404	0,179
2	0,145	0,156	0,076	0,277	0,582	0,651	0	1,294	0	0,151	0,753	1,294
3	0,012	0,054	0,156	0,09	0,052	0,35	0	0	1,988	0,049	0,067	0,696

Примечание. *i, j* – номера строк и столбцов в соответствующих матрицах.*Источник:* авторская разработка*Source:* Authoring**Рисунок 3****Объемы фактических выпусков (темные графики) и результаты моделирования (светлые графики) за период 2014–2018 гг. по трем подсистемам, млн руб.****Figure 3****Output volume charts: Actual (dark color) and simulation results (light color) for 2014–2018 for three subsystems, million RUB***Примечание.* Слева направо представлены данные по подсистемам: производство продукта, инфраструктурная, социальная.*Источник:* авторская разработка по данным Тюменьстата*Source:* Authoring, based on the Tyumenstat data

Список литературы

1. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика. М.: Экономика, 1997. 479 с.
2. Цибульский В.Р., Соловьев И.Г., Важенина Л.В., Говорков Д.А. Оценивание модели межотраслевого баланса для юга Тюменской области // Региональная экономика: теория и практика. 2022. Т. 20. Вып. 8. С. 1586–1604. URL: <https://doi.org/10.24891/re.20.8.1586>
3. Tsibulsky V.R., Vazhenina L.V., Solovyov I.G. et al. Assessment of the Leontiev Productive Matrix of the Economic Development Model for Tyumen Region (Russia). *R-Economy*, 2022, vol. 8, iss. 2, pp. 135–147. URL: <https://doi.org/10.15826/recon.2022.8.2.011>
4. Nikaido H. *Convex Structures and Economic Theory*. New York, Academic Press, 1968, 405 p.
5. Miller R., Blair B. *Input-Output Analysis. Foundations and Extensions*. Cambridge, Cambridge University Press, 2009, 750 p. URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>
6. Серебряков Г.Р., Узяков М.Н., Янтовский А.А. Межотраслевая модель экономики Ивановской области // Проблемы прогнозирования. 2002. № 5. С. 64–74. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhotraslevaya-model-ekonomiki-ivanovskoy-oblasti/viewer>
7. Дондоков З.Б.-Д., Дырхеев К.П., Мунаев Л.А. и др. Межотраслевой анализ экономики Республики Бурятия на основе таблиц «затраты – выпуск» // Региональная экономика: теория и практика. 2014. Т. 12. Вып. 28. С. 55–62. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhotraslevoy-analiz-ekonomiki-respubliki-buryatii-na-osnove-tablits-zatraty-vypusk/viewer>
8. Саяпова А.Р. Региональная дифференциация коэффициентов прямых затрат в симметричных таблицах «затраты – выпуск» // Проблемы прогнозирования. 2011. № 5. С. 39–47. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnaya-differentsiatsiya-koeffitsientov-priamyh-zatrat-v-simmetrichnyh-tablitsah-zatraty-vypusk/viewer>
9. Цыбатов В.А. Модели и методы стратегирования регионального развития // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2015. № 3. С. 49–66. URL: http://vestnik.sseu.ru/lk_file.php?pdf=6025

10. *Михеева Н.Н.* Долгосрочные прогнозы регионального развития: анализ результатов и проблемы разработки // Проблемы прогнозирования. 2018. № 5. С. 24–38. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dolgosrochnye-prognozy-regionalnogo-razvitiya-analiz-rezultatov-i-problemy-razrabotki/viewer>
11. *Смирнов Н.В., Смирнов Т.Е.* Прогнозирование макроэкономических тенденций и управление многопродуктовой экономикой на основе динамических моделей межотраслевого баланса // Финансы и бизнес. 2015. № 1. С. 42–53.
URL: <https://finbiz.spb.ru/wp-content/uploads/2015/01/smironov.pdf>
12. *Шишкин А.А., Шишкин А.И.* Определение траектории развития региона // Экономика и управление. 2017. № 4. С. 27–32.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-traektorii-razvitiya-regiona/viewer>
13. *Баркалова Т.Г., Кокоткина Т.Н., Васильева Е.О. и др.* Перспективы использования имитационного моделирования при прогнозировании социально-экономического развития региона // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2016. № 9. С. 44–59.
URL: <http://publishing-vak.ru/file/archive-economy-2016-9/4-barkalova-kokotkina-vasileva-bespalov-tsaregorodtsev.pdf>
14. *Машунин Ю.К., Машунин И.А.* Организация управления, моделирование и прогнозирование развития экономики региона // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2016. № 1. С. 29–58. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-upravleniya-modelirovanie-i-prognozirovanie-razvitiya-ekonomiki-regiona/viewer>
15. *Джурка Н.Г.* Траектории развития Дальнего Востока: оценка на основе динамической модели экономических взаимодействий // Проблемы прогнозирования. 2018. № 2. С. 49–59.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/traektorii-razvitiya-dalnego-vostoka-otsenka-na-osnove-dinamicheskoy-modeli-ekonomicheskikh-vzaimodeystviy/viewer>
16. *Волков Ю.Н., Дремова О.В.* Моделирование влияния инвестиционных проектов на экономическую динамику региона с помощью односекторных моделей // Труды МФТИ. Труды Московского физико-технического института (национального исследовательского

- университета). 2012. Т. 4. № 2. С. 89–100.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-vliyaniya-investitsionnyh-proek-tov-na-ekonomicheskuyu-dinamiku-regiona-s-pomoschyu-odnosekturnykh-modeley/viewer>
17. *Мякишин В.Н.* Межотраслевой баланс как инструмент для разработки региональной инвестиционной стратегии // *Региональная экономика: теория и практика*. 2013. Т. 11. Вып. 30. С. 37–46.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhotraslevoy-balans-kak-instrument-dlya-razrabotki-regionalnoy-investitsionnoy-strategii/viewer>
18. *Баева Н.Б.* Модели и методы формирования составной траектории сбалансированного роста региональной экономической системы // *Современная экономика: проблемы и решения*. 2016. № 5. С. 8–21.
URL: <https://journals.vsu.ru/meps/article/view/7313/7329>
19. *Масакова И.Д.* Российская практика составления таблиц «затраты–выпуск»: проблемы и перспективы развития // *Проблемы прогнозирования*. 2019. № 2. С. 14–26.
URL: <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2019/07/rossijskaya-praktika-sostavleniya-tablits-zatraty-vypusk-.pdf?ysclid=lehsamzcb8515473731>
20. *Говорков Д.А., Новиков В.П., Соловьев И.Г., Цибульский В.Р.* Вычислительная схема оценивания матрицы прямых затрат модели Леонтьева по данным таблиц «затраты – выпуск» для юга Тюменской области // *Региональная экономика: теория и практика*. 2021. Т. 19. Вып. 12. С. 2360–2383. URL: <https://doi.org/10.24891/re.19.12.2360>

Информация о конфликте интересов

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

pISSN 2073-1477
eISSN 2311-8733

Economic-Mathematical Modeling

A DYNAMIC MODEL OF DEVELOPMENT OF THE TYUMEN OBLAST BASED ON INPUT-OUTPUT BALANCE

Vladimir R. TSIBUL'SKII ^{a,*},
Il'ya G. SOLOV'EV ^b,
Larisa V. VAZHENINA ^c,
Denis A. GOVORKOV ^d

^a Tyumen Scientific Centre SB RAS,
Tyumen, Russian Federation
v-tsib@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0353-9522>

^b Tyumen Scientific Centre SB RAS,
Tyumen, Russian Federation
solovyev@ikz.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9871-0075>

^c Industrial University of Tyumen,
Tyumen, Russian Federation
vagenina@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0472-3815>

^d Tyumen Scientific Centre SB RAS,
Tyumen, Russian Federation
dagovorkov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5430-0231>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 511/2022
Received 7 Nov 2022
Received in revised
form 23 Dec 2022
Accepted 4 Feb 2023
Available online
15 March 2023

JEL classification:

B16, B21, D57, H72,
R13

Keywords:

input-output balance,
dynamic Leontief
model, model
coefficients estimation,
development strategy

Abstract

Subject. This article analyzes the prospects for the application of mathematical models in monitoring of the economic development of the Tyumen Oblast.

Objectives. The article aims to test the scheme for adjusting the matrices of Leontief's dynamic model of input-output balance using statistical data reflecting the economic situation of the Tyumen Oblast.

Methods. To consider the scheme for identifying the coefficients of the dynamic model, we used the least squares method.

Results. The article presents estimates of the dynamic model matrices, which reproduce model states close to the actual trajectories.

Relevance. The results of the settings of the dynamic model of input-output balance for the Tyumen Oblast in the first approximation make it possible to restore the model volumes of output, which in the future can be used to compare forecast, actual and model trajectories with the control of deviations and the assessment of their causes.

of Tyumen Oblast,
growth trajectory

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2022

Please cite this article as: Tsibul'skii V.R., Solov'ev I.G., Vazhenina L.V., Govorkov D.A.
A Dynamic Model of Development of the Tyumen Oblast Based on Input-Output Balance.
Regional Economics: Theory and Practice, 2023, vol. 21, iss. 3, pp. 551–573.
<https://doi.org/10.24891/re.21.3.551>

Acknowledgments

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project № 20-47-720001, *Development of an Algorithm for Digital Monitoring of the Region's Development, Taking into Account the Changing Conditions, Target Function and the Assessment of the Perception of Development by the Region's Population*.

References

1. Leontief W.W. *Mezhotraslevaya ekonomika* [Input-Output Economics]. Moscow, Ekonomika Publ., 1997, 479 p.
2. Tsibul'skii V.R., Solov'ev I.G., Vazhenina L.V., Govorkov D.A. [Estimation of the input-output balance model for the south of the Tyumen Oblast]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika = Regional Economics: Theory and Practice*, 2022, vol. 20, iss. 8, pp. 1586–1604. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/re.20.8.1586>
3. Tsibulsky V.R., Vazhenina L.V., Solovyov I.G. et al. Assessment of the Leontiev Productive Matrix of the Economic Development Model for Tyumen Region (Russia). *R-Economy*, 2022, vol. 8, iss. 2, pp. 135–147.
URL: <https://doi.org/10.15826/recon.2022.8.2.011>
4. Nikaido H. *Convex Structures and Economic Theory*. New York, Academic Press, 1968, 405 p.
5. Miller R., Blair B. *Input-Output Analysis. Foundations and Extensions*. Cambridge, Cambridge University Press, 2009, 750 p.
URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>
6. Serebryakov G.R., Uzyakov M.N., Yantovsky A.A. [The Ivanovo Oblast economy: An IO model]. *Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development*, 2002, no. 5, pp. 64–74.

- URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhotraslevaya-model-ekonomiki-ivanovskoy-oblasti/viewer> (In Russ.)
7. Dondokov Z.B.-D., Dyrkheev K.P., Munaev L.A. et al. [An inter-industry analysis of the economy of the Republic of Buryatia on the basis of input-output tables]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika = Regional Economics: Theory and Practice*, 2014, vol. 12, iss. 28, pp. 55–62.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhotraslevoy-analiz-ekonomiki-respubliki-buryatii-na-osnove-tablits-zatraty-vypusk/viewer> (In Russ.)
 8. Sayapova A.R. [Regional differentiation of coefficients of direct expenditures in input-output symmetric tables]. *Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development*, 2011, no. 5, pp. 39–47.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnaya-differentsiatsiya-koeffitsientov-pryamyh-zatrat-v-simmetrichnyh-tablitsah-zatraty-vypusk/viewer> (In Russ.)
 9. Tsybatov V.A. [Models and methods strategizing regional development]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Vestnik of Samara State University of Economics*, 2015, no. 3, pp. 49–66.
URL: http://vestnik.sseu.ru/lk_file.php?pdf=6025 (In Russ.)
 10. Mikheeva N.N. [Long-term forecasts of regional development: analysis of results and the problem of development]. *Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development*, 2018, no. 5, pp. 24–38.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dolgosrochnye-prognozy-regionalnogo-razvitiya-analiz-rezultatov-i-problemy-razrabotki/viewer> (In Russ.)
 11. Smirnov N.V., Smirnova T.E. [Prediction of macroeconomic trends and control of a multicommodity economy based on the dynamic input-output models]. *Finansy i biznes = Finance and Business*, 2015, no. 1, pp. 42–53.
URL: <https://finbiz.spb.ru/wp-content/uploads/2015/01/smironov.pdf> (In Russ.)
 12. Shishkin A.A., Shishkin A.I. [Determining the trajectory of regional development]. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*, 2017, no. 4, pp. 27–32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-traektorii-razvitiya-regiona/viewer> (In Russ.)
 13. Barkalova T.G., Kokotkina T.N., Vasil'eva E.O. et al. [Prospects of use of simulation modeling in forecasting of region's socio-economic development]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra = Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 2016, no. 9, pp. 44–59. URL: <http://publishing-vak.ru/file/archive->

economy-2016-9/4-barkalova-kokotkina-vasileva-bespalov-tsaregorodtsev.pdf
(In Russ.)

14. Mashunin Yu.K., Mashunin I.A. [Organization of management, modeling and forecasting of development of economy of the region]. *Regional'naya ekonomika i upravlenie: elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2016, no. 1, pp. 29–58. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-upravleniya-modelirovanie-i-prognozirovanie-razvitiya-ekonomiki-regiona/viewer>
15. Dzhurka N.G. [Development trajectories of the Russian Far East: evaluation based on the dynamic model of economic interactions]. *Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development*, 2018, no. 2, pp. 49–59. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/traektorii-razvitiya-dalnego-vostoka-otsenka-na-osnove-dinamicheskoy-modeli-ekonomicheskikh-vzaimodeystviy/viewer> (In Russ.)
16. Volkov Yu.N., Dremova O.V. [Modeling the effect of project investments on the regional economic dynamics by macromodels]. *Trudy MFTI. Trudy Moskovskogo fiziko-tekhnicheskogo instituta (natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta) = Proceedings of Moscow Institute of Physics and Technology*, 2012, vol. 4, iss. 2, pp. 89–100. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-vliyaniya-investitsionnyh-proek-tov-na-ekonomicheskuyu-dinamiku-regiona-s-pomoschyu-odnosekturnykh-modeley/viewer> (In Russ.)
17. Myakshin V.N. [Intersectoral balance as tool for development of regional investment strategy]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika = Regional Economics: Theory and Practice*, 2013, vol. 11, iss. 30, pp. 37–46. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhotraslevoy-balans-kak-instrument-dlya-razrabotki-regionalnoy-investitsionnoy-strategii/viewer> (In Russ.)
18. Baeva N.B. [Models and methods of the composite trajectory of the regional social and economic system balanced growth]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya = Modern Economics: Problems and Solutions*, 2016, no. 5, pp. 8–21. URL: <https://journals.vsu.ru/meps/article/view/7313/7329> (In Russ.)
19. Masakova I.D. [The Russian practice of compiling input-output tables: problems and prospects of development]. *Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development*, 2019, no. 2, pp. 14–26. URL: <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2019/07/rossijskaya-praktika->

sostavleniya-tablits-zatraty-vypusk-.pdf?ysclid=lehsamzcb8515473731
(In Russ.)

20. Govorkov D.A., Novikov V.P., Solov'ev I.S., Tsibul'skii V.R.
[A computational scheme to estimate the Leontief model matrix coefficients according to input-output table data for the southern regions of the Tyumen Oblast]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika = Regional Economics: Theory and Practice*, 2021, vol. 19, iss. 12, pp. 2360–2383. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/re.19.12.2360>

Conflict-of-interest notification

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