

А.А. АШИМОВ, Ю.В. БОРОВСКИЙ, М.А. ОНАЛБЕКОВ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕР ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМ САНКЦИЯМ

Ашимов А.А., Боровский Ю.В., Оналбеков М.А. Математическое моделирование оптимальных мер противодействия экономическим санкциям.

Аннотация. Рассматриваются задачи выработки рекомендаций в сфере бюджетно-налоговой и торговой политики по противодействию экономическим санкциям на уровне как отдельных стран, подвергшихся таким санкциям, так и на уровне экономического союза, включающего такие страны. Исследования проведены на базе разработанной динамической многоотраслевой и многострановой вычислимой модели общего равновесия, которая описывает функционирование экономик девяти регионов планеты, включая пять стран Евразийского Экономического Союза. Исходные данные модели содержат построенные наборы согласованных матриц социальных счетов для исторического и прогнозного периодов на основе данных: базы Global Trade Analysis Project, национальных таблиц затраты-выпуск, международной торговли и данных Международного валютного фонда (включая прогнозные) по основным макроэкономическим показателям регионов. Получены результаты влияния на макроэкономические и отраслевые показатели стран Евразийского Экономического Союза и других регионов гипотетического сценария, предусматривающего введение с 2019 года дополнительных экономических санкций в отношении России со стороны некоторых регионов. Предлагается подход решения задач по противодействию политике санкций на базе теории параметрического регулирования путем постановки и решения ряда задач динамической оптимизации по определению оптимальных значений соответствующих инструментов бюджетно-налоговой и торговой политики на уровне отдельных стран Евразийского Экономического Союза и в целом. Результаты расчетов на базе модели протестированы на возможность их практического применения с помощью трех подходов, включая оценку устойчивости отображений значений экзогенных параметров откалиброванной модели в значения ее эндогенных переменных. Приведенные результаты демонстрируют для каждой страны Евразийского Экономического Союза большую эффективность применения согласованной экономической политики по противодействию санкциям, по сравнению с проведением такой политики отдельно на уровне этой страны.

Ключевые слова: экономические санкции, теория параметрического регулирования макроэкономических систем, верификация модели, вычислимая модель общего равновесия, динамическая оптимизация.

1. Введение. Торговые экономические санкции – преднамеренные, вызванные действиями правительства отдельной страны или группы стран меры по прекращению традиционных торговых отношений с другой страной, представляют собой один из наиболее распространенных инструментов современной внешней политики. В качестве общеизвестного примера можно привести торговые санкции против России, введенные США, Евросоюзом и некоторыми другими странами в 2014 году. Существует множество работ, посвященных описанию с использованием математических моделей применяемых экономических санкций по отношению к ряду государств и оценке их влияния на экономику этих госу-

дарств. Отметим некоторые из таких работ. В [1] с помощью ряда авторегрессионных и эконометрических моделей оценивается влияние наложенных на Иран санкций на иранский экспорт в 2006-2011 годах. В [2, 3] с помощью моделирования на базе статической вычислимой модели общего равновесия Global Trade Analysis Project (GTAP) оценивается эффект от снятия антииранских санкций. В частности оценивается влияние отмены ряда таких санкций на благосостояние, выпуск секторов экономики, объемы экспорта и импорта различной продукции, отдачу от факторов производства в Иране и в ряде других регионов. В [4] с помощью предложенной гравитационной эконометрической модели исследуется влияние санкций (которые налагали США в XX веке на 49 стран) на двустороннюю торговлю между парами стран. В [5] рассматриваются влияния наложения санкций ООН на Северную Корею и наложения санкций России на валовый внутренний продукт (ВВП) Грузии, объемы экспорта и импорта и выпуск отраслей транспортных услуг ряда регионов. Расчеты выполнялись с помощью динамической версии вычислимой модели общего равновесия GTAP [6] для временного промежутка 2006-2008 годов. В [7] с помощью предложенной эконометрической модели оценивается влияние на рынки мясной продукции продовольственного эмбарго и экономических санкций, наложенных на Россию. Приводятся прогнозные данные до 2019 года. Работа [8] посвящена эмпирическим оценкам результатов на уровне фирм от наложения санкций на Россию в 2014 году со стороны США и Евросоюза. С помощью предложенной эконометрической модели получены оценки операционного дохода, величины активов и количества работников ряда фирм США и Евросоюза. В работе [9] оцениваются последствия от наложенных на Россию санкций на обменный курс доллара США к рублю с помощью предложенной эконометрической модели ADL (Arthur D. Little), учитывающей динамику мировой цены на нефть. В [10] используется модель IS-LM-VP и модель векторной авторегрессии VECM для оценки влияния наложенных санкций на основные макроэкономические показатели России: предложение денег, рыночную процентную ставку по кредитам, международные резервы, курс доллара, инвестиции в РФ, импорт и экспорт, а также инфляцию и ВВП.

Анализ этих и других доступных источников выявил отсутствие описания подходов к определению оптимальных значений инструментов бюджетно-налоговой и торговой политики стран экономического союза, позволяющих противодействовать торговым санкциям, введенным против конкретной страны – члена этого экономического союза.

Основной целью данного исследования является проверка предположения о том, что оптимальные (в смысле критериев некоторых задач динамической оптимизации) значения инструментов торговой и

бюджетно-налоговой политики стран экономического союза позволяют существенно сократить в среднесрочном периоде отрицательные макроэкономические последствия от экономических санкций, наложенных на одну из стран этого союза. Другая цель работы состоит в подтверждении предположения, что оптимальные значения указанных инструментов торговой и бюджетно-налоговой политики задачи динамической оптимизации, определяющей согласованную политику на уровне экономического союза, дают больший макроэкономический эффект для каждой страны этого союза по сравнению с соответствующими оптимальными значениями инструментов, полученными в результате решения аналогичной задачи на уровне этой страны.

Для достижения указанных целей предлагается разработанная авторами на базе статической модели *Globe1* [11] динамическая глобальная вычислимая модель общего равновесия (далее Модель). В качестве исходных данных Модели использовались построенные с помощью разработанных алгоритмов наборы матриц социальных счетов (SAM) для 9 регионов, охватывающих мировую экономику, и каждый год исторического и прогнозного периодов расчета Модели (2004-2022 гг.).

Модель и полученные на ее базе результаты успешно протестированы на возможность их практического применения тремя подходами, включая подходы теории параметрического регулирования по оценке устойчивости отображений, задаваемых Моделью, и показателей устойчивости таких отображений [12].

Смоделированы экономические последствия от введения дополнительных экономических санкций в 2019 году со стороны ряда стран (США, ЕС и др.) в отношении России – одного из государств Евразийского Экономического Союза (ЕАЭС). Рассчитано влияние указанных санкций на подвергшееся им государство (Россию), на другие страны ЕАЭС, включающего помимо России еще и Казахстан, Беларусь, Киргизию и Армению, а также воздействие этих санкций на США, ЕС, Китай и остальной мир. С использованием теории параметрического регулирования [12] на базе Модели сформулирован и решен ряд задач динамической оптимизации, которые направлены на противодействие негативным влияниям санкций на экономики государств-членов ЕАЭС путем нахождения оптимальных значений инструментов бюджетно-налоговой и торговой политики на уровне как отдельных стран, так и согласованной политики в рамках ЕАЭС. Продемонстрировано, что решение поставленной оптимизационной задачи на уровне ЕАЭС дает больший эффект для каждой страны ЕАЭС по сравнению с решением аналогичной задачи на уровне этой страны.

2. Краткое описание этапов построения Модели. Модель была построена в результате выполнения следующих основных шагов:

- 1) Разработка содержательного описания мировой экономики.
- 2) Построение Модели на основе содержательного описания и ее загрузка в среду GAMS [13].
- 3) Выбор составов Регионов, отраслей экономики, исторического и прогнозного периодов расчета Модели.
- 4) Формирование базы исходных данных Модели (матриц социальных счетов; коэффициентов эластичности замещения и др.).
- 5) Привязка Модели к исходным данным.

Далее кратко опишем некоторые результаты реализации указанных шагов.

3. Разработка содержательного описания мировой экономики.

Перечислим вначале некоторые предпосылки содержательного описания.

Мировая экономика представлена в виде функционирования следующих взаимодействующих агентов каждого из R ее регионов [11, 15]:

- N производителей (отраслей);
- домашнее хозяйство;
- государство.

Агент-регион Globe импортирует транспортные услуги из всех регионов и экспортирует их во все регионы при импорте каждого вида товаров из каждого региона в каждый другой регион. То есть импортер каждой партии товара оплачивает ее стоимость экспортеру этой партии и оплачивает Globe стоимость транспортных услуг по ее перевозке, эти транспортные услуги Globe импортирует из других регионов.

Общее количество агентов мировой экономики: $R(N + 2) + 1$.

Перечислим основные функции указанных агентов.

Агент-производитель в процессе своей деятельности ежегодно:

- осуществляет выпуск одного, соответствующего названию отрасли вида продукции (из условия минимизации затрат);
- производит валовую добавленную стоимость (на основе использования факторов труда и капитала домохозяйств);
- экспортирует часть выпущенной продукции (из условия максимизации прибыли);
- импортирует промежуточную продукцию из других регионов и потребляет ее;
- выплачивает чистые налоговые отчисления своему государству.

Агенты-производители решают следующие оптимизационные задачи:

- минимизация издержек на приобретение промежуточной продукции и себестоимости валовой добавленной стоимости (ВДС) отрасли при заданном выпуске продукции;

- минимизация издержек на приобретение факторов производства при заданном выпуске конечной продукции;
- максимизация прибыли от реализации внутри региона и за его пределами при заданном выпуске продукции;
- максимизация прибыли от экспорта в различные регионы при заданном уровне экспорта продукции.

Агент-домохозяйство в процессе своей деятельности ежегодно:

- получает доход от производителей на основе спроса на принадлежащие ему факторы производства со стороны производителей своего региона;
- потребляет продукцию всех регионов (согласно решению задачи максимизации своей функции полезности при бюджетном ограничении);
- на основе своих доходов и потребления осуществляет сбережения в виде инвестиционной продукции;
- выплачивает чистые налоговые отчисления государству своего региона.

Государство каждого региона в процессе своей деятельности ежегодно:

- определяет эффективные налоговые ставки и получает доход в виде чистых налоговых поступлений (включая поступления от таможенных пошлин);
- потребляет конечную продукцию (государственные расходы);
- на основе своих доходов и расходов осуществляет сбережения в виде инвестиционной продукции.

Агенты отраслей, домохозяйств и государства ежегодно совместно решают следующие оптимизационные задачи:

- определение оптимальной доли импорта в потреблении каждого вида продукции из условия минимума затрат на отечественную и импортную составляющие этой продукции;
- определение оптимальной региональной структуры каждого вида импортной продукции из условия минимума затрат на этот вид импортной продукции.

Содержательное описание экономики Модели включает постановку вышеперечисленных оптимизационных задач с соответствующими условиями первого порядка, другие уравнения, описывающие функции агентов, балансовые соотношения цен и количеств (здесь количество – это стоимость продукции в ценах продавца), внутренних балансов на счетах государства и внешних балансов на торговых счетах.

В Модели используется система составных эндогенных цен на все виды продукции каждого региона, включающая цены покупателя и

продавца, цены экспортера и импортера и так далее. Расчетные значения цен гарантируют выполнение ежегодных балансовых соотношений, обеспечивающих:

- равновесие на рынках факторов труда и капитала;
- равновесие на рынках каждого вида продукции;
- двухсторонние текущие платежные балансы для каждой пары регионов;
- равновесие сбережений (домохозяйств, государств) и их инвестиций в отрасли регионов.

Содержательное описание по сравнению с базовым вариантом *Globe1* [11] развито путем описания следующих переменных с помощью динамических уравнений: технологические коэффициенты производственных функций для валовых добавленных стоимостей всех отраслей регионов, предложения факторов труда и капитала домохозяйствами регионов.

4. Построение Модели. Модель мировой экономики построена на базе указанного ранее содержательного описания. Модель представлена нелинейной системой уравнений, включающей условия первого порядка всех оптимизационных задач агентов и другие правила деятельности (поведения) агентов, в том числе уравнения, которые задают динамику технологических коэффициентов производственных функций и предложений факторов труда и капитала. Также в математическую Модель включены балансовые и вспомогательные уравнения. Далее проведено замыкание Модели: все ее переменные были разделены на два класса – эндогенные и экзогенные.

Все записанные на языке GAMS [12] уравнения математической Модели загружены в эту среду в составе основного модуля расчета Модели. Разработанный модуль калибровки позволяет вычислять все базовые значения переменных Модели на основе ее исходных данных с помощью специальных выражений [11, 15].

5. Выбор составов регионов, отраслей экономики, исторического и прогнозного периодов расчета Модели. Состав регионов следующий: члены Евразийского экономического союза (Россия, Казахстан, Беларусь, Армения, Киргизия), а также их основные торговые партнеры (Европейский союз (в виде одной страны); США; Китай и остальной мир (в виде одной страны)).

Выбранный состав производственных отраслей, охватывающих экономику каждого модельного региона, содержит следующие 16 отраслей, наиболее значимых для экономик стран ЕАЭС.

- 1) Добыча полезных ископаемых (кроме нефти и газа) – *ming*.
- 2) Добыча сырой нефти и газа – *crog*.

- 3) Металлообрабатывающее производство и машиностроение – *mere*.
- 4) Metallургическое производство – *mind*.
- 5) Образование, здравоохранение, государственное управление – *ehas*.
- 6) Производство и передача электроэнергии, газа и горячей воды – *regw*.
- 7) Производство продуктов питания, напитков и табачных изделий – *frin*.
- 8) Профессиональная, научная и техническая деятельность – *psta*.
- 9) Прочие отрасли промышленности – *otis*.
- 10) Прочие услуги – *oths*.
- 11) Сельское, лесное и рыбное хозяйства – *agff*.
- 12) Строительство – *buil*.
- 13) Производство текстильных изделий, одежды, кожаной и относящейся к ней продукции – *mtal*.
- 14) Финансовые услуги – *fins*.
- 15) Химическое и нефтехимическое производство – *chpp*.
- 16) Транспорт – *tser*.

Период расчета Модели (2004-2022 гг.) определяется доступными значениями матриц SAM из базы GTAP [13] (2004, 2007, 2011 гг.) и горизонтом прогнозов основных макроэкономических показателей, предоставляемых Международным валютным фондом (МВФ) [14] (2022 г.).

6. Формирование базы исходных данных Модели. Ядром базы данных Модели являются наборы согласованных матриц социальных счетов каждого региона и для каждого рассматриваемого года (2004-2022). Каждая SAM является квадратной, удовлетворяющей основному свойству: суммарный (последний) элемент в каждой ее строке равен суммарному (последнему) элементу соответствующего столбца. Общий вид SAM и подробное ее описание можно найти в [15]. Ниже перечислены обозначения всех блоков SAM, их размерности и данные, соответствующие элементам таких блоков.

– *B1* – матрица размера 16×16 : использование промежуточной продукции *c* отраслью *a*;

– *H1* – матрица размера 16×10 : экспорт продукции *c* в регион *r*;

– *P1* – столбец из 16 элементов: потребление продукции *c* домохозяйствами;

– *M1* – столбец из 16 элементов: потребление продукции *c* государством;

– *N1* – столбец из 16 элементов: валовое накопление продукции *c*;

– *O1* – столбец из 16 элементов: общий спрос на продукцию *c*;

- A2 – диагональная матрица размера 16×16 : выпуск продукции c отраслью a ;
- O2 – столбец из 16 элементов: общий выпуск продукции c ;
- B3 – матрица размера 2×16 : затраты на использование фактора f отраслью a ;
- O3 – столбец из 2 элементов: общий доход по фактору f ;
- A4 – матрица размера 10×16 : поступления от пошлин на импорт продукции c из региона r ;
- O4 – столбец из 10 элементов: общие поступления от пошлин на импорт из региона r ;
- A5 – матрица размера 10×16 : поступления от пошлин на экспорт продукции c в регион r ;
- O5 – столбец из 10 элементов: общие поступления от пошлин на экспорт в регион r ;
- B6 – матрица размера 2×16 : поступления от налога на использование фактора f отраслью a ;
- O6 – столбец из 2 элементов: общие поступления от налога на использование фактора f ;
- A7 – матрица размера 10×16 : транспортная наценка на импорт продукции c из региона r ;
- O7 – столбец из 10 элементов: общие наценки на импорт из региона r ;
- A8 – матрица размера 10×16 : импорт продукции c из региона r ;
- G8 – матрица размера 10×16 , у которой 9 верхних строк нулевые: транспортная наценка на импорт из региона $r = \text{Globe}$;
- O8 – столбец из 10 элементов: общий импорт из региона r ;
- C9 – строка из 2 элементов: доход домохозяйств по фактору f ;
- O9 – элемент: общий доход домохозяйств;
- A10 – строка из 16 элементов: поступления от налога с продаж продукции c ;
- O10 – элемент: общие поступления от налога с продаж;
- B11 – строка из 16 элементов: поступления от косвенного налога с отрасли a ;
- O11 – элемент: общие поступления от косвенного налога с отраслей;
- C12 – строка из 2 элементов: поступления от налога на доход по фактору f ;
- I12 – элемент: поступления от налога на доход домохозяйств;
- O12 – элемент: общие поступления от налогов на доходы домохозяйств;

- D13 – строка из 10 элементов: поступления от пошлин на импорт из региона r ;
- E13 – строка из 10 элементов: поступления от пошлин на экспорт в регион r ;
- F13 – строка из 2 элементов: поступления от налога на использование фактора f ;
- J13 – элемент: поступления от налога с продаж;
- K13 – элемент: поступления от косвенного налога с отраслей;
- L13 – элемент: поступления от налогов на доходы домохозяйств;
- O13 – элемент: общие государственные доходы;
- C14 – строка из 2 элементов: амортизация фактора f ;
- N14 – строка из 10 элементов: сбережения региона r в данном регионе;
- P14 – элемент: сбережения домохозяйств;
- M14 – элемент: сбережения государства;
- O14 – элемент: общие сбережения;
- A15 – строка из 16 элементов: общее предложение продукции c ;
- B15 – строка из 16 элементов: общие затраты отрасли a ;
- C15 – строка из 2 элементов: общие затраты на фактор f ;
- D15 – строка из 16 элементов: общие затраты на пошлины на импорт из региона r ;
- E15 – строка из 16 элементов: общие затраты на пошлины на экспорт в регион r ;
- F15 – строка из 2 элементов: общие затраты на налог на использование фактора f ;
- G15 – строка из 10 элементов: общие затраты на наценки на импорт из региона r ;
- H15 – строка из 10 элементов: общие затраты на экспорт в регион r ;
- I15 – элемент: общие расходы домохозяйств;
- J15 – элемент: общие затраты на налог с продаж;
- K15 – элемент: общие затраты на косвенный налог с отраслей;
- L15 – элемент: общие затраты на налоги на доходы домохозяйств;
- M15 – элемент: общие расходы государства;
- N15 – элемент: общие инвестиции.

Наборы SAM для 2004, 2007 и 2011 годов были извлечены с помощью специального преобразователя из базы данных GTAP [13]. Для прочих годов (2005, 2006, 2008-2010 и 2012-2015) исторического периода искомые наборы SAM были рассчитаны с помощью разработанно-

го набора алгоритмов [15] на базе доступных статистических источников, содержащих симметричные таблицы затраты-выпуск [16], показателей взаимной торговли, предоставляемых World Integrated Trade Solution (WITS) [17], с использованием базовых соотношений, рассчитанных с помощью известных SAM для ближайшего последнего года (2004, 2007 или 2011). Для прогнозного периода (2016-2022 гг.) использовался разработанный алгоритм, позволяющий рассчитать указанные наборы SAM на базе следующих прогнозных показателей регионов, предоставляемых МВФ [14]: ВВП, общие инвестиции, объем импорта товаров, объем импорта услуг; объем экспорта товаров, объем экспорта услуг, общие государственные доходы, общие государственные расходы, обменный курс валюты к доллару США. При этом использовались базовые соотношения, рассчитанные с помощью полных наборов SAM для 2015 года.

Ниже приводятся шаги основного укрупненного алгоритма нахождения всех указанных выше (привязанных к выбранным составам регионов, отраслей, факторов и расчетных годов) наборов SAM модельных регионов.

1) Наборы SAM всех регионов для 2004, 2007 и 2011 годов извлекаются из базы GTAP [13].

2) Для расчетного года $t \neq 2004, 2007$ и 2011 (для которого имеются данные предоставляемых WITS [17]) на основе этих данных строятся согласованные данные по международной торговле всех регионов Модели с помощью разработанного алгоритма блока международной торговли (БМТ) с использованием таблиц затрат-выпуск (ТЗВ) отдельных регионов (в случае их доступности) и SAM предшествующего базового года t_0 (последнего года, для которого имеются SAM, извлеченные из базы GTAP). Используемые здесь и далее таблицы затраты-выпуск предварительно преобразуются к виду, соответствующему выбранной структуре отраслей экономики с помощью алгоритма ТЗВ2. Здесь применение алгоритма ТЗВ2 позволяет агрегировать строки и столбцы симметричной таблицы затраты-выпуск для их соответствия выбранной структуре 16 отраслей (и соответствующих 16 видов продукции) и пересчитать все элементы получившейся таблицы в миллионах долларов США по среднегодовому обменному курсу. Применение алгоритма БМТ позволяет получить таблицы взаимного экспорта-импорта товаров и услуг для каждой пары модельных регионов на базе данных WITS путем устранения имеющихся противоречий в используемых данных из этой базы и с использованием данных по торговле из базы GTAP для последнего доступного года.

3) Для указанного в шаге 2 года t , для которого доступна таблица затраты-выпуск для одного из регионов Модели, находятся данные бло-

ков международной торговли (H1, A7 и A8) SAM всех регионов Модели с помощью укрупненных шагов 1 и 2 разработанного алгоритма 1А. Применение алгоритма 1А позволяет оценить данные по взаимной торговле для каждой пары модельных регионов и по каждому из 16 видов модельных товаров и услуг, а также соответствующие величины торгово-транспортных наценок при торговле каждого вида товарами. При его реализации используются результаты, полученные с помощью алгоритма БМТ, и извлеченные из базы GTAP [15] доли во взаимном экспорте-импорте каждого вида товаров и услуг в общих величинах взаимной торговли товарами и услугами для последнего доступного года t_0 .

4) Для указанного в шаге 2 года t , для которого недоступны таблицы затраты-выпуск для регионов, находятся данные блоков международной торговли (H1, A7 и A8) SAM всех регионов Модели с помощью укрупненных шагов 3 и 4 указанного выше алгоритма 1А.

5) Для указанного в шаге 2 года t определяются все не определенные ранее элементы SAM региона r (с доступной таблицей затраты-выпуск данного региона) на базе таблицы затраты-выпуск, преобразованной с помощью алгоритма ТЗВ2 и алгоритма 1Б. Применение алгоритма 1Б позволяет получить все указанные элементы SAM путем использования элементов преобразованной таблицы затраты-выпуск и базовых соотношений между элементами соответствующей SAM, извлеченной из базы GTAP для последнего доступного года t_0 .

6) Для указанного в шаге 2 года t определяются все не определенные ранее элементы SAM региона r (при неиспользовании таблицы затраты-выпуск данного региона) на базе основных макроэкономических показателей (ВВП; общие инвестиции; общие государственные доходы; общие государственные расходы) и с применением сценарного расчета статической модели Globe1 для указанного выше года t_0 . Для этого расчета используется вариант Globe1 с замыканием, применяющим указанные выше экзогенные показатели (элементы H1, A7, A8 и указанные макроэкономические показатели).

7) Набор SAM всех Регионов для прогнозного года t (для которого отсутствуют таблицы затраты-выпуск и данные международной торговли WITS), определяются на основе прогнозных значений основных макроэкономических показателей регионов, предоставляемых МВФ [14] (ВВП; общие инвестиции; объем импорта товаров; объем импорта услуг; объем экспорта товаров; объем экспорта услуг; общие государственные доходы; общие государственные расходы) и с применением сценарного расчета статической модели Globe1 для указанного выше года t_0 . Для этого расчета используется вариант Globe1 с замыканием, применяющим указанные макроэкономические показатели в качестве экзогенных переменных.

Более подробное изложение упомянутых вспомогательных алгоритмов можно найти в [15].

7. Привязка Модели к исходным данным и базовый расчет.

После формирования наборов SAM всех модельных регионов для всех расчетных годов в пятом шаге построения Модели (см. раздел 2) была осуществлена привязка Модели к выбранным регионам, секторам экономики, периоду расчета, сформированной базе SAM и другим исходным данным. Решение откалиброванной системы уравнений Модели (расчет Модели) производится с помощью программного обеспечения, реализованного в интегрированной среде разработки GAMS с применением встроенного решателя PATH [18]. Результаты расчета полученного базового сценария откалиброванной Модели в точности воспроизводят статистические и прогнозные данные, используемые при построении указанных выше наборов SAM. Подробное описание разработанной Модели и некоторые результаты ее применения приводятся в [15].

8. Тестирование Модели. Модель протестирована на возможность ее практического применения с помощью следующих трех подходов, первые два из которых предложены в рамках теории параметрического регулирования [15].

8.1. Оценки устойчивости гладких отображений, задаваемых Моделью. Наличие свойства устойчивости гладкого отображения $f: A \rightarrow B$, переводящего значения экзогенных параметров $p \in A$ в решения (значения эндогенных переменных) свидетельствует о сохранении качественных свойств этого отображения при его малых изменениях (см. [19]). Эта монография содержит ряд теорем, дающих достаточные условия такой устойчивости для случаев иммерсии, субмерсии и субмерсии со складкой. Для численной оценки выполнения условий этих теорем предложен соответствующий набор алгоритмов [15]. В состав данного набора входят следующие алгоритмы.

1) Алгоритм 1 оценки множества сингулярных точек $S(f)$ отображения f в параллелепипеде A . Данный алгоритм основан на разбиении параллелепипеда A на малые элементарные параллелепипеды и на оценке знаков миноров максимального порядка матрицы Якоби отображения f во всех вершинах элементарных параллелепипедов.

В случаях, когда $\dim A \geq \dim B$ и когда множество $S(f)$ оценивается как пустое, исследуемое отображение f оценивается как устойчивая субмерсия.

2) Алгоритм 2 оценки инъективности отображения f . Этот алгоритм применяется в случае, когда $\dim A < \dim B$ и когда множество $S(f)$ оценивается как пустое. Если применение алгоритма 2 оценива-

ет иммерсию f как инъективное отображение, то отображение f оценивается в A как устойчивое.

3) Алгоритм 3 оценки отображения f как субмерсии со складкой. Этот алгоритм применяется в случае, когда $\dim A \geq \dim B$ и когда множество $S(f)$ оценивается как непустое.

Алгоритм 3 основан на проверке выполнения:

- условия $\text{rank}(f) = \dim B - 1$ для всех сингулярных точек отображения f ;

- условия трансверсальности 1-струи отображения f и подмногожества, состоящего из 1-струй коранга 1 в пространстве всех 1-струй гладких отображений из A в B ;

- условия, что размерность суммы касательного пространства к многообразию $S(f)$ и ядра касательного отображения df во всех точках множества $S(f)$ совпадает с $\dim B$.

4) Алгоритм 4 оценки отображения f как устойчивой субмерсии со складкой. Этот алгоритм применяется в случае, когда $\dim A \geq \dim B$ и когда множество $S(f)$ оценивается как складка. Алгоритм 4 основан на оценке инъективности ограничения отображения f на его складку $S(f)$.

Вышеперечисленные алгоритмы были реализованы в виде программного модуля в среде GAMS, позволяющего оценить устойчивость определяемых с помощью оцененной Модели отображений f для различных сценариев (включая оптимальные, рассматриваемые далее в разделе 10).

В качестве примера в экспериментах для базового сценария рассматривались отображения вида $f: A \rightarrow B$ с $\dim A = 5$ и $\dim B = 9$, где в качестве аргументов отображения f брались значения ставок налогов на добавленную стоимость пяти стран ЕАЭС (Казахстан, Россия, Беларусь, Армения, Киргизия) для 2015 года, а в качестве выходных переменных отображения f брались значения ВВП всех 9 регионов Модели для 2022 года. Границы пятимерного параллелепипеда A с центром в точке $p = (p_1, \dots, p_i)$, соответствующей базовым значениям указанных ставок налогов, отстоят от значений p_i на величину $0,5p_i$. Следует отметить, что время расчета реализованных алгоритмов по оценке устойчивости отображений растет примерно в геометрической прогрессии при увеличении размерности $\dim A = 5$. Это обстоятельство ограничивает применение данного

подхода, поэтому для получения приемлемого времени счета был выбран набор наиболее важных факторов, используемых при решении на базе Модели конкретных задач макроэкономического анализа или параметрического регулирования.

Результаты проведенных численных экспериментов продемонстрировали отсутствие особых точек рассматриваемого отображения f в параллелепипеде A и устойчивость этой иммерсии.

8.2. Оценки показателей устойчивости отображений, задаваемых Моделью. Показателем устойчивости $\beta_f(p)$ задаваемого Моделью отображения $f: A \rightarrow B$ в точке $p \in A$ для выбранного положительного числа α называется диаметр образа (при отображении f шара радиуса α с центром в точке p (в относительных величинах)). Если для всех точек $p \in A$ численная оценка величины $\beta_f(p) = \lim_{\alpha \rightarrow 0} \beta_f(p, \alpha)$ равномерно близка к нулю, то отображение f , задаваемое исследуемой Моделью, оценивается на множестве A как непрерывно зависящее от экзогенных значений [20].

В экспериментах с Моделью в качестве множества A рассматривался параллелепипед с центром в точке p , соответствующей базовым значениям всех ставок налогов всех регионов для 2016 года, а в качестве множеств B эндогенных переменных – ВВП, экспорты, импорты, всех регионов Модели для фиксированного расчетного года t (от 2016 до 2022). В качестве примера в таблице 1 приведены расчетные значения показателей $\beta_f(p, 0,01)$ устойчивости Модели (в процентах) для базовой точки p и $\alpha = 0,01$.

Таблица 1. Значения показателей устойчивости для базового расчета Модели

| Год t | | | | |
|---------|--------|--------|--------|-----------|
| 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020-2022 |
| 0,7652 | 0,2496 | 0,0259 | 0,0033 | 0,0000 |

Указанные в таблице 1 оценки показателей устойчивости характеризуют устойчивость Модели (в смысле рассматриваемых показателей устойчивости) при расчетах до 2022 года как достаточно высокую.

8.3. Проведение контрфактических и прогнозных сценариев. Согласно известной макроэкономической теории (см., например [21]), уменьшение взимаемых с производителей и потребителей налогов, а также увеличение спроса государства на потребительскую продукцию приводит к увеличению выпуска и ВВП страны. В рамках тестирования Модели на ее базе были рассчитаны контрфактические и прогнозные сценарии для оценки выполнения данного положения теории. В

частности, был проведен сценарий с 10 % уменьшением эффективных ставок налогов на добавленные стоимости, налогов на доходы производителей и 10% увеличением государственного потребления в каждой стране ЕАЭС. Результаты расчета данного сценария продемонстрировали: изменение ВДС каждой отрасли в соответствующей стране в пределах от 3,85 % до 6,16 % и увеличение ВВП всех регионов в пределах от 0,0279 % в 2009 году для мировой экономики до 0,7715 % в 2012 году для ЕАЭС по сравнению с наблюдаемыми данными.

Приведенные выше результаты трех методов тестирования позволяют сделать вывод об успешной верификации исследуемой Модели.

9. Сценарный анализ. На базе Модели рассчитан гипотетический сценарий по введению новых торговых санкций в отношении России со стороны США, Европейского союза и остального мира в 2019 году путем увеличения эффективных ставок экспортных пошлин на всю продукцию, поставляемую из указанных регионов в Россию на 25 процентных пунктов по сравнению с соответствующими базовыми прогнозными значениями (далее – Сценарий). Результаты расчета воздействия таких санкций на экономики модельных регионов в виде процентных изменений их ВВП по сравнению с соответствующими базовыми прогнозными значениями, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Изменения ВВП регионов в процентах в результате осуществления Сценария

| Регион (страна) r | Год | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Россия | -2,7082 | -3,3605 | -3,9285 | -4,4425 |
| Казахстан | -0,0634 | -0,0892 | -0,1024 | -0,1161 |
| Беларусь | 0,2194 | 0,0017 | -0,2129 | -0,3963 |
| Киргизия | -0,6384 | -0,7315 | -0,8128 | -0,8935 |
| Армения | 0,0044 | -0,0362 | -0,1087 | -0,1337 |
| Китай | 0,0028 | 0,0021 | 0,0009 | -0,0006 |
| США | -0,0179 | -0,0203 | -0,0224 | -0,0243 |
| Европейский союз | -0,1467 | -0,1491 | -0,1559 | -0,1652 |
| Остальной мир | -0,0444 | -0,0444 | -0,0455 | -0,0472 |

Анализ результатов, представленных в таблице 2, демонстрирует отрицательный или приблизительно нейтральный эффект от введения санкций на экономику всех регионов, при этом наибольшее отрицательное воздействие ожидаемо приходится на экономику России. Также следует отметить отрицательную динамику влияния Сценария на все регионы.

В таблице 3 приведены расчетные изменения валовых добавленных стоимостей отраслей России и Казахстана (в процентах по сравнению с базовым прогнозом) в результате осуществления исследуемого сценария.

дуемого Сценария. Используемые обозначения отраслей в этой таблице и далее приведены в конце раздела 1.

Анализ представленных в таблице 3 результатов по России свидетельствует о том, что единственной отраслью экономики, для которой введение новых санкций дает положительный уменьшающийся эффект в течение первых трех лет, является мере (Металлообрабатывающее производство и машиностроение). Этот эффект можно объяснить относительной незначительностью импортной составляющей в промежуточном и инвестиционном потреблении этой отрасли и уменьшением конкуренции для ее продукции на внутреннем рынке со стороны импорта. Негативнее всего осуществление Сценария сказывается на следующих отраслях: ming, crog (добыча полезных ископаемых), buil (строительство), pegw (производство и передача электроэнергии, газа и горячего воды), ehas (образование, здравоохранение, государственное управление). Это можно объяснить большей по сравнению с остальными отраслями зависимостью производства от импортной продукции.

Таблица 3. Изменения ВДС отраслей России и Казахстана в процентах в результате осуществления Сценария

| Отрасль | Страна | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|--------|--------|
| | Россия | | | | Казахстан | | | |
| | Год | | | | Год | | | |
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| ming | -4,306 | -4,955 | -5,536 | -6,079 | 1,694 | 1,553 | 1,409 | 1,352 |
| crog | -4,313 | -4,716 | -5,058 | -5,378 | -0,895 | -0,868 | -0,839 | -0,899 |
| mere | 1,949 | 0,933 | 0,084 | -0,647 | -0,156 | -0,269 | -0,346 | -0,510 |
| mind | -2,341 | -2,964 | -3,477 | -3,954 | 0,902 | 0,766 | 0,628 | 0,535 |
| ehas | -3,031 | -3,867 | -4,609 | -5,275 | -0,079 | -0,108 | -0,122 | -0,137 |
| pegw | -3,034 | -3,973 | -4,773 | -5,488 | -0,053 | -0,0819 | -0,101 | -0,120 |
| fpin | -2,465 | -3,170 | -3,767 | -4,303 | -0,025 | -0,052 | -0,070 | -0,090 |
| psta | -0,794 | -1,419 | -1,923 | -2,370 | -0,498 | -0,553 | -0,582 | -0,643 |
| otis | -0,929 | -1,843 | -2,631 | -3,322 | 0,180 | 0,106 | 0,051 | -0,020 |
| oths | -3,133 | -3,618 | -4,058 | -4,467 | -0,088 | -0,106 | -0,115 | -0,122 |
| agff | -1,682 | -2,526 | -3,215 | -3,812 | -0,090 | -0,121 | -0,143 | -0,166 |
| buil | -4,374 | -4,951 | -5,549 | -6,104 | -0,100 | -0,123 | -0,133 | -0,134 |
| mtal | -1,637 | -2,562 | -3,340 | -4,033 | 0,117 | 0,041 | -0,027 | -0,072 |
| fins | -0,877 | -1,887 | -2,701 | -3,403 | -0,104 | -0,136 | -0,155 | -0,176 |
| chpp | -2,161 | -2,867 | -3,449 | -3,967 | 0,456 | 0,453 | 0,454 | 0,377 |
| tser | -2,255 | -3,017 | -3,639 | -4,205 | -0,283 | -0,338 | -0,346 | -0,343 |

Анализ представленных в таблице 3 результатов по Казахстану свидетельствует о положительном влиянии Сценария на ВДС отраслей ming (добыча полезных ископаемых (кроме нефти и газа)),

mind (металлургическое производство), chpp (химическое и нефтехимическое производство). Это можно объяснить повышением спроса на продукцию указанных отраслей вследствие уменьшения производства соответствующей продукции в России. Влияние Сценария на ВДС остальных отраслей Казахстана существенно меньше, что объясняется незначительностью взаимодействия соответствующих отраслей на общих с Россией рынках.

10. Решение задач параметрического регулирования по противодействию политике торговых санкций. Для достижения сформулированных во введении целей исследования рассматривался ряд задач динамической оптимизации (задачи параметрического регулирования P_r). Здесь $r=1, \dots, 5$ соответствует такой задаче на уровне одной r -й страны ЕАЭС ($r=1$ соответствует России, $r=2$ – Казахстану, $r=3$ – Беларуси, $r=4$ – Киргизии, $r=5$ – Армении); $r=0$ соответствует задаче выработки согласованной политики на уровне всех пяти стран ЕАЭС.

В рассматриваемых задачах P_r векторами регулирующих параметров $u_r(t)$ для $r \in \{1, \dots, 5\}$ и $t = 2019, \dots, 2022$ являются векторы с координатами: (модельные, относящиеся к стране r и году t , дифференцированные по видам продукции и отраслям эффективные) ставки налога на доходы производителей, налога на использование факторов, индивидуального подоходного налога, налога с продаж, таможенных пошлин на экспорт в регионы вне ЕАЭС, а также налога с домохозяйств; доли государственных расходов, идущих на потребление. Для $r=0$ регулируемыми параметрами $u_0(t)$ являются все указанные выше инструменты государственной политики пяти стран ЕАЭС, дополненные пошлинами на импорт из регионов вне ЕАЭС.

Пусть $U_r(t)$ – параллелепипед с центром в точке базовых значений $u_r(t)$ и с границами, отстоящими на 5 процентных пунктов от соответствующих базовых значений ставок и долей. Для $r \in \{1, \dots, 5\}$ модельная переменная K_r есть суммарный ВВП страны r за период 2019-2022 годов; K_0 – суммарный ВВП 5 стран ЕАЭС за указанный период.

Постановка задачи P_r , $r \in \{0, 1, \dots, 5\}$.

Дано: оцененная Модель с реализованным Сценарием, далее – Модель 1 (см. раздел 9).

На базе Модели 1 найти: значения $u_r(t) \in U_r(t)$ для $t = 2019, \dots, 2022$, которые обеспечивают максимальное значение критерия K_r .

В задаче P_0 дополнительно предполагается, что соотношения между эффективными ставками импортных пошлин для стран ЕАЭС при торговле с третьими странами остаются постоянными и равными соответствующим базовым значениям (сохранение единой политики ЕАЭС по импортным пошлинам).

Сформулированные задачи P_r были решены численным методом с использованием решателя NLPEC [22]. Некоторые результаты решений указанных задач приведены ниже в таблицах 4-6.

Таблица 4 представляет процентные изменения ВВП регионов по сравнению с соответствующими сценарными значениями в результате реализации решения задачи P_0 .

Анализ полученных результатов показывает, что в результате параметрического регулирования P_0 ВВП России сможет компенсировать в 2021 году более половины падения ВВП, определяемого Сценарием. В результате реализации решения задачи P_0 ВВП остальных стран ЕАЭС превышают как Сценарные, так и базовые соответствующие значения ВВП. Влияние решения задачи P_0 на регионы вне ЕАЭС ожидаемо малы.

Таблица 4. Процентные изменения значений ВВП регионов в результате решения задачи P_0

| Регион (страна) r | Год | | | |
|---------------------|--------|--------|---------|--------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Россия | 0,7522 | 1,6328 | 3,1698 | 2,8554 |
| Казахстан | 3,6521 | 3,7598 | 3,4292 | 3,2986 |
| Беларусь | 4,7749 | 5,1289 | 4,8060 | 2,9045 |
| Киргизия | 3,7505 | 3,9702 | 3,7886 | 3,6597 |
| Армения | 2,6838 | 2,7282 | 3,8043 | 3,6322 |
| Китай | 0,0015 | 0,0021 | 0,0022 | 0,0021 |
| США | 0,0025 | 0,0032 | 0,0009 | 0,0030 |
| Европейский союз | 0,0037 | 0,0055 | 0,0025 | 0,0069 |
| Остальной мир | 0,0034 | 0,0034 | -0,0017 | 0,0008 |

Результаты расчетов показывают, что для каждой страны r ЕАЭС решение задачи P_0 (на уровне всех стран ЕАЭС) оказывает на рост ВВП этой страны большее воздействие по сравнению с решением задачи P_r на уровне одной этой страны. Этот факт частично проиллюстрирован в следующей таблице 5, где представлены процентные изменения ВВП России и Казахстана относительно соответствующих Сценарных значений.

Таблица 5. Процентные изменения значений ВВП России и Казахстана в результате решения задач P_1 , P_2 и P_0

| Задача | Страна r | Год | | | |
|--------|------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| P_1 | Россия | 0,5801 | 1,4605 | 3,0466 | 2,4846 |
| | Казахстан | -0,0174 | -0,0140 | -0,0113 | -0,0221 |
| P_2 | Россия | 0,0014 | 0,0020 | 0,0016 | 0,0012 |
| | Казахстан | 3,0846 | 3,0533 | 2,9261 | 2,9083 |
| P_0 | Россия | 0,7522 | 1,6328 | 3,1698 | 2,8554 |
| | Казахстан | 3,6521 | 3,7598 | 3,4292 | 3,2986 |

В таблице 6 приведены изменения ВДС отраслей России и Казахстана (в процентах по сравнению с соответствующими Сценарными значениями) в результате реализации решения задачи P_0 .

 Таблица 6. Процентные изменения значений ВДС России и Казахстана в результате решения задачи P_0

| От- расль | Страна | | | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|
| | Россия | | | | Казахстан | | | |
| | Год | | Год | | Год | | Год | |
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| ming | -0,932 | 0,669 | 1,620 | 1,427 | -2,046 | -1,071 | -1,477 | -0,984 |
| crog | -0,680 | 0,919 | 0,894 | 0,261 | -1,843 | -0,914 | -1,094 | -0,747 |
| mepe | 0,517 | 1,383 | -0,233 | -1,966 | -0,235 | 0,045 | -0,070 | -0,116 |
| mind | 2,838 | 3,151 | 2,569 | 1,928 | -1,320 | -0,878 | -1,471 | -1,511 |
| chas | 7,434 | 11,480 | 21,643 | 16,199 | 5,612 | 7,982 | 9,584 | 9,277 |
| pegw | -2,055 | 1,113 | 1,626 | 0,487 | -5,535 | -4,479 | -3,827 | -3,167 |
| fpin | 1,037 | 2,547 | 3,192 | 2,172 | -0,040 | 0,318 | 0,285 | 0,020 |
| psta | 6,038 | 3,947 | 4,559 | -0,209 | 0,404 | 2,040 | 1,247 | 1,391 |
| otis | 2,128 | 4,688 | 2,087 | 0,752 | -1,931 | -1,092 | -1,311 | -1,284 |
| oths | -1,531 | -1,600 | -1,972 | -1,392 | -5,960 | -5,585 | -4,683 | -3,705 |
| agff | -0,177 | 1,014 | 0,850 | 0,873 | 0,837 | 0,616 | -0,414 | -0,913 |
| buil | 0,456 | 1,786 | 3,539 | 3,145 | 0,218 | 0,704 | 0,694 | 0,557 |
| mtal | 1,142 | 3,629 | 6,316 | 6,411 | -1,883 | -1,590 | -1,413 | -1,390 |
| fins | 2,636 | 4,461 | 5,679 | 4,835 | -0,942 | 0,151 | 0,223 | 0,1899 |
| chpp | 0,369 | 1,093 | 1,338 | 3,553 | -0,053 | 0,050 | -0,141 | -0,188 |
| tser | -2,400 | -0,780 | -0,528 | 0,577 | 7,552 | 4,590 | 3,033 | 1,436 |

Представленные в этой таблице результаты свидетельствуют о том, что при положительном влиянии параметрического регулирования P_0 на ВВП России и Казахстана в 2019-2022 годах, критерий этой задачи K_0 (суммарное ВВП стран ЕАЭС) оказывает разнонаправлен-

ное воздействие на ВДС отдельных отраслей России и Казахстана. При необходимости большей государственной поддержки отдельных перспективных отраслей стран ЕАЭС возможно применение варианта задачи P_0 с критерием, включающим как суммарное ВВП стран ЕАЭС, так и ВДС выбранных перспективных отраслей стран ЕАЭС.

Сценарные варианты Модели для полученных оптимальных значений инструментов были протестированы тремя методами, указанными в разделе 8, путем оценки устойчивости задаваемого Моделью отображения, оценок показателей устойчивости такого отображения и путем проведения отдельных прогнозных сценариев. Во всех случаях результаты расчетов продемонстрировали:

- отсутствие особых точек рассматриваемых отображений в соответствующих областях их определения и устойчивость этих отображений;
- допустимые значения оценок показателей устойчивости отображений;
- соответствие результатов прогнозных сценариев для 2019-2022 годов основным положениям макроэкономической теории.

Анализ представленных результатов показывает высокие потенциальные возможности подхода параметрического регулирования на уровне экономического союза для противодействия торговым санкциям как для страны, на которую такие санкции налагаются, так и для других стран, входящих в этот экономический союз.

11. Заключение. Представлены результаты построения глобальной многострановой динамической вычислимой Модели общего равновесия и подготовки набора ее исходных данных и сценарного анализа влияния новых экономических санкций, налагаемых на Россию на уровне экономик модельных регионов и отраслей экономики России и Казахстана на базе построенной Модели.

Поставлен и решен ряд задач параметрического регулирования, направленных на противодействие санкционному сценарию на уровне отдельных стран ЕАЭС и в целом. Получены оценки выполнения условий переноса на практику результатов вычислительных экспериментов на базе Модели с использованием методов теории параметрического регулирования.

Представленные результаты демонстрируют эффективность подхода теории параметрического регулирования по выработке рекомендаций для проведения согласованной бюджетно-налоговой и торговой политики стран ЕАЭС. Внедрение предлагаемого подхода определения указанных оптимальных значений инструментов в практику проведения согласованной бюджетно-налоговой и торговой политики стран ЕАЭС может в значительной степени нейтрализовать отрица-

тельное влияние антироссийских экономических санкций. В рамках развития данного исследования предлагается применить подход математического моделирования оптимальной согласованной политики стран ЕАЭС для оценки возможных экономических выгод ЕАЭС от торговых войн между другими странами.

Литература

1. *Haidar J.I.* Sanctions and Exports Deflection: Evidence from Iran // *Economic Policy* (CEPR). 2015. vol. 32. no. 90. pp. 319–355.
2. *Ianchovichina E., Devarajan S., Lakatos C.* Lifting Economic Sanctions on Iran. Global Effects and Strategic Responses // *The World Bank Group*. 2016. 35 p.
3. GTAP Models: Home. URL: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/models/default.asp> (дата обращения: 01.11.2019).
4. *Caruso R.* The Impact of International Economic Sanctions on Trade. An empirical Analysis. URL: <https://econwpa.ub.uni-muenchen.de/econ-wp/it/papers/0306/0306001.pdf> (дата обращения: 01.11.2019).
5. *Avetisyan M., Lektzian D.* The Effect of Economic Sanctions on Domestic Production, Trade and Transportation of Sanctioned Goods. URL: <https://www.aeaweb.org/conference/2018/preliminary/paper/yHar28Sf> (дата обращения: 01.11.2019).
6. *Ianchovichina E., Walmsley T.L.* Dynamic modeling and applications for global economic analysis // Cambridge University Press. 2012. 448 p.
7. *Бородин К.Г.* Оценка влияния продовольственного эмбарго и экономических санкций на товарные рынки (на примере рынков мяса) // *Экономика и математические методы*. 2018. Т. 54. № 4. С. 41–59.
8. *Ahn D., Ludema R.* Measuring Smartness: Understanding the Economic Impact of Targeted Sanctions // US Department of State – Working Paper 2017. 2016. vol. 1. 36 p.
9. *Tyll L., Pernica K., Arltová M.* The impact of economic sanctions on Russian economy and the RUB/USD exchange rate // *Journal of International Studies*. 2018. vol. 11. no. 1. pp. 21–33.
10. *Нуреев Р.М.* Экономические санкции против России: ожидания и реальность // М.: КНОРУС. 2017. 194 с.
11. GLOBE CGE Model. URL: www.cgemod.org.uk/globe1.html (дата обращения: 01.11.2019).
12. GAMS. URL: www.gams.com (дата обращения: 01.11.2019).
13. GTAP Data Base. URL: www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/default.asp (дата обращения: 01.11.2019).
14. World Economic Outlook Databases. URL: <http://www.imf.org/external/ns/cs.aspx?id=28> (дата обращения: 01.11.2019).
15. *Ашимов А.А., Боровский Ю.В., Новиков Д.А., Султанов Б.Т.* Макроэкономический анализ и параметрическое регулирование регионального экономического союза // М.: URSS. 2018. 512 с.
16. World Input-Output Database. URL: <http://www.wiod.org/home> (дата обращения: 01.11.2019).
17. World Integrated Trade Solution. URL: <http://wits.worldbank.org> (дата обращения: 01.11.2019).
18. *Ferris M., Munson T.* PATH 4.7. URL: https://www.gams.com/latest/docs/S_PATH.html (дата обращения: 01.11.2019).

19. Голубицкий М., Гийемин В. Устойчивые отображения и их особенности // М.: Мир. 1977. 290 с.
20. Орлов А.И. Эконометрика // М.: Экзамен. 2002. 576 с.
21. Матвеева Т.Ю. Введение в макроэкономику // М.: ГУ ВШЭ. 2007. 511 с.
22. NLPEC. URL: https://www.gams.com/latest/docs/S_NLPEC.html (дата обращения: 01.11.2019).

Ашимов Абдыкаппар Ашимович — д-р техн. наук, профессор, академик Национальной академии наук Республики Казахстан, профессор, Институт кибернетики и информационных технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева. Область научных интересов: теория автоматического управления; управление организационными системами; инженерия баз данных; математическая экономика, теория динамических систем, теория параметрического регулирования. Число научных публикаций — 600. ashimov37@mail.ru; ул. Сатпаева, 22, 050013, Алматы, Казахстан; р.т.: +7(727)292-5818.

Боровский Юрий Вячеславович — канд. физ.-мат. наук, профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева. Область научных интересов: прикладная теория динамических систем и теория управления, теория параметрического регулирования. Число научных публикаций — 200. yuborovskiy@gmail.com; ул. Сатпаева, 22, 050013, Алматы, Казахстан; р.т.: +7(727)292-0344.

Оналбеков Мухит Акбердиевич — старший научный сотрудник, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева. Область научных интересов: теория параметрического регулирования, макроэкономическое моделирование. Число научных публикаций — 18. mukhon@list.ru; ул. Сатпаева, 22, 050013, Алматы, Казахстан; р.т.: +7(727)292-0344.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (проект AP05130750).

A. ASHIMOV, YU. BOROVSKIY, M. ONALBEKOV
**MATHEMATICAL MODELING OF OPTIMAL MEASURES TO
COUNTER ECONOMIC SANCTIONS**

Ashimov A., Borovskiy Yu., Onalbekov M. Mathematical Modeling of Optimal Measures to Counter Economic Sanctions.

Abstract. The paper considers the problems of developing recommendations in the area of fiscal and trade policies to counter economic sanctions at the level of both individual countries subject to such sanctions and at the level of economic union including such countries. Research study has been carried out based on the developed dynamic multi-sectoral and multi-country computable general equilibrium model, which describes the functioning of the economies of nine regions of the planet, including five countries of the Eurasian Economic Union (EAEU). The initial data of the model contain built sets of consistent social account matrices (SAMs) for the historical and forecast periods based on data from the Global Trade Analysis Project (GTAP) database, national input-output tables, international trade and IMF data (including forecast) for the main macroeconomic regions indicators. Results of the impact on macroeconomic and sectoral indicators of the EAEU countries and other regions of a hypothetical scenario providing the imposition of additional economic sanctions since 2019 against Russia from some regions were obtained. An approach to solving problems to counter the sanctions policy based on the parametric control theory by setting and solving a number of dynamic optimization problems to determine optimal values of the corresponding fiscal and trade policy instruments at the level of individual EAEU countries and the EAEU as a whole was proposed.

The results of the model-based calculations were tested for the possibility of practical application using three approaches, including evaluation mappings' stability of the exogenous parameters' values of a calibrated model to the values of its endogenous variables. The results demonstrate greater efficiency for each EAEU country using a coordinated economic policy to counter sanctions, compared with the implementation of such policy separately at the level of each country.

Keywords: Economic Sanctions, Theory of Parametric Control of Macroeconomic Systems, Verification of Model, Computable General Equilibrium Model, Dynamic Optimization.

Ashimov Abdykappar — Ph.D., Dr.Sci., Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor, Institute of Cybernetics and Information Technology, Satbayev University. Research interests: theory of automatic control; organizational systems management; database engineering; mathematical economics, theory of dynamical systems, theory of parametric control. The number of publications — 600. ashimov37@mail.ru; 22, Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan; office phone: +7(727)292-5818.

Borovskiy Yuriy — Ph.D., Professor, Satbayev University. Research interests: applied theory of dynamical systems and control theory, theory of parametric control. The number of publications — 200. yuborovskiy@gmail.com; 22, Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan; office phone: +7(727)292-0344.

Onalbekov Mukhit — Senior Researcher, Satbayev University. Research interests: theory of parametric control, macroeconomic modeling. The number of publications — 18. mukhon@list.ru; 22, Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan; office phone +7(727)292-0344.

Acknowledgements. This research is supported by the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (project AR05130750).

References

1. Haidar J.I. Sanctions and Exports Deflection: Evidence from Iran. *Economic Policy (CEPR)*. 2015. vol. 32. no. 90. pp. 319-355.
2. Ianchovichina E., Devarajan S., Lakatos C. Lifting Economic Sanctions on Iran. Global Effects and Strategic Responses. The World Bank Group. 2016. 35 p.
3. GTAP Models: Home. Available at: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/models/default.asp> (accessed: 01.11.2019).
4. Caruso R. The Impact of International Economic Sanctions on Trade. An empirical Analysis. Available at: <https://econwpa.ub.uni-muenchen.de/econwp/it/papers/0306/0306001.pdf> (accessed: 01.11.2019).
5. Avetisyan M., Lektzian D. The Effect of Economic Sanctions on Domestic Production, Trade and Transportation of Sanctioned Goods. Available at: <https://www.aeaweb.org/conference/2018/preliminary/paper/yHar28Sf> (accessed: 01.11.2019).
6. Ianchovichina E., Walmsley T.L. Dynamic modeling and applications for global economic analysis. Cambridge University Press. 2012. 448 p.
7. Borodin K.G. [Assessment of influence of food embargo and economic sanctions on the commodity markets (on the example of the meat markets)]. *Jekonomika i matematicheskie metody - Economics and mathematical methods*. 2018. vol. 54. no. 4. pp. 41–59. (In Russ.).
8. Ahn D., Ludema R. Measuring Smartness: Understanding the Economic Impact of Targeted Sanctions. US Department of State – Working Paper 2017. 2016. vol. 1. 36 p.
9. Tyll L., Pernica K., Arltová M. The impact of economic sanctions on Russian economy and the RUB/USD exchange rate. *Journal of International Studies*. 2018. vol. 11. no. 1. pp. 21–33.
10. Nureev R.M. *Jekonomicheskie sankcii protiv Rossii: ozhidaniya i real'nost'* [Economic sanctions against Russia: expectations and reality]. M.: KNORUS. 2017. 194 p. (In Russ.).
11. GLOBE CGE Model. Available at: www.cgemod.org.uk/globe1.html (accessed: 01.11.2019).
12. GAMS. Available at: www.gams.com (accessed: 01.11.2019).
13. GTAP Data Base. Available at: www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/default.asp (accessed: 01.11.2019).
14. World Economic Outlook Databases. Available at: <http://www.imf.org/external/ns/cs.aspx?id=28> (accessed: 01.11.2019).
15. Ashimov A.A., Borovskiy Yu.V., Novikov D.A., Sultanov B.T. *Makroekonomicheskij analiz i parametricheskoe regulirovanie regional'nogo jekonomicheskogo sojuza* [Macroeconomic analysis and parametric control of a regional economic union]. M.: URSS. 2018. 512 p. (In Russ.).
16. World Input-Output Database. Available at: <http://www.wiod.org/home> (accessed: 01.11.2019).
17. World Integrated Trade Solution. Available at: <http://wits.worldbank.org> (accessed: 01.11.2019).
18. Ferris M., Munson T. PATH 4.7. Available at: https://www.gams.com/latest/docs/S_PATH.html (accessed: 01.11.2019).
19. Golubitsky M. Gueillemin V. *Ustojchivye otobrazheniya i ih osobennosti* [Stable mappings and their singularities]. M.: Mir. 1977. 209 p. (In Russ.).
20. Orlov A.I. *Jekonometrika* [Econometrics]. M.: Jekzamen. 2002. 576 p. (In Russ.).
21. Matveeva T.Yu. *Vvedeniye v makroekonomiku* [Introduction to Macroeconomics]. M.: GU VSHE. 2007. 511 p. (In Russ.).
22. NLPEC. Available at: https://www.gams.com/latest/docs/S_NLPEC.html (accessed: 01.11.2019).