

ОЦЕНКА ИНФЛЯЦИОННЫХ РИСКОВ В
УСЛОВИЯХ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ В
СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ С ИНФРАСТРУКТУРНЫМИ
ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Н.К. ОБРОСОВА  А.А. СПИРИДОНОВ  А.А. ШАНАНИН 

Представлено С.И. КАБАНИХИНЫМ

Abstract: The article presents a nonlinear network model of intersectoral balance featuring production functions with constant elasticity of substitution and constraints on the capacities of economic sectors. The mathematical framework of the model is developed through a series of works by the authors and is based on the application of Young duality in convex programming problems that describe resource allocation within the production network. The network model takes into account potential changes in the behavior of economic agents in response to shocks and allows for a clear interpretation of input and output indicators in terms of official national accounts statistics. Our approach enables the calculation of shifts in economic equilibrium within the space of intersectoral supply and prices under shock conditions in a real production network, considering capacity constraints that lead to additional costs. The developed model has been identified using official data from Russian statistics. We apply the model for analysis of medium-term inflation risks in the Russian economy, as well as the impact of constraints related

OBROSOVA, N., SPIRIDONOV A., SHANANIN, A., INFLATION RISKS ESTIMATION IN A RESTRUCTURING ECONOMY IN TERMS OF A NETWORK PRODUCTION MODEL WITH INFRASTRUCTURE CONSTRAINTS.

© 2024 ОБРОСОВА Н.К., СПИРИДОНОВ А.А., ШАНАНИН А.А..

Работа поддержана РФФ (грант 24-11-00329).

Поступила 22 июля 2024 г., опубликована 2024 г.

to the underdevelopment of the infrastructure complex on these risks.

Keywords: production network, nonlinear input-output model, resource allocation problem, Young duality, competitive equilibrium, CES production function, identification problem, input-output table, inflation risks.

1 Введение

Проблема выявления и оценки экономических рисков в различных среднесрочных сценариях макроэкономического развития становится актуальной в условиях глобальных шоковых воздействий. Однако, именно в этой ситуации проявляются методологические проблемы традиционных подходов к анализу макроэкономической динамики, направленных на анализ преимущественно стабильных рыночных экономик и основанных на устоявшихся эконометрических зависимостях. Структурные изменения приводят к смене ролей экономических агентов в системе. Изменение поведения агентов не описываются ни в рамках детализированных авторегрессионных моделей (ARIMA, векторные VAR и тп.) ни в моделях, основанных на методах машинного обучения [1], [2]. Эффективность таких моделей в изменяющихся условиях ограничена очень короткими временными горизонтами, допускающими сохранение стабильной структуры межотраслевых связей, технологий и ролей агентов. После произошедших изменений модели требуют длительного обновления на основе новых, не всегда доступных, временных рядов статистических данных. Соответственно, описание переходных процессов в рамках таких моделей не предполагается. Стандартные динамические стохастические модели общего равновесия (DSGE), хотя и предполагают описание поведения агентов на микроуровне, но обычно не описывают отраслевую структуру экономики и содержат при этом большое количество параметров, которые плохо интерпретируемы в терминах официальной статистики [3]. В итоге они также опираются на эконометрические зависимости, которые могут нарушаться при изменении поведения агентов.

С нашей точки зрения, методы среднесрочного сценарного анализа и прогнозирования макроэкономических рисков, которые можно использовать в период нестабильности экономических отношений, должны соответствовать следующим требованиям

- разрабатываться с учетом возможного изменения ролей агентов и технологических связей,
- отражать особенности отраслевой структуры экономики и ее возможных изменений, связанных с замещением производственных факторов и существенными в рассматриваемый период экономическими ограничениями,

- опираться на стандартизованную базу данных официальной экономической статистики,
- иметь набор входных параметров и расчетных показателей, хорошо интерпретируемых в терминах официальной экономической статистики.

Решение задач, связанных с разработкой таких методов, представляется актуальным на современном этапе развития отечественной экономики, сопровождающемся реструктуризацией производственных связей в условиях внешних шоков.

Адекватным инструментом для сценарного анализа среднесрочных макроэкономических рисков в условиях переориентации экономики является новый класс нелинейных математических моделей межотраслевого баланса, которые отвечают перечисленным требованиям. Математический аппарат моделей [4],[5],[6] основан на решении проблемы поиска конкурентного равновесия на множестве допустимых межотраслевых потоков и цен, которая формализована в виде задачи оптимального распределения ресурсов с неоклассическими производственными функциями и двойственного описания, определяющего равновесные цены в сети поставок и основанного на теории двойственности по Янгу для положительно-однородных функций. Прикладные модели, полученные на основе результатов исследований, успешно использовались авторами для анализа современных проблем в реальных производственных сетях (см., например, [7],[8]).

В данной работе мы используем результаты исследования новой модификации нелинейной модели межотраслевого баланса с ограничениями на производственные мощности [9] для разработки прикладной сетевой модели российской экономики, предназначенной для среднесрочного прогнозирования и анализа инфляционных рисков в условиях инфраструктурных ограничений.

Начиная с 40-х годов и до середины 80-х годов прошлого века основным инструментом анализа структуры экономики и вычисления экономических мультипликаторов являлась линейная модель межотраслевого баланса В. Леонтьева, за которую ее автор был удостоен в 1973г. премии имени Нобеля по экономике [10],[11],[12]. Базовым предположением модели В.Леонтьева является гипотеза о стабильности технологических коэффициентов (норм материальных затрат на выпуск единицы продукции), что послужило основой развития математического аппарата работы с моделью - теории неотрицательных матриц [13],[14].

Методология модели Леонтьева основана на обработке данных Системы национальных счетов (СНС) - стандартизованной на международном уровне базы данных, регистрирующей отраслевые и агрегированные финансовые потоки между участниками экономических отношений (современный российский стандарт согласован с методологией ООН 2008г. [15]). Методология СНС была предложена известным экономистом

Р.Стоуном в середине XX века, а в 1984 г. он был удостоен премии имени Нобеля по экономике за ее развитие [16]. Модель Леонтьева успешно использовалась, начиная с середины прошлого века, для анализа данных СНС и выявления драйверов экономического роста [17],[18]. Инструментарий модели до сих пор является одним из основных подходов к анализу СНС во многих странах [19], в том числе в России [12],[20],[21],[22],[23].

Гипотеза о постоянстве коэффициентов прямых затрат стала существенно нарушаться с середины 80-х годов прошлого века в условиях роста номенклатуры товаров и услуг производственных сетей, приведших к росту замещения производственных факторов. Это вызвало трудности с применением методики линейной модели межотраслевых связей. Отражение этих трудностей в отечественных исследованиях привело к задержкам в разработке российского межотраслевого баланса, начиная с 90-х годов прошлого века [24].

В рамках традиционного подхода В.Леонтьева сложно описывать содержательно влияние ценовых пропорций на технологические коэффициенты в многоотраслевой экономике в результате замещения факторов производства и изменения конечного спроса. Учет замещения производственных факторов приводит к нелинейным зависимостям и требует разработки новых моделей и математического аппарата для их исследования. Результаты этих исследований позволяют предложить новый класс теоретических и прикладных моделей, интерпретируемых в терминах официальной базы данных СНС. Модели позволяют проводить среднесрочный анализ экономических рисков в условиях реструктуризации экономики и внешних шоков в разных сценариях макроэкономического развития.

Статья имеет следующую структуру.

В разделе 2 описана структура данных симметричных таблиц затраты-выпуск системы национальных счетов, которая используется для решения обратных задач идентификации и калибровки моделей межотраслевого баланса, в том числе в рамках традиционного подхода модели В. Леонтьева. Рассмотрены особенности формирования российской системы национальных счетов и на основе официальной статистики сформирована база данных для идентификации и калибровки агрегированной модели нелинейного межотраслевого баланса отечественной экономики в разрезе пяти крупных промышленных комплексов, выделенных на основе результатов анализа специфики российской отраслевой структуры.

В разделе 3 приведена постановка задачи распределения ресурсов в производственной сети с ограничениями на мощности отраслей и предложены алгоритмы вычисления экономического равновесия и идентификации модели нелинейного межотраслевого баланса с производственными функциями с постоянной эластичностью замещения и ограничениями на мощность промышленных комплексов. Алгоритмы основаны на результатах исследования конкурентного равновесия в модели, которые получены авторами в работе [9]. Представлены результаты идентификации и

калибровки модели на основе сформированной базы данных российской статистики.

В разделе 4 представлены результаты применения нелинейной агрегированной модели межотраслевого баланса для анализа инфляционных рисков в российской экономике в условиях недостаточной развитости инфраструктурного комплекса. В сценарных условиях, соответствующих официальному макроэкономическому прогнозу Минэкономразвития до 2028 года [26], проанализировано влияние на инфляционные риски издержек, возникающих в результате дефицита услуг инфраструктуры при перестройке российской производственной сети.

2 Формирование входной базы данных моделей межотраслевого баланса на основе данных СНС

Преимуществом моделей межотраслевого баланса является доступность и стандартный формат данных официальной экономической статистики для идентификации и калибровки моделей. Входная база данных формируется на основе СНС и содержит систему таблиц затраты-выпуск (ТЗВ). ТЗВ регистрируют финансовые потоки на отраслевом уровне, связанные с производством и потреблением продуктов отраслей и первичных ресурсов в экономике. Первичные ресурсы не производятся непосредственно отраслями, но используются при производстве продукции (труд, импорт и т.д.) [12],[19].

2.1. Симметричные таблицы затраты-выпуск. Идентификация и калибровка моделей нелинейного межотраслевого баланса основаны на данных симметричных таблиц затраты-выпуск (СТЗВ) отечественной продукции [22],[27]. Общая схема такой таблицы приведена на рис.1. При составлении СТЗВ экономика формально представляется в виде набора чистых отраслей, каждая из которых производит уникальный однородный продукт, затрачивая при этом первичные ресурсы и промежуточные ресурсы, произведенные другими отраслями внутри сети. Таким образом, выпуск каждой отрасли распределяется на промежуточное потребление отраслей и конечное потребление продуктов агентами экономической системы. Среди конечных потребителей продуктов производственной сети традиционно выделяют домашние хозяйства, государство, экспорт, валовое накопление и изменение запасов. Стандартная СТЗВ отечественной продукции, в которой столбцы содержат данные о затратах или конечном потреблении отечественной продукции экономическими агентами (отраслями или конечными потребителями), традиционно разбивается на три квадранта [19],[27] (см. рис.1). Элементы квадранта I характеризуют потоки промежуточных затрат отрасли j , которые произведены отраслью i , II квадрант содержит вектора-столбцы конечного

потребления произведенной продукции, III квадрант - затраты первичных ресурсов отраслями. Общая схема такой таблицы представлена на рис.1.

Для поставленных целей исследования мы формируем квадрант III, выделяя три первичных ресурса (см. рис.1): импорт, труд, а также первичный ресурс, соответствующий оставшейся части валовой добавленной стоимости (ВДС) за вычетом оплаты труда. Основной составляющей третьей строки квадранта III часто является прибыль. Поэтому мы допускаем, что третья строка квадранта III ассоциирована с величиной основного капитала в отрасли, который также может рассматриваться в качестве первичного ресурса. Ввиду специфики составления СТЗВ, сумма элементов таблицы по соответствующим строке и столбцу совпадает (соответствующие балансовые соотношения приведены на рис.1). Разра-

Симметричная таблица затраты-выпуски отечественной продукции (СТЗВ)		Промежуточное потребление		Конечное потребление					Валовый выпуск
		продукты		Домашние хозяйства	Государство	Валовое накопление (изменение запасов материальных оборотных средств)	Экспорт		
		1	...						m
отечественные продукты	1	$Z_d = \ Z_i^j\ $ $i, j = 1, \dots, m$		$Z_1^{H,0}$	$Z_1^{G,0}$	$Z_1^{INV,0}$	$Z_1^{EXP,0}$	Y_1	
	...			$Z_2^{H,0}$	$Z_2^{G,0}$	$Z_2^{INV,0}$	$Z_2^{EXP,0}$	Y_2	
	m			$Z_m^{H,0}$	$Z_m^{G,0}$	$Z_m^{INV,0}$	$Z_m^{EXP,0}$	Y_m	
Расходы на первичные ресурсы	импорт	Z_{m+1}^j		II квадрант					
	оплата труда	Z_{m+2}^j							
	прибыль*	Z_{m+3}^j							
	Валовая добавленная стоимость	$Z_{m+2}^j + Z_{m+3}^j$							
		$j = 1, \dots, m$		$Z_j^0 = Z_j^{H,0} + Z_j^{G,0} + Z_j^{INV,0} + Z_j^{EXP,0}$ $Y_j = \sum_{i=1}^{m+3} Z_i^j = Z_j^0 + \sum_{i=1}^m Z_j^i$ $j = 1, \dots, m$					
Валовый выпуск		$Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_m$							

Рис. 1. Схема и балансы симметричной таблицы затраты-выпуск отечественной продукции (СТЗВ)

ботка и публикация СТЗВ осуществляется статистическими службами многих стран на ежегодной основе в подробной номенклатуре продуктов или отраслей. Сбор и обработка информации также проводятся в рамках крупных международных проектов (см., например [28]). Ввиду сложностей процесса сбора и обработки первичной экономической отчетности таблицы СТЗВ публикуются обычно с некоторой задержкой.

2.2. Линейная модель В. Леонтьева. Традиционная линейная модель межотраслевого баланса В. Леонтьева с середины прошлого века являлась основным инструментом освоения данных I квадранта СТЗВ, представленной на Рис.1 (см., например, [19]).

Пусть в экономике выделено m чистых отраслей. В соответствии с Рис.1, обозначим $Y = (Y_1, \dots, Y_m)$ - вектор валовых выпусков отраслей в некотором году, Z_i^j - финансовый поток из отрасли j в отрасль i , являющийся платой за промежуточные ресурсы, поступившие из отрасли i в отрасль j , $Z^0 = (Z_1^0, \dots, Z_m^0)$ - вектор конечного потребления продукции отраслей. Коэффициенты $a_i^j = \frac{Z_i^j}{Y_j}$ определяют норму затрат продукта отрасли i на выпуск единицы продукта отрасли j . Базовым предположением модели В.В.Леонтьева является предположение о постоянстве во времени величин a_i^j , которые принято называть коэффициентами прямых затрат. Коэффициенты образуют матрицу Леонтьева $A = \left\| a_i^j \right\| \geq 0$, которая является неотрицательной квадратной матрицей размерности $m \times m$. Модель В.Леонтьева записывается в виде линейного соотношения между векторами валового выпуска Y и конечного потребления Z^0

$$Y = AY + Z^0. \quad (1)$$

Один из основных результатов теории неотрицательных матриц [13],[14] позволяет строить, в рамках гипотезы о постоянстве матрицы A , оценку валового выпуска отраслей Y , обеспечивающую заданное конечное потребление Z^0 в экономике. Такую оценку дает обратное к (1) преобразование

$$Y = (E - A)^{-1}Z^0 \quad (2)$$

при условии, что матрица $(E - A)^{-1} \geq 0$ корректно определена и является неотрицательной. Необходимым и достаточным условием существования $(E - A)^{-1} \geq 0$ является продуктивность матрицы $A \geq 0$, т.е. возможность реализовать в модели (1) строго положительный по всем компонентам вектор конечного потребления $Z^0 > 0$ при задании некоторого неотрицательного вектора валового выпуска $Y \geq 0$. Матрица $(E - A)^{-1} \geq 0$ называется обратным преобразованием Леонтьева, а ее элементы - экономическими мультипликаторами. Заметим, что модель В.Леонтьева оперирует товарными потоками, фактически игнорируя влияние ценовых пропорций и не предполагает замещения производственных факторов.

Анализ переходных процессов в экономике требует содержательного учета замещения производственных факторов в моделях межотраслевого баланса с учетом изменения ценовых пропорций и влияния экономических ограничений на равновесие в модели. В этой ситуации нельзя моделировать лишь потоки I квадранта СТЗВ, считая фиксированными

первичные ресурсы, включенные в III-й квадрант. Процессы импортозамещения и существенные ресурсные ограничения должны быть интерпретируемы в терминах моделей межотраслевого баланса. Разрабатываемый нами класс моделей обладает такими преимуществами.

2.3. Формирование входной базы данных нелинейных моделей межотраслевого баланса с учетом специфики разработки системы СНС в России. В данном разделе мы опишем технологию и результаты формирования входной базы на основе системы национальных счетов, которую мы используем для идентификации и калибровки моделей нелинейного межотраслевого баланса российской экономики.

Российские таблицы СТЗВ публикуются Росстатом [29] раз в пять лет с задержкой 3 года. В настоящее время на официальном сайте Росстата доступны СТЗВ в номенклатуре 98 продуктов за 2011 и 2016 годы [29]. Однако ежегодную информацию о межотраслевых потоках в РФ можно получить на основе другой составляющей СНС - системы таблиц ресурсов (ТР) и использования (ТИ), которые не являются симметричными, однако содержат полную информацию о выпуске и затратах продуктов в отраслях экономики, включая использование первичных ресурсов. По состоянию на 2024 год доступны таблицы ТР и ТИ за 2016-2020 год в одинаковой номенклатуре 61 отрасль - 61 продукт [29]. Для формирования входной базы данных моделей нелинейного межотраслевого баланса на основе таблиц ТР и ТИ за 2016-2020 авторами построены таблицы СТЗВ отечественной продукции экономики РФ в номенклатуре 61 продукт - 61 продукт. Таблицы построены на основе отраслевой гипотезы, предполагающей, что выпуск всех продуктов в отрасли осуществляется по одной и той же технологии. Методика восстановления СТЗВ по ТР и ТИ изложена, например, в работах [19],[27]. С учетом специфики методики составления ТР и ТИ Росстатом, который соблюдает близкую к симметричной структуру этих таблиц (незначительная доля побочной продукции для большинства отраслей), построенные таблицы СТЗВ адекватно отражают систему российских межотраслевых производственных связей. После процедуры агрегирования российские таблицы СТЗВ отечественной продукции за 2016-2020 годы используются для идентификации нелинейных моделей межотраслевого баланса. Структура таблиц СТЗВ соответствует схеме, приведенной на Рис.1.

В период существенного изменения внешних экономических условий и реструктуризации производственных связей представляется адекватным проводить анализ среднесрочных макроэкономических рисков на основе высоко агрегированных моделей, описывающих взаимодействие крупных производственных комплексов экономики. Обоснованность такого подхода определяется как существенной перестройкой отношений на детализированном уровне межотраслевых связей, так и трудностями формирования сценарных условий в этом случае, так как используемые

для их формирования официальные макроэкономические прогнозы содержат лишь укрупненные макропоказатели.

Поэтому в данной работе рассмотрена агрегированная модель межотраслевого баланса экономики России.

Выбранные нами принципы агрегирования связаны со сложившейся структурой российской экономики, которая, ввиду исторически сложившихся особенностей развития, характеризуется неоднородностью производственной системы по отношению к экспортно-импортным операциям и несовершенством финансового рынка. Переход к технологическому суверенитету и импортозамещение в условиях неоднородной экономики требует переключения с приоритетного развития ориентированного на экспорт капиталоемкого комплекса добывающих отраслей на развитие трудоемкого обрабатывающего комплекса экономики в условиях переориентации экспортно-импортных потоков. Реструктуризация экономики приводит к росту спроса на услуги инфраструктурных отраслей и рисков издержек, связанных с дефицитом этих услуг.

Учет ограничения производственных мощностей в разработанной в статье [9] нелинейной модели межотраслевого баланса позволяет анализировать такие риски в заданных сценарных условиях макроэкономического развития.

Опираясь на приведенные рассуждения, мы объединяем исходные чистые отрасли производства в 5 крупных агрегированных комплексов по признакам близости структуры потребления их продукции агентами - конечными потребителями, участию в экспортно-импортных операциях:

- обрабатывающий сектор - трудоемкий сектор экономики, продукция которого в основном ориентирована на внутреннее потребление; импортные ресурсы являются существенной частью производственных факторов отраслей комплекса;
- экспортирующий сектор - в основном отрасли добывающей промышленности, ориентированные на экспорт продукции;
- инфраструктурный комплекс - услуги инфраструктуры, включающие деятельность естественных монополий (электроэнергетика, транспортные монополии¹ и т.п.), с преобладанием государственного потребления в структуре конечного использования;
- сектор услуг - отрасли торговли и прочих услуг, за исключением финансовых;
- финансы - отрасли, предоставляющие финансовые услуги.

¹В инфраструктурной отрасли "Трубопроводный и сухопутный транспорт" выделен трубопроводный транспорт и отнесен к экспортному комплексу в соответствии со структурой базовых таблиц затраты-выпуск в номенклатуре 98 продуктов ОКПД за 2016 год, доступных на официальном сайте Росстата [29].

Разбиение исходной номенклатуры ТР и ТИ (61 чистая отрасль) на указанные группы приведено в Приложении А. Адекватность выбранного разбиения на агрегированные комплексы подтверждается структурой конечного потребления агентов и валовой добавленной стоимости экономики (ВДС), которые приведены на Рис.2. Анализ официальной

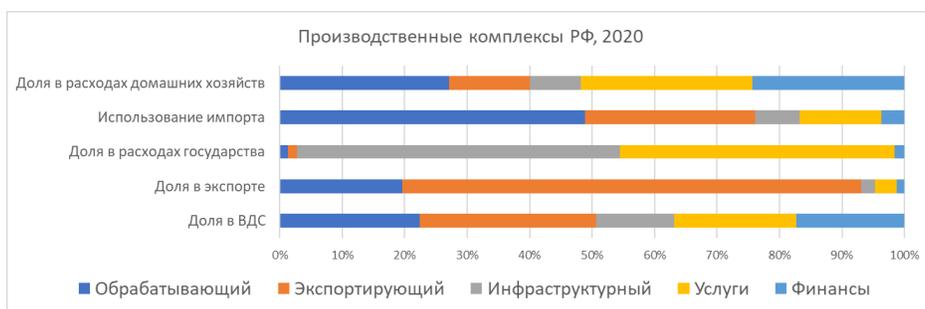


Рис. 2. Структура агрегированных производственных комплексов экономики РФ

статистики конечного потребления агентами продукции российской производственной сети за период 2016-2020 годы показывает стабильность структуры расходов конечных потребителей РФ в разрезе пяти агрегированных комплексов, выделенных в модели (см. Рис.3). Это подтверждает справедливость гипотезы о рациональном поведении агрегированного конечного потребителя, принятой в рамках разработанной в статье [9] модели.



Рис. 3. Структура конечного потребления продукции агрегированных комплексов экономики РФ

После процедуры агрегирования исходных СТЗВ за 2016-2020 год ² сформирована база данных для идентификации нелинейной агрегированной модели межотраслевого баланса. Кроме таблиц СТЗВ, база данных включает официальную статистику Росстата о среднегодовых индексах цен первичных ресурсов в экономике за 2016-2020 годы: индекс цен импортной продукции (связанный с динамикой курса рубля по отношению к основным иностранным валютам), индекс номинальной среднегодовой заработной платы в экономике, индекс-дефлятор ВВП. Эти индексы цен интерпретированы в модели как дефляторы финансовых потоков, которые соответствуют оплате первичных ресурсов отраслями и задаются первой, второй и третьей строками квадранта III СТЗВ соответственно (см. Рис.1).

3 Экономическое равновесие в нелинейной модели межотраслевого баланса, учитывающей ограничения на производственные мощности

На основе результатов исследования конкурентного равновесия в нелинейной модели межотраслевого баланса с учетом ограниченных мощностей производства [9] мы предлагаем прикладную модель для анализа инфляционных рисков в условиях реструктуризации экономики. После идентификации и калибровки на основе сформированной базы данных СТЗВ (см. раздел 2) модель позволяет вычислять экономическое равновесие в сети поставок и цен при следующих предположениях:

- экономика является открытой, т.е. спрос на первичные ресурсы (III квадрант СТЗВ) удовлетворяется при заданных ценах s_1, \dots, s_n ;
- производственная технология в каждой отрасли описывается производственной функцией с постоянной эластичностью замещения (CES), допускающими замещение производственных факторов;
- производственные мощности отрасли $j = 1, \dots, m$ экономики ограничены значениями $M_j > 0$;
- задан вектор конечного спроса в текущих ценах $\hat{Z}^0 = (\hat{Z}_1^0, \dots, \hat{Z}_m^0)$ - сумма векторов спроса конечных потребителей II квадранта СТЗВ: домашних хозяйств, государства, валового накопления, экспорта (см. Рис.1).

В результате процедуры вычисления экономического равновесия в заданных сценарных условиях в модели рассчитываются следующие экономические показатели:

- вектор равновесных цен $\tilde{p} = (\tilde{p}_1, \dots, \tilde{p}_m)$, по которым производители продают произведенную продукцию;

²Результатирующие агрегированные СТЗВ экономики РФ за 2016-2020 годы приведены в Приложении В. Квадрант II содержит вектор столбец суммарного конечного потребления.

- вектор наценок на произведенную продукцию $v = (v_1, \dots, v_m) \geq 0$, связанных с ограничением на мощность производства;
- вектор равновесных цен $\hat{p} = (\hat{p}_1, \dots, \hat{p}_m)$, по которым покупается продукция отраслей, $\hat{p} = \tilde{p} + v$;
- равновесные межотраслевые потоки, образующие квадрант I и квадрант III СТЗВ (см. Рис.1).

Предлагаемая методика позволяет проводить оперативную корректировку расчетов при изменении внешних сценарных условий, вычислять смещение конкурентного равновесия при возникновении дефицита предложения, а также контролировать баланс спроса и предложения первичных ресурсов в производственной сети.

Мы сохраняем обозначения, введенные в работе [9] и рассматриваем функционирование производственной сети, в которой выделено m чистых отраслей с производственными функциями j -й отрасли $F_j(X^j, l^j) \in \Phi_{m+n}$, $j = 1, \dots, m$, аргументами которых являются вектора $X^j = (X_1^j, \dots, X_m^j)$ промежуточного потребления продукции отраслей и вектора $l^j = (l_1^j, \dots, l_n^j)$ затрат первичных производственных факторов $1, \dots, n$, которые не производятся в сети. Конечное потребление описывается моделью рационального репрезентативного потребителя с функцией полезности $F_0(X^0) \in \Phi_m$, $X^0 = (X_1^0, \dots, X_m^0)$. Функции из класса Φ_k - вогнутые, не равные тождественно нулю, монотонно неубывающие, непрерывные и положительно однородные порядка 1 на R_+^k , обладающие свойством $F_j(0, 0) = 0$. Ограничение на производственные мощности отраслей задано вектором $M = (M_1, \dots, M_m) > 0$. Суммарное потребление каждого первичного ресурса k ограничено величиной l_k , $l = (l_1, \dots, l_n) > 0$.

В соответствии с [9], задача оптимального распределения ресурсов с учетом ограничений на мощность отраслей формулируется следующим образом

$$p_0 F_0(X^0) \rightarrow \max \quad (3)$$

$$F_j(X^j, l^j) \geq \sum_{i=0}^m X_j^i, j = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$M_j \geq \sum_{i=0}^m X_j^i, j = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m l_k^j \leq l_k, k = 1, \dots, n, \quad (6)$$

$$X^0 \geq 0, X^1 \geq 0, \dots, X^m \geq 0, l^1 \geq 0, \dots, l^m \geq 0, \quad (7)$$

где $p_0 > 0$ - масштабирующий коэффициент, переводящий размерность полезности в денежное выражение. В [9] введены множители Лагранжа к ограничениям задачи (3)-(7), которые могут быть интерпретированы как цены на товары и услуги сети:

- к ограничению (4): $\tilde{p} = (\tilde{p}_1, \dots, \tilde{p}_m) \geq 0$ – цены, по которым производители продают произведенную продукцию ;
- к ограничению (5): $v = (v_1, \dots, v_m) \geq 0$ – наценки на товары, возникающие в результате ограничения на мощность производства, тогда $\hat{p} = \tilde{p} + v$ – цены, по которым покупается продукция отраслей;
- к ограничению (6): $s = (s_1, \dots, s_n) \geq 0$ – цены на первичные факторы производства.

Результаты работы [9] позволяют вычислить равновесные цены и межотраслевые потоки в реальной производственной сети с ограничениями на производственные мощности. Равновесные цены \hat{p} при заданных ценах на первичные ресурсы \hat{s} являются решением задачи (см. Замечание 2 в конце раздела 4 в [9])

$$\Pi_A(\hat{s}) = \min_{\hat{p} \geq 0} \left\{ \sum_{j=1}^m M_j (\hat{p}_j - q_j(\hat{p}, \hat{s}))_+ \mid q_0(\hat{p}) \geq p_0 \right\}, \quad (8)$$

где функции себестоимости производства отрасли $j = 1, \dots, m$

$$q_j(p, s) = \inf \left\{ \frac{pX^j + sl^j}{F_j(X^j, l^j)} \mid X^j \geq 0, l^j \geq 0, F_j(X^j, l^j) > 0 \right\} \in \Phi_{m+n} \quad (9)$$

и индекс потребительских цен

$$q_0(q) = \inf \left\{ \frac{qX^0}{F_0(X^0)} \mid X^0 \geq 0, F_0(X^0) > 0 \right\} \in \Phi_m \quad (10)$$

являются преобразованием Янга производственной функции $F_j(X^j, l^j)$ и функции полезности $F_0(X^0)$, соответственно. Значение $\Pi_A(\hat{s})$ – агрегированная прибыль экономической системы при ценах на первичные ресурсы \hat{s} . Равновесные наценки на продукты сети в результате дефицита мощностей равны

$$v_j = (\hat{p}_j - q_j(\hat{p}, \hat{s}))_+, \quad j = 1, \dots, m. \quad (11)$$

При этом, если $F_0(X^0) > 0$, то $q_0(\hat{p}) = p_0$ (см. Замечание 2, в конце раздела 4 в [9]). Выполнение условий дополняющей нежесткости (см. выражение (22) в [9]) гарантирует, что верно следующее утверждение

Предложение 1. *В случае, когда выпуск отраслей строго положителен, т.е. для всех $j = 1, \dots, m$ верно $F_j > 0$ (все отрасли существенны для производства), в равновесии выполняется равенство*

$$\tilde{p}_j = q_j(\tilde{p} + v, \hat{s}) > 0, \quad j = 1, \dots, m. \quad (12)$$

Замечание 1. Условия $F_j > 0$ для всех $j = 1, \dots, m$ и $F_0(X^0) > 0$ очевидно выполняются в случае крупных отраслевых комплексов реальной

производственной сети. Вектор цен покупателя определяется из вариационного принципа

$$\min_{\hat{p} \geq 0} \left\{ \sum_{j=1}^m M_j (\hat{p}_j - q_j(\hat{p}, \hat{s}))_+ \mid q_0(\hat{p}) \geq p_0 \right\},$$

после чего наценки рассчитываются по формулам (11).

В соответствии с [9] (см. Предложение 1 из Замечания 2) равновесные межотраслевые потоки $\hat{X}^j, \hat{l}^j, j = 1, \dots, m$ определяются из условия максимума прибыли производителей при равновесных ценах \tilde{p}, v и заданных ценах на первичные ресурсы \hat{s}

$$\left(\hat{X}^j, \hat{l}^j \right) \in \text{Arg max} \{ \tilde{p}_j F_j(X^j, l^j) - (\tilde{p} + v)X^j - \hat{s}l^j \mid X^j \geq 0, l^j \geq 0 \}. \quad (13)$$

По аналогии с [6] (см. доказательство Теоремы 2) получим, что справедливо следующее утверждение.

Предложение 2. Пусть \hat{X}^0 - равновесный вектор конечного потребления в модели, $\hat{X}^j, \hat{l}^j, j = 1, \dots, m$ - равновесные межотраслевые потоки, \tilde{p}, v - равновесные цены. Если $F_j(\hat{X}^j, \hat{l}^j) > 0$ для всех $j = 1, \dots, m$, то в равновесии выполняется равенство

$$F_i(\hat{X}^i, \hat{l}^i) = \sum_{j=1}^m \tilde{\lambda}_{ij}(\tilde{p}, v) F_j(\hat{X}^j, \hat{l}^j) + \hat{X}_i^0, \quad i = 1, \dots, m, \quad (14)$$

где неотрицательная квадратная матрица $\tilde{\Lambda}(\tilde{p}, v) = \left\| \tilde{\lambda}_{ij}(\tilde{p}, v) \right\|$ является продуктивной матрицей с элементами

$$\tilde{\lambda}_{ij}(\tilde{p}, v) = \frac{\hat{X}_i^j}{F_j(\hat{X}^j, \hat{l}^j)} \geq 0, \quad i, j = 1, \dots, m. \quad (15)$$

Соотношение (14) следует из условия дополняющей нежесткости, соответствующего ограничению (4) исходной задачи при $\tilde{p}_j > 0$ (см. [9], выражение (11) в Теореме 1). Продуктивность матрицы $\tilde{\Lambda}(\tilde{p}, v)$ на решении задачи (13) очевидно следует из тождества Эйлера для положительно-однородной первой степени функции (9) себестоимости $q_j(\tilde{p} + v, s)$, являющейся двойственной по Янгу к $F_j(X^j, l^j), j = 1, \dots, m$ (подробнее см. [6]).

Соотношение (14) определяет баланс спроса и предложения в экономике с учетом торговой наценки в результате дефицита мощностей.

В силу продуктивности матрицы $\tilde{\Lambda}(\tilde{p}, v)$ матрица $(E - \tilde{\Lambda}(\tilde{p}, v))$, где E - единичная матрица $(m \times m)$, является неотрицательно обратной. Тогда соотношение (14) переписывается в виде

$$\left(F_1(\hat{X}^1, \hat{l}^1), \dots, F_m(\hat{X}^m, \hat{l}^m) \right)^T = (E - \tilde{\Lambda}(\tilde{p}, v))^{-1} \hat{X}^0. \quad (16)$$

Заметим, что баланс (16) является обобщением линейного межотраслевого баланса в модели В.Леонтьева (2) на случай неоклассических производственных функций. В отличие от модели В.Леонтьева, матрица $\tilde{\Lambda}(\tilde{p}, v)$ зависит от равновесных цен и наценок на товары, установившихся в сети в результате ограничения на мощности отраслей. Использование неоклассических производственных функций приводит также к зависимости коэффициентов матрицы от процессов замещения ресурсов в экономике.

Замечание 2. Из вида преобразования Янга (9) следует, что на решении задачи максимизации (13) верно $(\tilde{p}_j + v_j, \hat{s}_j) \in q_j(\tilde{p} + v, \hat{s}) \partial F_j(\hat{X}^j, \hat{l}^j)$, где $\partial F_j(X^j, l^j)$ - супердифференциал вогнутой функции F_j . Тогда, в случае дифференцируемых производственных функций, в силу равенства (12), получим

$$\frac{\tilde{p}_i + v_i}{\tilde{p}_j} = \frac{\partial F_j(X^j, l^j)}{\partial X_i^j}, \quad (17)$$

$$\frac{\hat{s}_k}{\tilde{p}_j} = \frac{\partial F_j(X^j, l^j)}{\partial l_k^j}. \quad (18)$$

В случае производственных функций с постоянной эластичностью замещения (CES) полученные результаты позволяют в явном виде решить задачу поиска равновесия в производственной сети при заданных сценарием ценах на первичные ресурсы $\hat{s} > 0$ и векторе конечного потребления $\hat{Z}^0 > 0$.

4 Вычисление экономического равновесия и идентификация модели в классе производственных функций с постоянной эластичностью замещения

Идентификацию и калибровку модели мы проводим на основе сформированной базы данных экономической статистики за 2016-2019 годы. В качестве базового года для идентификации параметров модели выбран 2019 год. Входные данные приведены в Приложениях В и С и содержат следующие показатели:

- агрегированные СТЗВ за 2016-2019 годы³;
- индексы цен на первичные ресурсы 2016-2019 по отношению к 2019 году⁴:
 - s_1 индекс цен импортной продукции⁵,
 - s_2 индекс среднегодовой номинальной заработной платы,

³Мы исключаем 2020 год из критериев калибровки модели в связи с существенным нарушением экономических отношений в условиях пандемии Covid-19.

⁴Источник: Росстат [29].

⁵Рассчитывается на основе официальных данных российской таможенной статистики как произведение индекса средних цен импорта в долларах и индекса курса доллара к рублю.

- s_3 индекс-дефлятор ВВП;
- Вектор $Z^0 = (Z_1^0, \dots, Z_m^0)$ конечного потребления в текущих ценах за 2016-2019 годы, образующий II квадрант соответствующих СТЗВ за 2016-2019 год. Для агрегированной модели российской экономики значение $m = 5$.

В соответствии с обозначениями, введенными на Рис.1, по таблице СТЗВ базового 2019 года вычислим значения

$$a_{ij} = \frac{Z_i^j}{Y_j}, \quad b_{kj} = \frac{Z_{m+k}^j}{Y_j}, \quad i, j = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, n, \quad m = 5, \quad n = 3.$$

Будем считать, что технологии производства в отраслях описываются производственными функциями из класса CES, т.е. функциями с постоянной эластичностью замещения следующего вида

$$F_j(X^j, l^j) = \left(\sum_{i=1}^m \left(\frac{X_i^j}{w_i^j} \right)^{-\rho_j} + \sum_{k=1}^n \left(\frac{l_k^j}{w_{m+k}^j} \right)^{-\rho_j} \right)^{-\frac{1}{\rho_j}}, \quad (19)$$

$$w_i^j = (a_{ij})^{\frac{1+\rho_j}{\rho_j}}, \quad w_{m+k}^j = (b_{kj})^{\frac{1+\rho_j}{\rho_j}},$$

$$i, j = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, n, \quad m = 5, \quad n = 3,$$

где $\frac{1}{1+\rho_j}$ - эластичность замещения производственных факторов, а параметр $\rho_j \in (-1, 0) \cup (0, +\infty)$.

В качестве функции полезности конечного потребителя также будем рассматривать функцию из класса CES

$$F_0(X^0) = \left(\sum_{i=1}^m \left(\frac{X_i^0}{w_i^0} \right)^{-\rho_0} \right)^{-\frac{1}{\rho_0}}, \quad w_i^0 = (Z_i^0)^{\frac{1+\rho_0}{\rho_0}} \left(\sum_{k=1}^m Z_k^0 \right)^{-\frac{1+\rho_0}{\rho_0}}. \quad (20)$$

Преобразование Янга (9) сохраняет класс функций CES. Для производственных функций (19) и функции полезности (20) функции себестоимости отраслей (9) и индекс потребительских цен (10) имеют вид

$$q_j(p, s) = \left(\sum_{i=1}^m \left(w_i^j p_i \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} + \sum_{k=1}^n \left(w_{m+k}^j s_k \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} \right)^{\frac{1+\rho_j}{\rho_j}}, \quad (21)$$

$$q_0(p) = \left(\sum_{i=1}^m \left(w_i^0 p_i \right)^{\frac{\rho_0}{1+\rho_0}} \right)^{\frac{1+\rho_0}{\rho_0}}. \quad (22)$$

Будем считать, что выпуск всех отраслей производственной сети строго положительный, тогда $\tilde{p}_j > 0$ для всех $j = 1, \dots, m$. Заметим, что с учетом (21) система уравнений (12) двойственной по Янгу задачи в классе функций CES имеет вид

$$\left(\sum_{i=1}^m \left(w_i^j (\tilde{p}_i + v_i) \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} + \sum_{k=1}^n \left(w_{m+k}^j \hat{s}_k \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} \right)^{\frac{1+\rho_j}{\rho_j}} = \tilde{p}_j. \quad (23)$$

Пусть для некоторого целевого года заданы сценарные условия

- объемы суммарного конечного спроса \hat{Z}_i^0 на продукцию производственных комплексов в текущих ценах, $i = 1, \dots, m$;
- индексы цен на первичные ресурсы $\hat{s} = (\hat{s}_1, \dots, \hat{s}_n)$ по отношению к базовому году.

В заданных сценарных условиях поставим задачу вычисления равновесных цен $\tilde{p}_i > 0$, наценок $v_i \geq 0$, $i = 1, \dots, m$ и равновесных межотраслевых потоков $\hat{Z}_i^j \geq 0$, $\hat{Z}_{m+k}^j \geq 0$, $i, j = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, n$ в ценах целевого года.

Заметим, что тогда соответствующие потоки в постоянных ценах $\hat{X}_i^j \geq 0$, $\hat{l}_k^j \geq 0$, $i, j = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, n$ вместе с вектором конечного потребления \hat{X}^0 должны являться решением задачи распределения ресурсов (3)-(7), а равновесные цены \tilde{p}, v, \hat{s} должны удовлетворять системе (23), причем для всех $i, j = 1, \dots, m$, $k = 1, \dots, n$ верно

$$\hat{Z}_i^j = (\tilde{p}_i + v_i)\hat{X}_i^j, \quad \hat{Z}_{m+k}^j = \hat{s}_k \hat{l}_k^j, \quad \hat{Z}_i^0 = (\tilde{p}_i + v_i)\hat{X}_i^0. \quad (24)$$

В случае производственных функций CES (19) из (17) и (18) получим

$$\frac{\hat{X}_i^j}{F_j(\hat{X}^j, \hat{l}^j)} = a_{ij} \left(\frac{\tilde{p}_j}{\tilde{p}_i + v_i} \right)^{\frac{1}{1+\rho_j}}, \quad i, j = 1, \dots, m, \quad (25)$$

$$\frac{\hat{l}_k^j}{F_j(\hat{X}^j, \hat{l}^j)} = b_{kj} \left(\frac{\tilde{p}_j}{\hat{s}_k} \right)^{\frac{1}{1+\rho_j}}, \quad j = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, n. \quad (26)$$

С учетом (25) и (15) из баланса (14) очевидно получим

$$\begin{aligned} (\tilde{p}_i + v_i)F_i(\hat{X}^i, \hat{l}^i) = \\ \sum_{j=1}^m \frac{\tilde{p}_j}{\tilde{p}_j + v_j} a_{ij} \left(\frac{\tilde{p}_i + v_i}{\tilde{p}_j} \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} (\tilde{p}_j + v_j)F_j(\hat{X}^j, \hat{l}^j) + (\tilde{p}_i + v_i)\hat{X}_i^0. \end{aligned} \quad (27)$$

Соотношение (27) определяет баланс спроса и предложения в экономике с учетом торговой наценки в результате дефицита мощностей в текущих ценах (целевого года) покупателя. Обозначим $\hat{Y} = (\hat{Y}_1, \hat{Y}_2, \dots, \hat{Y}_m)$ равновесный валовый выпуск отраслей в ценах потребителя целевого года, тогда

$$\begin{aligned} \hat{Y}_i &= (\tilde{p}_i + v_i)F_i(\hat{X}^i, \hat{l}^i), \quad i = 1, \dots, m, \\ \Lambda(\tilde{p}, v) &= \|\lambda_{ij}(\tilde{p}, v)\|, \\ \lambda_{ij}(\tilde{p}, v) &= \frac{\tilde{p}_j}{\tilde{p}_j + v_j} a_{ij} \left(\frac{\tilde{p}_i + v_i}{\tilde{p}_j} \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} \geq 0, \quad i, j = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (28)$$

Матрица $\Lambda(\tilde{p}, v)$ продуктивна в силу продуктивности матрицы (15). Учитывая (24) и (28), соотношение (27) позволяет определить равновесный валовой выпуск отраслей \hat{Y} в целевом году

$$\hat{Y}(\hat{Z}^0, \tilde{p}, v) = (E - \Lambda(\tilde{p}, v))^{-1} \hat{Z}^0, \quad (29)$$

Баланс (29) определяет валовой выпуск отраслей в положении равновесия, соответствующий конечному потреблению \hat{Z}^0 , ценам на первичные ресурсы \hat{s} и равновесным ценам производственной сети \tilde{p}, v с учетом наценок.

Зная равновесный валовой выпуск отраслей \hat{Y} , в силу (24), (25) и (26), мы очевидно можем определить равновесное потребление отраслями промежуточных и первичных ресурсов в заданных сценарных условиях. Прежде чем привести окончательные выражения равновесных потоков, заметим, что образованные этими потоками I и III квадрант целевого межотраслевого баланса, объединенные со сценарно заданным вектором конечного потребления \hat{Z}^0 квадранта II, образуют таблицу затраты-выпуск, в которой сумма по строке j и по столбцу j будет расходиться на величину $\frac{v_j}{\tilde{p}_j + v_j} \hat{Y}_j$. Эта величина соответствует прибыли посреднических структур в каждой отрасли, для которой мощности лимитируют выпуск⁶. Добавление соответствующей компоненты к последней строке квадранта III, отражающей прибыль отраслей (см. Рис.1), дает итоговую СТЗВ целевого года, в которой сумма по одноименным строке и столбцу совпадает.

Согласно приведенным рассуждениям, получим

$$\hat{Z}_i^j = \lambda_{ij}(\tilde{p}, v) \hat{Y}_j(\hat{Z}^0, \tilde{p}, v), \quad (30)$$

$$\hat{Z}_{m+k}^j = \frac{\tilde{p}_j}{\tilde{p}_j + v_j} b_{kj} \left(\frac{\hat{s}_k}{\tilde{p}_j} \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} \hat{Y}_j(\hat{Z}^0, \tilde{p}, v), \quad k = 1, \dots, n-1, \quad (31)$$

$$\hat{Z}_{m+n}^j = \frac{\tilde{p}_j}{\tilde{p}_j + v_j} b_{nj} \left(\frac{\hat{s}_n}{\tilde{p}_j} \right)^{\frac{\rho_j}{1+\rho_j}} \hat{Y}_j(\hat{Z}^0, \tilde{p}, v) + \frac{v_j}{\tilde{p}_j + v_j} \hat{Y}_j(\hat{Z}^0, \tilde{p}, v), \quad (32)$$

где $\lambda_{ij}(\tilde{p}, v)$ определены в (28), $\hat{Y}_j(\hat{Z}^0, \tilde{p}, v)$ определены в (29).

Замечание 3.

1) Пусть в равновесии $\Pi_A(\hat{s}) > 0$, тогда существует группа отраслей $J \subset \{1, \dots, m\}$, в которой мощности лимитируют выпуск. В этом случае $v_j > 0$ при $j \in J$ и $v_j = 0$ при $j \notin J$. Для $j \in J$ условие дополняющей нежесткости (см. условие (12) в [9]), соответствующее ограничению (5), гарантирует выполнение равенства

$$(\tilde{p}_j + v_j) M_j = \hat{Y}_j(\hat{Z}^0, \tilde{p}, v). \quad (33)$$

⁶В случае отсутствия ограничения мощности $v_j = 0$ и суммы по строке и столбцу совпадают.

Тогда в предположении, что величины $M_j > 0$, $j \in J$ известны, система уравнений для определения равновесия в модели задается

- равенствами (23) для $j = 1, \dots, m$,
- соотношениями (33) при $j \in J$,
- равенствами $v_j = 0$ при $j \notin J$,
- межотраслевым балансом (29),
- межотраслевыми потоками (30), (31), (32).

2) Если в равновесии $\Pi_A(\hat{s}) = 0$, то производственные мощности не лимитируют выпуск, $v = 0$ и система уравнений для определения равновесия в модели задается - системой (23) с условием $v_j = 0$ для поиска равновесных цен,

- межотраслевым балансом (29),
- межотраслевыми потоками (30), (31), (32).

5 Идентификация и калибровка модели

В данном разделе мы обоснуем выбор параметров производственных функций (21) класса CES и приведем оценки показателей эластичности замещения производственных факторов, полученные на основе калибровки модели по данным экономики РФ за 2016-2019 годы.

Решение обратной задачи идентификации параметров модели мы строим в предположении, что период 2016-2019 годов соответствует относительно стабильному периоду развития экономики РФ без существенных изменений структуры отраслевых комплексов экономики и шоков со стороны спроса. В этих условиях мы принимаем гипотезу о достаточности производственных мощностей комплексов для удовлетворения спроса в этот период. Поэтому в рамках решения обратной задачи идентификации мы рассматриваем модель без учета ограничений на производственные мощности, т.е. $v_j = 0$ для всех $j = 1, \dots, m$, т.е. неравенства (5) фактически исключаются из задачи распределения ресурсов. В этих предположениях решение задачи распределения ресурсов (3)-(7) с учетом (19),(20) полностью воспроизводит СТЗВ базового 2016 года независимо от значений параметра эластичности замещения ρ_j . А именно, справедливо следующее замечание.

Замечание 4. Положим компоненты вектора суммарных затрат первичных ресурсов $l = (l_1, \dots, l_n)$ равными

$$l_i = \sum_{j=1}^m Z_{m+i}^j, i = 1, \dots, n,$$

где величины Z_{m+i}^j соответствуют 'элементам строк квадранта III базовой таблицы СТЗВ 2016 года. Тогда набор векторов

$$\left\{ \hat{X}_i^0 = Z_i^0, \hat{X}_i^j = Z_i^j, \hat{l}_t^j = Z_{m+t}^j, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, m, t = 1, \dots, n \right\},$$

ТАБЛИЦА 1. Результат верификации параметра эластичности замещения производственных факторов в модели

Комплексы	Обрабатывающий	Экспортирующий	Инфраструктурный	Услуги	Финансы
ρ	-0.24	-0.016	-0.05	0.11	21

где $Z_i^j, Z_i^0, Z_{m+t,j}^j$ - элементы СТЗВ базового 2016 года, является решением задачи выпуклого программирования (3)-(7).

Замечание 4 очевидно следует из п.2) Замечания 3 при $p_1 = \dots = p_m = 1, s_1 = \dots = s_n = 1, v_1 = \dots = v_m = 0$ и обосновывает выбор коэффициентов производственных функций (19), за исключением параметров эластичности замещения $\rho_j, j = 1, \dots, m$, которые остаются свободными параметрами и определяются в результате процесса калибровки модели на данных экономической статистики.

Задача калибровки модели основана на сопоставлении данных агрегированных СТЗВ 2016-2019 года, полученных на основе официальной статистики, с результатами расчета СТЗВ по модели в 2016-2019 году. Ввиду вычислительной сложности решения задачи калибровки на полном наборе показателей, в данной работе для определения величин ρ_j использован упрощенный критерий: минимум суммы по годам 2016-2019 абсолютных отклонений (расчета от статистики) объемов использования первичных ресурсов - импорта и добавленной стоимости. Параметры эластичности замещения производственных факторов для пяти комплексов экономики РФ, полученные в результате решения задачи, приведены в Таблице 1. Качество калибровки подтверждается достаточно высокой точностью расчета основных макроэкономических показателей РФ с помощью модели (см. Рис.4).

6 Пример расчетов: анализ инфляционных рисков с помощью модели межотраслевого баланса

Разработанная модель межотраслевого баланса позволяет проводить среднесрочные сценарные расчеты инфляционных рисков. Расчет I и III квадрантов межотраслевого баланса с учетом замещения производственных факторов и смещения равновесных цен сети в заданных сценарием условиях позволяет контролировать балансы основных макроэкономических показателей, которые могут лимитировать экономический рост в РФ. В данном разделе мы применяем разработанную модель для сценарных расчетов инфляционных рисков в российской экономике, а также для оценки факторов риска, связанных с возможным дефицитом услуг инфраструктуры в среднесрочном (1-3 года) диапазоне прогнозирования. Недостаточная развитость инфраструктуры является характерным

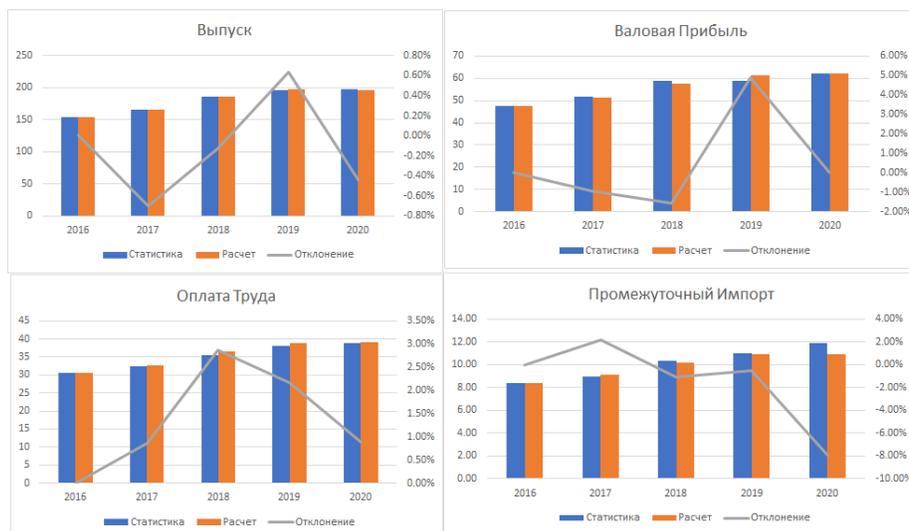


Рис. 4. Качество калибровки модели. Расчет и данные официальной статистики РФ.

признаком развивающихся экономик, к числу которых относится российская экономика. Эксперты называют инфраструктуру каркасом развития современной экономики РФ [30]. В условиях внешних шоков и внутренней реструктуризации, возрастают риски выхода на ограничение по первичным ресурсам в экономике, а также дефицита мощностей инфраструктурного комплекса, что увеличивает риски инфляции издержек.

Методика расчета инфляции в модели опирается на гипотезу о постоянстве структуры расходов домашних хозяйств в разрезе производственных комплексов, выделенных в модели. Эта гипотеза подтверждается данными официальной статистики за 2016-2019 годы (см. Рис.3). Темп инфляции для каждого года рассчитывается как взвешенная сумма равновесных индексов цен p_j на продукцию пяти производственных комплексов, рассчитанных в модели, а также заданных сценарием индексов цен импорта s_1 и индекса-дефлятора ВВП s_3 , т.е.

$$i = \sum_{j=1}^5 k_j p_j + k_I s_1 + k_T s_3.$$

ТАБЛИЦА 2. Коэффициенты для расчета инфляции в модели

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_I	k_T
коэффициенты для расчета инфляции	0.194	0.109	0.096	0.193	0.165	0.132	0.111

Весовые коэффициенты k_j рассчитываются из полной структуры потребления домашних хозяйств и для последних двух слагаемых рассчитываются, соответственно, как доля потребления импорта и доля выплаченных налогов в конечном потреблении домашних хозяйств. Значения коэффициентов $k_j, k_I, k_T, j = 1, \dots, 5$, оцененные по официальным данным СНС Росстата [29] за 2016-2019 год приведены в Таблице 2. С помощью модели рассчитывается оценка темпа инфляции в экономике РФ за период 2017-2027 годы. Входные сценарные условия для расчетов - вектора \hat{Z}^0 и $s = (s_1, s_2, s_3)$ ⁷ соответствуют данным официальной статистики Росстата за 2017-2023 год [29] и базовому прогнозу социально-экономического развития РФ на 2024-2027 годы, опубликованному Минэкономразвития 23.04.2024г. [26]⁸. Соответствующие значения приведены в Таблицах 3.1 и 3.2 Приложения С. Начиная с 2021 года данные о структуре конечного потребления по отраслям отсутствуют в официальной статистике. Метод формирования векторов $\hat{Z}_j^0, j = 1, \dots, 5$ в 2021-2027 годах использует постоянство структуры конечного спроса каждого конечного потребителя в разрезе выделенных комплексов, подтвержденное анализом официальной статистики за 2016-2020 годы (см. Рис.3), а также опирается на доступные статистические и прогнозные данные о конечном потреблении в экономике РФ в 2021-2027 годах. Методика формирования векторов конечного потребления для сценарных расчетов по модели приведена в Приложении D.

Для проведения модельных расчетов мы предполагаем, что потенциальный риск выхода на максимальные мощности на горизонте прогнозирования 1-3 года присутствует только в инфраструктурном комплексе. В терминах модели это означает отсутствие ограничения (5) в задаче распределения ресурсов для всех j , кроме $j = 3$ (инфраструктурный комплекс). Целью представленного расчета по модели является - расчет инфляции в модели и сопоставление с данными статистики и официального прогноза,

⁷Ввиду отсутствия официальной таможенной статистики по индексам цен импорта после 2020 года, начиная с 2021 года индекс s_1 рассчитан на основе среднегодового индекса курса доллара к рублю до 2023 года и прогноза соответствующего показателя на 2024-2027 годы.

⁸Заметим, что ввиду отсутствия официальных таблиц ресурсов и использования в СНС в 2021-2023 годах, эти годы являются прогнозными с точки зрения расчетов по модели.

- качественный анализ дополнительных инфляционных рисков, вызванных дефицитом услуг инфраструктуры в условиях реструктуризации экономики.

Проведение анализа опирается на результаты двух сценарных расчетов: для варианта модели без учета ограничения инфраструктуры ($v_3 = 0$, сценарий 1) и для варианта модели с учетом данного ограничения (ограничение 5 присутствует в модели только для $j = 3$, сценарий 2).

Сценарий 1. Без учета ограничения инфраструктуры. В сценарии 1 расчет проведен с помощью варианта модели без учета ограничений на мощность производственных комплексов. На Рис.5 представлены результаты расчета по сценарию 1 и данные официальной статистики и прогноза отдельных макроэкономических показателей. На верх-

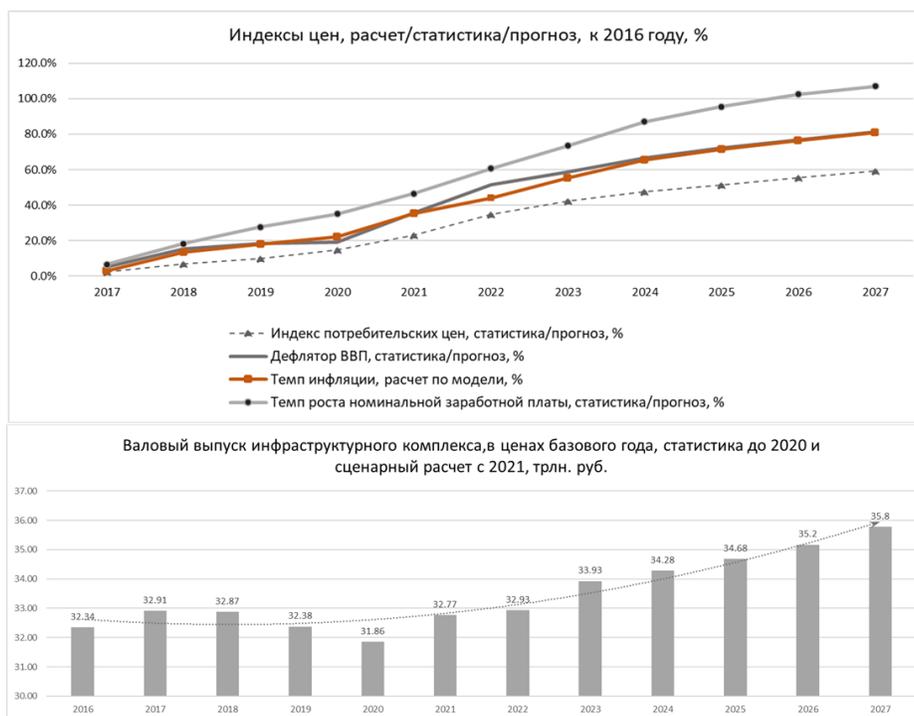


Рис. 5. Сценарий 1. Расчет темпа инфляции и выпуска инфраструктурного комплекса. Сопоставление с данными официальной статистики и прогноза.

нем графике представлен результат расчета темпа инфляции в модели (оранжевая кривая), а также кривые официальной статистики и официального прогноза основных показателей, отражающих темпы инфляции. На нижнем графике приведена оценка выпуска инфраструктурного комплекса в постоянных ценах: факт до 2020 года и далее расчет по модели до 2027 года.

Результаты расчета позволяют сделать следующие выводы:

- расчет инфляции в модели воспроизводит фактическую (до 2023 года) и прогнозную динамику цен в экономике РФ, что подтверждает адекватность модели;
- наблюдается значительный рост выпуска инфраструктурного комплекса, который начинает превышать уровень 2016-2020 года уже в 2023 году; этот результат может говорить о том, что уже в 2023 году издержки в инфраструктурном комплексе могли оказывать влияние на инфляцию и обосновывает важность учета ограничений инфраструктуры при построении макроэкономических прогнозов;
- преимуществом модели является возможность контроля балансов основных лимитирующих факторов в экономике, к которым относятся балансы на рынке труда и внешней торговли; на основе результатов расчетов по модели в заданных сценарных условиях показано, что эти балансы соблюдаются: спрос на труд не превышает предложение рабочей силы (количество занятых), соответствующее официальному прогнозу Минэкономразвития, а объем экспорта стабильно превышает объем импорта⁹. Так, полученные в силу модели оценки балансов в 2024-2025 годах соответствуют спросу на трудовые ресурсы на 4-5% ниже максимально допустимого предложения; импорт в 2024-2025 годах ограничивается величиной до 35 трлн. руб. при экспорте более 43 трлн.руб. в текущих ценах.

Сценарий 2. С учетом ограничения инфраструктуры. Опираясь на экспертные суждения, мы считаем, что российская инфраструктура не имеет запаса избыточных мощностей. Поэтому оценка максимальной допустимой мощности M_3 инфраструктурного комплекса рассчитана в соответствии с максимальными значениями выпуска комплекса за 2016-2020 годы в постоянных ценах и принята в данном расчете равной $M_3 = 33$ трлн.руб. в ценах 2016 года. Результат расчета в сценарии 1 показывает, что спрос на услуги инфраструктуры превышает выбранное в модели пороговое значение $M_3 = 33$ трлн.руб., начиная с 2023 года. Расчет в сценарии 2 проведен с помощью варианта модели, учитывающей ограничение инфраструктуры. Все остальные входные условия совпадают со сценарием 1. Результаты расчета приведены на Рис.6. На верхнем графике Рис.6 представлен результат расчета темпа инфляции в модели (оранжевая кривая), а также кривые официальной статистики

⁹Спрос на труд в модели (оценка потребности в занятых) оценен как отношение суммы элементов строки оплаты труда расчетного третьего квадранта СТЗВ к среднегодовой заработной плате, оценка торгового баланса включает результаты расчетов промежуточного импорта в модели, остальные составляющие заданы сценарными условиями, конечный импорт оценен в рамках гипотезы о сохранении текущей структуры конечного потребления на всем горизонте прогноза

и официального прогноза основных показателей, отражающих динамику цен в экономике. На нижнем графике Рис.6 результат расчета темпа инфляции сопоставлен с расчетом в сценарии 1. Результаты расчета поз-

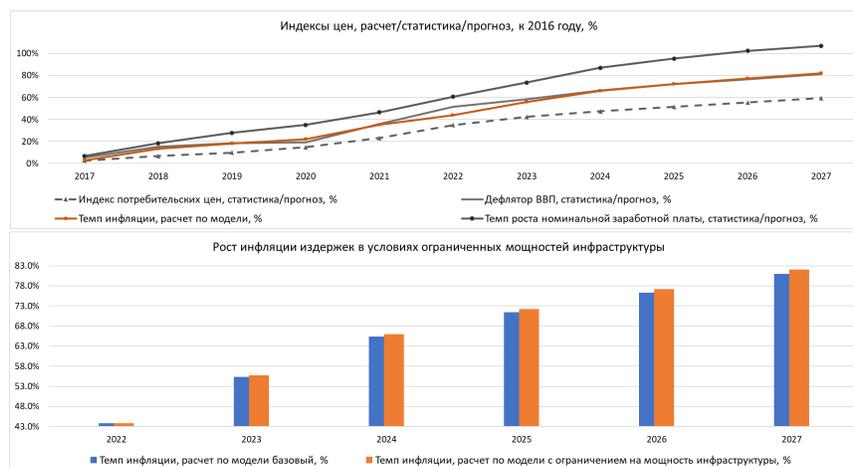


Рис. 6. Сценарий 2. Расчет темпа инфляции с учетом инфраструктурных ограничений. Сопоставление с результатом расчета в сценарии 1.

воляют сделать следующие выводы:

- учет ограничения инфраструктуры в модели приводит к более высоким темпам расчетной инфляции по сравнению с результатом расчета в сценарии 1 (нижний график на Рис.6); такой результат расчетов подтверждает риск роста инфляции издержек в условиях дефицита услуг комплекса;
- расчет соответствующих макроэкономических показателей в модели подтверждает соблюдение основных балансов на горизонте прогноза: экспорт значительно выше импорта, а количество занятых не превышает официальных прогнозных значений.

7 Заключение

В ситуации существенных перестроек производственных сетей и изменения внешних условий построение среднесрочных макроэкономических прогнозов должно проводиться на основе математических моделей, отражающих обратные связи в экономической системе и позволяющих контролировать сбалансированность экономики при изменении ее отраслевой структуры с учетом существенных ресурсных ограничений. Важно также иметь инструмент для оперативного пересчета прогнозов при изменении сценарных условий. Результаты исследования предложенной в работе математической модели межотраслевого баланса и проведение

расчетов, согласованных с данными официальной статистики и прогнозов развития российской экономики, позволяют сделать следующие выводы:

- разработанная модель межотраслевого баланса позволяет учитывать замещение производственных факторов и ограниченность мощностей в условиях реструктуризации экономики, а также контролировать актуальные ресурсные ограничения;
- вычисление экономического равновесия в модели в заданных сценарных условиях позволяет строить оценки как равновесных межотраслевых потоков, так и равновесных цен в производственной сети;
- результаты идентификации и калибровка модели по данным СНС России за 2016-2020 год и расчеты на 2021-2023 годы подтверждают адекватность модельных оценок основных макроэкономических показателей, в том числе оценки темпа инфляции.
- расчетные оценки темпа инфляции в модели в сценарных условиях 2024-2027 годов, соответствующих официальному прогнозу макроэкономического развития, воспроизводят с хорошей точностью официально прогнозируемые темпы инфляции, что говорит о сбалансированности официального прогноза и подтверждает качество прогнозных расчетов по модели;
- расчеты с помощью модели показали, что инфраструктурные ограничения могут являться фактором инфляционных рисков в ближайшие годы в отечественной экономике, что может являться аргументом для реализации программ по улучшению инвестиционного климата в инфраструктурном комплексе.

Результаты работы показывают, что математическая модель межотраслевого баланса с учетом замещения производственных факторов и ограниченности мощностей отраслей может быть положена в основу методики оперативного среднесрочного сценарного прогнозирования экономических рисков развития современной отечественной экономики.

References

- [1] C. Chakraborty, A. Joseph, *Machine Learning at Central Banks*, Bank of England Staff Working Paper, **674** (2017)
- [2] D. Kreptsev, S. Seleznev, *Forecasting for the Russian Economy Using Small-Scale DSGE Models*, Russian Journal of Money and Finance, **77:3** (2018), 51–67.
- [3] B.P. Dixon, D.W. Jorgenson (eds.), *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, Elsevier B.V., North Holland, (2012).
- [4] A.A. Shaninin, *Young Duality and Aggregation of Balances*, Doklady Mathematics, **1** (2020), 330–333.
- [5] A.A. Shaninin, *Problem of Aggregating of an Input-Output Model and Duality* Computational Mathematics and Mathematical Physics, **61** (2021), 153–166

- [6] N.K. Obrosova, A.A. Shanenin, *Young duality of variational inequalities. An application for the analysis of interactions in production networks*, Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki UrO RAN, **29**:3 (2023), 88–105;
- [7] N. Obrosova, A. Shanenin, *General Equilibrium Models in Production Networks with Substitution of Inputs* In: Khachay, M., Kochetov, Y., Eremeev, A., Khamisov, O., Mazalov, V., Pardalos, P. (eds) Mathematical Optimization Theory and Operations Research. MOTOR 2023. Lecture Notes in Computer Science, **13930** (2023) Springer, Cham.
- [8] A. Boranbayev, N. Obrosova, A. Shanenin, *Nonlinear input-output balance and Young duality: analysis of Covid-19 macroeconomic impact on Kazakhstan*, Siberian Electronic Mathematical Reports, **19**(2) (2022), 835–851
- [9] N. Obrosova, A. Shanenin, *A nonlinear Input-Output model with capacity constraints*, Siberian Electronic Mathematical Reports, (2024).
- [10] W.W. Leontief, *Quantitative Input-Output Relations in the Economic System of the United States*, Review of Economics and Statistics, **18** (1936), 105–125
- [11] W.W. Leontief, *The Structure of American Economy, 1919-1939: An Empirical Application of Equilibrium Analysis*, Oxford University Press, (1951)
- [12] Y.V. Yaremenko, *Teoriia i metodologiya issledovaniia mnogourovnevoi ekonomiki*, Nauka, (1997)
- [13] S.S. Ashmanov, *Vvedenie v matematicheskuyu ekonomiku [Introduction to mathematical economy]*, Moscow, Nauka, (1984)
- [14] H.Nikaido *Convex structures and economic theory*, N.Y., London, Academic Press, (1968)
- [15] *System of National Accounts 2008*, European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations and World Bank, New York, Dec. (2009)
- [16] R. Stone, *Input-Output and National Accounts*, (1961)
- [17] A.A. Ebiefung, M.M. Kostreva, *The generalized Leontief input-output model and its application to the choice of new technology*, Ann Oper Res **44** (1993), 161–172
- [18] F. Tanaka, *Applications of Leontief's input-output analysis in our economy*, Academic Research Group, Faculty of Economics, Nagasaki Prefectural University, (2011)
- [19] R.E. Miller, P.D. Blair, *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Second Edition, Cambridge University Press, (2009).
- [20] V.V. Ivanter, *Role of Input-Output Model in Macroeconomic Analysis and Forecasting*, Stud. Russ. Econ. Dev., **29**, (2018), 581–583
- [21] A.A. Shirov, *Use of Input-Output Approach for Supporting Decisions in the Field of Economic Policy*, Stud. Russ. Econ. Dev., **29** (2018), 588–597 .
- [22] I.D. Masakova, *The Russian Practice of Compiling Input-Output Tables: Problems and Prospects of Development*, Stud. Russ. Econ. Dev., **30** (2019), 119–128
- [23] A.A. Ponomarenko, S.V. Popova, A.A. Sinyakov, N.A. Turdyeva, D.N. Chernyadyev. *Assessing the consequences of the epidemic for the Russian economy through the prism of the inter-industry balance*, Analytical note of the Bank of Russia, (2020)
- [24] M.N. Uzyakov, A.Y. Maslov, A.Y. Gubanov, *On the development of an updated version of the series of input-output balances of the Russian Federation in constant and current prices for 1980-2004*, Scientific Proceedings: Institute of Economic Forecasting RAS, **4** (2006), 648–657.
- [25] A. Sayapova, *Product and Industry Input-Output Tables*, Scientific Proceedings: Institute of Economic Forecasting RAS, **11** (2013), 405–429.
- [26] The Ministry of Economic Development of the Russian Federation Homepage <https://www.economy.gov.ru>. Last accessed 8 July 2024
- [27] A. Sayapova, *Product and Industry Input-Output Tables*, Scientific Proceedings: Institute of Economic Forecasting RAS, **11** (2013), 405–429.

- [28] Organisation for Economic Co-operation and Development Homepage <https://www.oecd.org/en/data/datasets/input-output-tables.html>. Last accessed 8 July 2024
- [29] Federal State Statistics Service Homepage <https://eng.rosstat.gov.ru/folder/13913>. Last accessed 8 July 2024
- [30] A. Shirov, D. Belousov, A. Blokhin et al., *Russia 2035: The New Quality of the National Economy*, Stud. Russ. Econ. Dev., **77** (2024), 6–20.

Приложения

А Агрегированные комплексы экономики РФ

код ОКПД2	обрабатывающий комплекс, чистая отрасль
A 01	Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях
C (10-12)	Производство пищевых продуктов, напитков, табачных изделий
C (13-15)	Производство текстильных изделий, одежды, кожи и изделий из кожи
C 18	Деятельность полиграфическая и копирование носителей информации
C 21	Производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях
C 23	Производство прочей неметаллической минеральной продукции
C 26	Производство компьютеров, электронных и оптических изделий
C 27	Производство электрического оборудования
C 28	Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки
C 29	Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов
C 30	Производство прочих транспортных средств и оборудования
C (31-32)	Производство мебели, прочих готовых изделий
C 33	Ремонт и монтаж машин и оборудования
F (41-43)	Строительство
G 45	Торговля оптовая и розничная автотранспортными средствами и мотоциклами и их ремонт
J (62-63)	Разработка компьютерного программного обеспечения, консультационные услуги в данной области и другие сопутствующие услуги; деятельность в области информационных технологий
M 71	Деятельность в области архитектуры и инженерно-технического проектирования; технических испытаний,
M 72	Научные исследования и разработки
M (74-75)	Деятельность профессиональная научная и техническая прочая; деятельность ветеринарная
S 95	Ремонт компьютеров, предметов личного потребления и хозяйственно-бытового назначения
код ОКПД2	экспортирующий комплекс, чистая отрасль
A 02	Лесоводство и лесозаготовки
A 03	Рыболовство и рыбоводство
B (05-09)	Добыча полезных ископаемых
C 16	Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения
C 17	Производство бумаги и бумажных изделий
C 19	Производство кокса и нефтепродуктов
C 20	Производство химических веществ и химических продуктов
C 22	Производство резиновых и пластмассовых изделий
C 24	Производство металлургическое
C 25	Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования
G 46	Торговля оптовая, кроме оптовой торговли автотранспортными средствами и мотоциклами
H 49	Деятельность сухопутного и трубопроводного транспорта
H 50	Деятельность водного транспорта
код ОКПД2	инфраструктура, чистая отрасль
D 35	Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха
E 36	Забор, очистка и распределение воды
E (37-39)	Сбор и обработка сточных вод; сбор, обработка и утилизация отходов; обработка вторичного сырья; предоставление услуг в области ликвидации последствий загрязнений и прочих услуг, связанных с удалением отходов
H 51	Деятельность воздушного и космического транспорта
J 61	Деятельность в сфере телекоммуникаций
O 84	Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение
P 85	Образование
Q 86	Деятельность в области здравоохранения
Q (87-88)	Деятельность по уходу с обеспечением проживания; предоставление социальных услуг без обеспечения проживания

СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ С ИНФРАСТРУКТУРНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ 173

код ОКПД2	услуги, чистая отрасль
G 47	Торговля розничная, кроме торговли автотранспортными средствами и мотоциклами
H 52	Складское хозяйство и вспомогательная транспортная деятельность
H 53	Деятельность почтовой связи и курьерская деятельность
I (55-56)	Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания
J 58	Деятельность издательская
J (59-60)	Производство кинофильмов, видеофильмов и телевизионных программ, издание звукозаписей и нот; деятельность в области телевизионного и радиовещания
M 73	Деятельность рекламная и исследование конъюнктуры рынка
N 77	Аренда и лизинг
N 78	Деятельность по трудоустройству и подбору персонала
N 79	Деятельность туристических агентств и прочих организаций, предоставляющих услуги в сфере туризма
N (80-82)	Деятельность по обеспечению безопасности и проведению расследований, обслуживанию зданий и территорий, административно-хозяйственная, вспомогательная деятельность по обеспечению функционирования организации, деятельность по предоставлению прочих вспомогательных услуг для бизнеса
R (90-92)	Деятельность творческая, в области искусства и организации развлечений, библиотек, архивов, музеев и прочих объектов культуры, по организации и проведению азартных игр и заключению пари, по организации и проведению лотерей
R 93	Деятельность в области спорта, отдыха и развлечений
S 94	Деятельность общественных организаций
S 96	Деятельность по предоставлению прочих персональных услуг
T	Деятельность домашних хозяйств как работодателей; недифференцированная деятельность частных домашних хозяйств по производству товаров и оказанию услуг для собственного потребления
код ОКПД2	финансы, чистая отрасль
K (64-66)	Деятельность финансовая и страховая
L 68	Деятельность по операциям с недвижимым имуществом
M (69-70)	Деятельность в области права и бухгалтерского учета; деятельность головных офисов; консультирование по вопросам управления

В Агрегированные таблицы СТЗВ отечественной продукции РФ, 2016-2020 годы

2016 г., трлн. руб.	Обрабатывающий	Экспортирующий	Инфраструктурный	Услуги	Финансы	Конечное потребление	Выпуск
Обрабатывающий	9,39	1,64	2,39	1,12	0,71	25,45	40,71
Экспортирующий	6,40	13,16	3,14	0,95	0,40	20,51	44,56
Инфраструктурный	1,48	3,03	4,63	1,24	0,64	21,32	32,34
Услуги	1,50	2,27	1,73	2,09	0,52	10,52	18,63
Финансы	1,48	2,03	1,00	2,00	1,83	8,81	17,15
Промежуточный импорт	3,92	2,06	1,31	0,69	0,38		
Оплата труда	7,09	5,08	11,01	4,75	2,63		
Прибыль	9,45	15,28	7,13	5,79	10,04		
Выпуск	40,71	44,56	32,34	18,63	17,15		

2017 г., трлн. руб.	Обрабатывающий	Экспортирующий	Инфраструктурный	Услуги	Финансы	Конечное потребление	Выпуск
Обрабатывающий	9,61	1,76	2,67	1,27	0,81	27,42	43,53
Экспортирующий	7,02	15,09	3,47	1,10	0,43	22,37	49,47
Инфраструктурный	1,72	3,28	4,87	1,32	0,72	22,69	34,61
Услуги	1,54	2,37	1,94	2,19	0,52	11,46	20,02
Финансы	1,62	2,21	1,10	2,25	2,13	9,11	18,42
Промежуточный импорт	4,29	2,21	1,36	0,71	0,35		
Оплата труда	7,51	5,64	11,64	4,99	2,70		
Прибыль	10,21	16,92	7,56	6,19	10,75		
Выпуск	43,53	49,47	34,61	20,02	18,42		

2018 г., трлн. руб.	Обрабатывающий	Экспортирующий	Инфраструктурный	Услуги	Финансы	Конечное потребление	Выпуск
Обрабатывающий	10,48	1,95	2,86	1,43	0,92	29,50	47,15
Экспортирующий	7,68	18,18	4,06	1,24	0,45	27,98	59,60
Инфраструктурный	1,82	3,57	5,09	1,38	0,79	24,86	37,52
Услуги	1,64	2,69	2,02	2,47	0,57	12,33	21,72
Финансы	1,71	2,33	1,15	2,49	2,39	9,89	19,96
Промежуточный импорт	4,88	2,62	1,61	0,82	0,38		
Оплата труда	8,31	5,88	12,90	5,55	2,90		
Прибыль	10,61	22,37	7,82	6,34	11,56		
Выпуск	47,15	59,60	37,52	21,72	19,96		

2019 г., трлн. руб.	Обрабатывающий	Экспортирующий	Инфраструктурный	Услуги	Финансы	Конечное потребление	Выпуск
Обрабатывающий	11,76	2,07	2,87	1,59	0,98	31,99	51,26
Экспортирующий	7,84	18,54	3,88	1,11	0,44	29,36	61,17
Инфраструктурный	1,95	3,73	5,47	1,48	0,75	25,79	39,15
Услуги	1,69	2,80	2,16	2,72	0,60	13,59	23,56
Финансы	1,82	2,38	1,18	2,87	2,61	10,73	21,59
Промежуточный импорт	5,27	2,89	1,61	0,87	0,36		
Оплата труда	8,97	6,40	13,59	5,88	3,27		
Прибыль	11,97	22,37	8,39	7,05	12,58		
Выпуск	51,26	61,17	39,15	23,56	21,59		

2020 г., трлн. руб.	Обрабатывающий	Экспортирующий	Инфраструктурный	Услуги	Финансы	Конечное потребление	Выпуск
Обрабатывающий	12,63	2,10	2,97	1,63	1,05	33,75	54,14
Экспортирующий	8,04	17,07	3,80	1,15	0,47	25,85	56,38
Инфраструктурный	1,95	3,80	5,58	1,40	0,82	27,04	40,59
Услуги	1,55	2,73	2,35	3,02	0,65	12,70	23,00
Финансы	2,00	2,69	1,28	2,88	3,01	11,65	23,51
Промежуточный импорт	5,79	3,07	1,58	0,99	0,43		
Оплата труда	8,99	5,92	14,63	5,91	3,34		
Прибыль	13,19	19,00	8,39	6,01	13,74		
Выпуск	54,14	56,38	40,59	23,00	23,51		

С Сценарные условия для расчетов по модели

ТАБЛИЦА 3. Индексы цен первичных ресурсов к 2019 году

	Промежуточный импорт	Оплата труда	Прибыль
2016	0,963	0,767	0,837
2017	0,886	0,818	0,882
2018	0,977	0,913	0,970
2019	1,000	1,000	1,000
2020	1,096	1,073	1,009
2021	1,169	1,196	1,174
2022	0,971	1,365	1,360
2023	1,218	1,540	1,455
2024	1,362	1,749	1,570
2025	1,418	1,895	1,658
2026	1,455	2,027	1,734
2027	1,493	2,160	1,810

ТАБЛИЦА 4. Конечное потребление продукции агрегированных комплексов в текущих ценах, трлн. руб

	Обрабаты- вающий	Экспорти- рующий	Инфра- структур- ный	Услуги	Финансы
2016	25,45	20,51	21,32	10,52	8,81
2017	27,42	22,37	22,69	11,46	9,11
2018	29,50	27,98	24,86	12,33	9,89
2019	31,99	29,36	25,79	13,59	10,73
2020	33,75	25,85	27,04	12,70	11,65
2021	40,73	37,46	31,35	15,62	13,20
2022	45,76	40,77	35,52	17,37	14,70
2023	53,11	40,14	41,29	19,55	16,74
2024	59,52	44,98	46,27	21,91	18,76
2025	64,33	48,62	50,01	23,68	20,28
2026	68,89	52,06	53,56	25,36	21,72
2027	73,80	55,78	57,38	27,17	23,27

D Метод формирования сценарных векторов конечного потребления за 2021-2027 годы

Официальная статистика приводит данные по конечному потреблению агентов с учетом потребления импорта. Поэтому для расчета суммарного конечного потребления отечественной продукции каждым агентом в 2021-2023 году данные статистики из Таблицы 5 умножены на соответствующие доли отечественной продукции в конечном потреблении каждого агента, оцененные по 2016-2020 году. Эти доли являются относительно стабильными и приведены в Таблице 6.

ТАБЛИЦА 5. Конечное потребление по потребителям, статистика [29], текущие цены, млрд. руб.

	Конечный потребитель	2021	2022	2023
1	Домашние хозяйства	67.8152	75.3587	85.7344
2	Государство	23.2430	26.6569	31.8011
3	Основные фонды	30.8331	35.3721	44.2380
4	Экспорт	40.4215	43.4928	39.7370

ТАБЛИЦА 6. Доля отечественной продукции в конечном потреблении агентов, оценка по данным статистики за 2016-2020 годы [29]

	Потребитель	Доля в процентах
1	Домашние хозяйства	76
2	Государство	99.5
3	Основные фонды	82
4	Экспорт	95

Далее полученные величины суммарного конечного потребления каждого агента за 2021-2023 год распределяется по пяти агрегированным комплексам в соответствии с гипотезой о постоянной (в номинальном выражении) структуре конечного потребления каждого агента (см. Таблицу 7).

Суммируя полученные вектора конечного потребления по агентам, получаем итоговые вектора конечного потребления за 2021-2023 годы.

Ввиду отсутствия прогнозных значений конечного потребления агентов в официальном макроэкономическом прогнозе Минэкономразвития от 24.04.2024 года [26], оценка сценарных векторов конечного потребления для 2024-2027 годов основана на экстраполяции полученного суммарного вектора конечного потребления для 2023 года. Экстраполяция использует официальный прогноз динамики номинального валового внутреннего продукта (ВВП), который отражает суммарные значения конечного потребления: вектор конечного потребления за 2023 год умножаем

ТАБЛИЦА 7. Доля конечного потребления по производственным комплексам, оценка по данным статистики за 2016-2020 годы [29]

	Потребитель	Обрабатывающий	Экспортирующий	Инфраструктурный	Услуги	Финансы
1	Домашние хозяйства	0.259	0.114	0.153	0.249	0.223
2	Государство	0.010	0.003	0.918	0.053	0.014
3	Основные фонды	0.807	0.142	0.006	0.008	0.034
4	Экспорт	0.174	0.726	0.053	0.033	0.012

на отношение прогноза номинального ВВП целевого года к ВВП 2023 года. Данные по номинальному объему ВВП в текущих ценах приведены в Таблице 8. Результат оценки сценарных векторов конечного потребления

ТАБЛИЦА 8. ВВП в текущих ценах, статистика 2023 и прогноз 2024-2027 от 24.04.2024 [26]

	2023	2024	2025	2026	2027
ВВП в текущих ценах, трлн. руб.	172.15	191.44	206.91	221.59	237.39
Индекс ВВП к 2023 г.	1.000	1.112	1.202	1.287	1.379

приведен в Таблице 4 Приложения С.

NATALIA OBROSOVA
 MOSCOW CENTER FOR FUNDAMENTAL AND APPLIED MATHEMATICS, LOMONOSOV
 MOSCOW STATE UNIVERSITY,
 GSP-1, LENINSKIE GORY,
 119991, MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION,
 FEDERAL RESEARCH CENTER «COMPUTER SCIENCE AND CONTROL» OF RUSSIAN
 ACADEMY OF SCIENCES,
 VAVILOV STREET 44/2,
 119333, MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION
 Email address: nobrosova@ya.ru

ALEXANDER SPIRIDONOV
 FEDERAL RESEARCH CENTER «COMPUTER SCIENCE AND CONTROL» OF RUSSIAN
 ACADEMY OF SCIENCES,
 VAVILOV STREET 44/2,
 119333, MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION
 Email address: sss512@ya.ru

ALEXANDER SHANANIN
MOSCOW CENTER FOR FUNDAMENTAL AND APPLIED MATHEMATICS, LOMONOSOV
MOSCOW STATE UNIVERSITY,
GSP-1, LENINSKIE GORY,
119991, MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION,
FEDERAL RESEARCH CENTER «COMPUTER SCIENCE AND CONTROL» OF RUSSIAN
ACADEMY OF SCIENCES,
VAVILOV STREET 44/2,
119333, MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION,
MOSCOW INSTITUTE OF PHYSICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY),
INSTITUTSKIY PER. 9,
141701, DOLGOPRUDNY, MOSCOW REGION, RUSSIAN FEDERATION
Email address: alexshan@ya.ru