
СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ

МОДУЛЬНАЯ МЕЖОТРАСЛЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ КВАРТАЛЬНОГО, ГОДОВОГО И СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ*

А.А. Быков, В.А. Пархименко, Э.М. Аксень**

Аннотация. Разработан подход к построению модульной межотраслевой модели белорусской экономики, позволяющей осуществлять сценарное прогнозирование макроэкономических параметров в горизонте квартального, годового и среднесрочного периодов. Предложенная модульная архитектура модели подразумевает использование в качестве «ядра» агрегированную 16-отраслевую модель «Затраты – Выпуск» в прямой и обратной («ценовой») формулировках и множество дополнительных «модулей», полностью реализованных авторами или потенциально возможных для «присоединения» к «ядру». Это модули прогнозирования курса национальной валюты, базовой инфляции, физических объемов экспорта, валового накопления основного капитала и т. п.

Ключевые слова: макроэкономическое прогнозирование, межотраслевой баланс, модель «Затраты – Выпуск», экономическое моделирование.

JEL-классификация: C53, C67, E17, O41.

DOI: 10.46782/1818-4510-2023-1-31-45

Материал поступил 14.03.2023 г.

Экономическая наука за последние 250 лет предложила огромное количество теорий, концепций, моделей и инструментов для анализа поведения как отдельных хозяйствующих субъектов, так и сложных экономических систем на национальном, региональном и глобальном уровнях. Вершиной экономической науки по праву считается (по крайней мере, должно считаться) прикладное прогнозирование, в котором от теоретического понимания и объяснения действий экономических агентов осуществляется переход к предвидению их действий и динамики экономической ситуации в целом. Если экономическая теория не может дать более-менее аккуратный прогноз будущего, то вероятно, что ее статус как совокупности обоснованных науч-

ных знаний по праву будет считаться неустойчивым.

Однако в глобальной экономике несколько последних лет происходят известные всем процессы структурных сдвигов и перестройки. В подобных условиях задача макроэкономического прогнозирования становится крайне сложной. Как сформулировал нобелевский лауреат по экономике 2008 г. Пол Кругман, «предсказывать будущее всегда было сложно, но в наши дни становится сложно даже предсказать прошлое»¹. Правда, Кругман имел в виду частый пересмотр статистическими ведомствами ранее опубликованной официальной

¹ URL: <https://www.nytimes.com/2023/03/03/opinion/inflation-us-economy.html>

* Работа выполнена по заказу Белорусского института стратегических исследований (<https://bisr.gov.by/>).

** **Быков Алексей Александрович** (aliaksei.bykau@yandex.ru), доктор экономических наук, профессор, Белорусский государственный экономический университет (г. Минск, Беларусь); <https://orcid.org/0000-0003-2005-9061>;

Пархименко Владимир Анатольевич (parkhimenko@bsuir.by), кандидат экономических наук, доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (г. Минск, Беларусь); <https://orcid.org/0000-0001-7690-8873>;

Аксень Эрнест Маврицевич (eaksen@mail.ru), доктор экономических наук, профессор, Белорусский государственный экономический университет (г. Минск, Беларусь); <https://orcid.org/0000-0001-6627-8521>

статистики, однако думается, что и этот рассматриваемый им факт отражает крайне неопределенную ситуацию, в которой сегодня оказалась мировая экономика. Возможно, самое большее, что в настоящий момент может дать практикам экономическая наука, – это всего лишь показать, насколько реализуем тот или иной сценарий будущего, насколько он согласован с имеющимися данными о состоянии экономики в текущий момент.

В научной литературе и на практике предложено огромное количество типов моделей для прогнозирования на национальном и глобальном уровнях: эконометрические (в частности, структурные эконометрические модели – SEM), динамические стохастические модели общего равновесия (DSGE), вычислимые модели общего равновесия (CGE), агентные модели (ACE) и др. Их рассмотрение, включая сильные и слабые стороны, выходит за рамки статьи, которая ориентирована исключительно на методологию «Затраты – Выпуск», однако этот вопрос хорошо освещен в работах как зарубежных² (Широв, Брусенцева, Савчишина, Каминова, 2022; Almon, 2016), так и отечественных авторов (Пелипас, 2021). Представляется (правда, это вряд ли возможно доказать), что прогнозные модели, построенные в разных методологиях, при серьезном увеличении числа включенных в них параметров и все большей доле эмпирически оцениваемых зависимостей, должны становиться более похожими друг на друга как в смысле формируемых прогнозов, так и описываемых отношений. В конце концов все модели описывают одну и ту же экономическую реальность.

Что касается выбора методологии «Затраты – Выпуск» для данного исследования, то он прежде всего обоснован тем обстоятельством, что эта методология имеет серьезную обеспеченность данными со стороны статистических органов, полностью согласованными со всеми официальными статистическими показателями на микро- и макроуровнях. А ввиду природы самой мо-

дели (баланс) существует автоматическая взаимоувязка множества микро- и макроэкономических показателей, связанных с межотраслевым промежуточным потреблением, а также с конечным использованием, валовой добавленной стоимостью, налогами, наценками и т. д.

В рамках методологии «Затраты – Выпуск», как представляется, наиболее развитым направлением является подход INFORUM, начало которому положил в 1967 г. профессор Клоппер Алмон из Мэрилендского университета. В настоящее время проект INFORUM за более чем 50 лет своего существования превратился в развитую методологию макроэкономического моделирования. Судя по официальной информации³, за эти годы защищено более 40 кандидатских диссертаций, улучшающих отдельные элементы прогнозной модели (например, моделирование инвестиционного поведения фирм или моделирование расходов домашних хозяйств), было создано специальное программное обеспечение для моделирования (G7, Build, Interdyme). С 1993 по 2019 г. проводилась ежегодная научная конференция, наконец была создана совокупность моделей для различных стран (на текущий момент 13 стран), связанных воедино посредством двусторонней торговой модели (Bilateral Trade Model, BTM).

Справедливости ради отметим, что в научной литературе не приводятся систематические оценки точности прогнозов, получаемых с помощью моделей класса INFORUM. Тем не менее INFORUM может по праву считаться эталоном в рамках методологии «Затраты – Выпуск». В России подход INFORUM представлен моделью RIM и рядом дополнительных моделей, которые созданы и поддерживаются экспертами Института народнохозяйственного прогнозирования РАН⁴.

Предлагаемый в статье подход к построению модели для прогнозирования концептуально очень близок к подходу INFORUM, однако ни по формальным, ни по содержательным признакам не относится явным образом к нему.

² URL: <https://www.federalreserve.gov/newsevents/speech/50f93e5451e342848b2b9b5e775bf9ae.htm>; URL: <https://www.piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/further-thoughts-dsge-models>

³ URL: <http://inforumweb.informecon.com/>

⁴ URL: <http://macroforecast.ru/>

Концептуальная структура модели

Разработанная модель белорусской экономики может быть представлена в виде следующей логико-структурной схемы (рис. 1). Закрашенные элементы задаются экзогенно, не закрашенные – рассчитываются.

Так как предлагаемая модель является развитием модели, разработанной авторами ранее (Пархименко, Быков, 2020), читатели отсылаются за детальным описанием ее логики к указанной публикации. Остановимся лишь на некоторых важных с нашей точки зрения уравнениях.

Ценовая модель Леонтьева, входящая в «ядро» на рис. 1, используется в следующей спецификации:

$$P_{\text{отеч}} = (E - A_{\text{отеч}}^T)^{-1} \cdot (A_{\text{имп}}^T \cdot P_{\text{имп}} + V + T), \quad (1)$$

где $P_{\text{отеч}}$ – вектор-столбец цен на отечественные товары и услуги;

$A_{\text{отеч}}^T$ – транспонированная матрица прямых затрат отечественных товаров и услуг на 1 руб. выпущенных отечественных товаров и услуг;

$A_{\text{имп}}^T$ – транспонированная матрица прямых затрат импортных товаров и услуг на 1 руб. выпущенных отечественных товаров и услуг;

$P_{\text{имп}}$ – вектор-столбец цен на импортные товары и услуги (руб.);

V – вектор-столбец суммы валовой добавленной стоимости на 1 руб. выпуска отечественных товаров и услуг;

T – вектор-столбец суммы чистых налогов на продукты, используемых в промежуточном потреблении, на 1 руб. выпуска отечественных товаров и услуг;

E – единичная матрица соответствующей размерности.

Получаемые в (1) индексы цен на отечественные товары и услуги напрямую (через соответствующие коэффициенты цено-

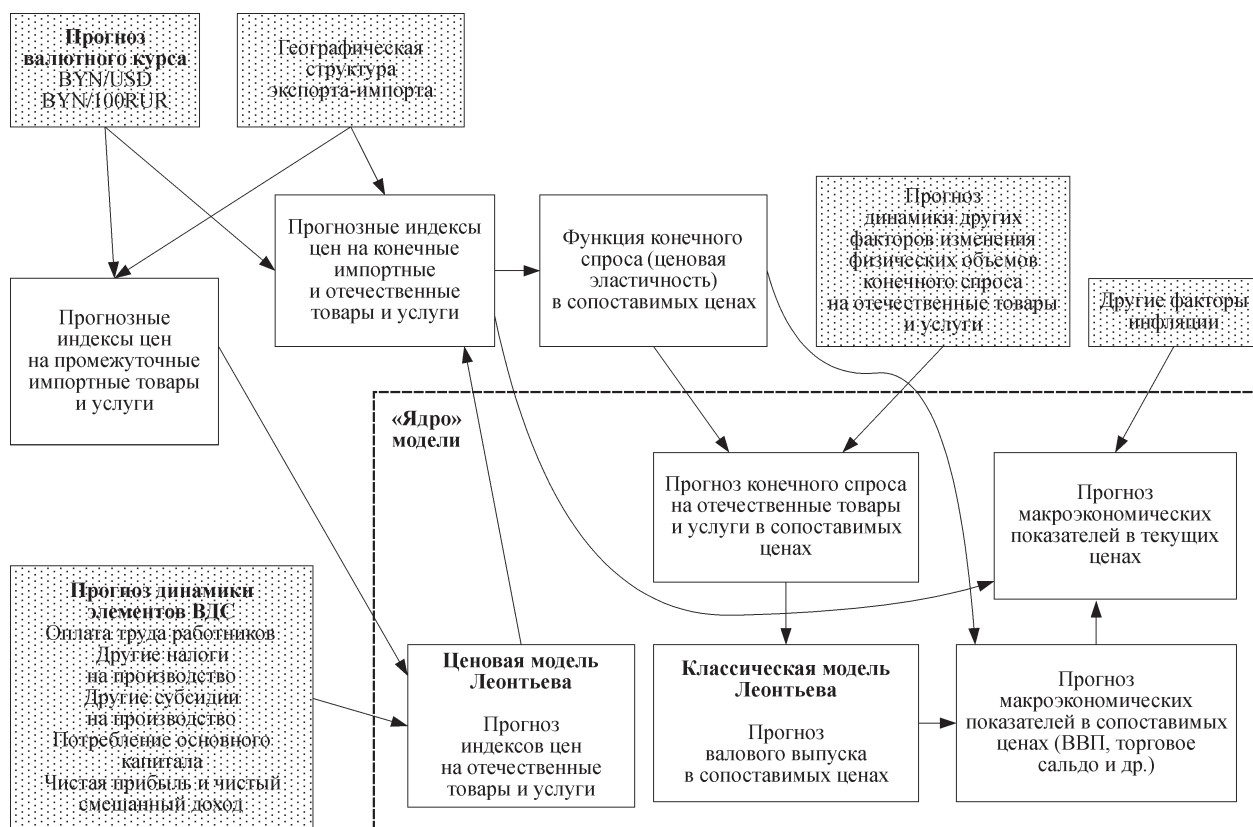


Рис. 1. Общая логико-структурная схема модели

Источник. Авторская разработка.

вой эластичности спроса на внутреннем и внешнем рынках) влияют на конечный спрос на эти товары и услуги. С учетом моделирования и других факторов, влияющих на конечный спрос, предполагается наличие функциональной связи вида:

$$y_{\text{отеч}}^i = k \cdot (p_{\text{отеч}}^i)^{-r}, \quad (2)$$

где $y_{\text{отеч}}^i$ – объем конечного спроса по i -му товару или услуге в сопоставимых ценах;

k – некоторая константа;

$p_{\text{отеч}}^i$ – цена единицы i -го товара или услуги;

r – коэффициент эластичности, не учитывающий знак, т. е. $r \in (0; +\infty)$.

При этом (2) определялось для внутреннего и внешнего рынка по-разному, так как внутренние и внешние цены могут изменяться разнонаправленно, а кроме того, эластичность спроса на различных рынках, как правило, неодинаковая.

Совокупность $y_{\text{отеч}}^i$ формирует вектор-столбец конечного спроса на отечественные товары и услуги, который в дальнейшем используется в классической модели Леонтьева в следующей спецификации:

$$X = (E - A_{\text{отеч}})^{-1} \cdot Y_{\text{отеч}}, \quad (3)$$

где $Y_{\text{отеч}}$ – вектор-столбец, содержащий данные по конечному использованию (включая экспорт) отечественных товаров и услуг.

Уравнения (1) – (3) вкупе с некоторой дополнительной информацией позволяют далее получить прогнозные оценки основных макроэкономических показателей в сопоставимых и текущих ценах.

Процедура пошагового прогнозирования

С точки зрения аналитика-пользователя (а модель реализована в виде программы VBA для Microsoft Excel), весь процесс прогнозирования можно описать следующим образом.

Исходные данные модели представлены агрегированными матрицами использования отечественных товаров и услуг, импортных товаров и услуг, товаров и услуг в основных ценах, а также налогов. пользо-

вателем задаются входные параметры, среди которых:

- изменения спроса в физических единицах по каждой отрасли в разрезе элементов конечного использования – конечного потребления, валового накопления и экспорта;

- изменения мировых цен на каждый вид продукции. Принято, что влияние мировых цен одинаково для экспорта и импорта, оно не влияет на объемы спроса на внутреннем и внешних рынках;

- изменение валютных обменных курсов белорусского рубля к доллару США и российскому рублю в прогнозном периоде к базисному периоду. Изменение курсов приводит к относительным изменениям цен и изменениям спроса, что позволяет описывать, например, девальвационный эффект (более подробно воздействие мировых цен и валютных курсов на макроэкономические показатели приводится в рассмотренных ниже примерах);

- общий показатель инфляции для всех товаров и услуг и всех секторов экономики, который может применяться для описания процессов изменения цен, не связанных с изменением валютных курсов и отдельных мировых цен; этот показатель не оказывает влияния на физические объемы;

- индекс изменения доходов секторов экономики, который может влиять на величину элементов добавленной стоимости (оплаты труда, прибыли, потребления основного капитала, налогов), тем самым изменяя цены на отечественные продукты, а также спрос на готовые отечественные и импортные продукты на внутреннем рынке.

Дополнительно в модели задаются структурные параметры – специальные коэффициенты, регулируемые пользователем. Это доли отдельных регионов в экспорте и импорте, а также коэффициенты эластичности спроса по цене для отечественного и внешних рынков. Внешние рынки агрегированы в два – российский рынок, на котором товары продаются за российские рубли, и рынок остального мира, где товары продаются за доллары США.

В процесс прогнозирования сначала загружаются фактические матрицы «затра-

ты – выпуск», затем пользователем задаются структурные параметры для прогнозного года. Далее устанавливаются входные параметры модели на будущий год – курсы валют, изменения спроса и доходов. Производится «шаг вперед» – рассчитываются прогнозные матрицы, а также результирующие макропоказатели – рост ВВП, прогнозный торговый баланс, номинальный ВВП в текущих ценах, индексы цен и пр. Программа позволяет сохранить прогнозные матрицы, а затем вновь их загрузить и использовать в качестве базовых для нового шага вперед при вновь заданных условиях.

Подобная методика прогнозирования позволяет составлять прогнозы на сколько угодно далекий горизонт времени, используя на каждом последующем шагу прогнозные матрицы в качестве базовых, моделируя при этом изменения спроса и цен на продукты на различных рынках. Главной проблемой в таком подходе к прогнозированию становится корректировка коэффициентов прямых затрат в горизонте планирования.

Подготовка данных

Помимо описания внутренней логики работы модели, следует остановиться на таком важном моменте, как подготовка исходных данных. В частности, на двух следующих моментах: 1) снижение размерности таблицы «Затраты – Выпуск» с 83×83 до 16×16 ; 2) балансировка таблицы (с точки зрения торговых и транспортных наценок).

Снижение размерности. Белорусские таблицы «Затраты – Выпуск» представляются в размерности 83 видов экономической деятельности (отраслей). Построение межотраслевого баланса с такой же степенью детализации было бы крайне полезным для экономиста-аналитика. В то же время другие статистические данные часто не доступны в такой же детальной расшивке, а как, например, в случае с экспортно-импортными потоками в платежном балансе вообще даются по другим статьям, в другой классификационной группировке. Все это вынуждает работать с таблицами агрегированными, в рамках данной статьи – с 16-отраслевыми.

Снижение детализации – это очевидный недостаток. Однако у этого подхода есть и одно бесспорное преимущество: модель становится более компактной, легко поддающейся анализу и презентации внешним пользователям. Агрегирование матриц с размерности 83×83 до размерности 16×16 проводится с помощью таблицы переходных ключей, в которой каждой отрасли в исходной матрице большей размерности поставлена в соответствие отрасль в матрице с меньшей размерностью. Ниже приведен фрагмент кода для агрегирования в VBA для MS Excel.

```
' Суммирование строк
For k = 1 To 83
  For j = 1 To 16
    curr_cell = 0
    Otrasl = Sheets("Blank").Cells(2 + j, 1)
    For i = 1 To 83
      If Sheets("Keys").Cells(1 + i, 9) = Otrasl Then
        curr_cell = curr_cell + Sheets(Name).Cells(8 + i, 3 + k)
      End If
    Next i
    Sheets("Blank").Cells(2 + Otrasl, 2 + k) = curr_cell
  Next j
Next k

' Суммирование столбцов
For k = 1 To 16
  For j = 1 To 16
    curr_cell = 0
    Otrasl = Sheets("Short").Cells(2 + j, 1)
    For i = 1 To 83
      If Sheets("Keys").Cells(1 + i, 9) = Otrasl Then
        curr_cell = curr_cell + Sheets("Blank").Cells(2 + k, 2 + i)
      End If
    Next i
    Sheets("Short").Cells(2 + k, 2 + Otrasl) = curr_cell
  Next j
Next k
```


В табл. 1 представлен итоговый список получаемых агрегированных отраслей. Объединение исходных отраслей (видов экономической деятельности) осуществлено не в соответствии с ОКЭД, а с точки зрения технологической близости и однородности конечных товаров и услуг.

Еще одна необходимая процедура – это **балансировка исходных таблиц с точки зрения торговых и транспортных наценок**. Более подробно эта проблема и методики ее решения описаны авторами ранее⁵.

Помимо подготовки «ядра» модели – межотраслевого баланса, требуется получение других статистических данных. Это индексы цен, физических объемов, курса национальной валюты и т. п. Еще один вопрос – выделение квартальной сезонности, он будет рассмотрен далее.

⁵ Пархименко В.А., Быков А.А. 2022. К вопросу об учете торговых и транспортных наценок при построении межотраслевой модели Леонтьева по белорусским таблицам «Затраты – Выпуск». *Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития*: материалы XXIII Международной научной конференции. Минск: НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь. С. 126–127.

Примеры использования модели в прогнозировании

Моделирование экономических показателей в зависимости от курсов валют.

Оценка взаимосвязи макроэкономических показателей с валютным обменным курсом представляет собой сложную макроэкономическую задачу, которая может решаться разными способами. Исследователями Национального банка Республики Беларусь предложена система эконометрических уравнений, отнесенных к категории моделей фундаментального и поведенческого равновесного обменного курса – FEER и BEER моделей (Мирончик, Банцевич, 2019), в которых для прогнозирования валютного курса используется широкий перечень переменных – ВВП, внутренний спрос, экспорт и импорт, численность занятых в белорусской экономике, а также некоторые показатели по экономикам важнейших торговых партнеров – России и ЕС, дополнительно – котировки нефти. Такие сложные модели позволяют давать весьма точные прогнозы курсов валют и применяться для оценки последствий мер макроэкономического регулирования, однако при

Таблица 1

Таблица ключей для перехода от 83-отраслевых к 16-отраслевым таблицам «Затраты – Выпуск»

Агрегированная отрасль	Номер вида экономической деятельности в исходной 83-размерной таблице
Сельское хозяйство, рыболовство, пищевая промышленность	1, 2, 4
Лесное хозяйство, деревообработка	3, 13–15, 29
Добыча и переработка нефти и газа	5, 6, 16
Легкая промышленность	11, 12
Химические продукты	17–19
Металлургия	7, 21
Машиностроение и металлообработка	22–28
Энергетика	31–37
Строительство	8, 38
Торговля	39–41
Транспорт	42–46
Туризм, проживание и питание	47, 48, 77–80
ИТ-услуги	52–54
Бизнес-услуги	9, 30, 49–51, 55–57, 59–65, 67, 82, 83
Аренда	58, 66
Государственные и социальные услуги	69, 72–76, 81

Источник. Авторская разработка.

значительных изменениях внутренних и внешних условий, таких как региональная и отраслевая структура экспорта и импорта, систему эконометрических уравнений приходится полностью пересматривать.

Применяются и более простые модели, в которых валютный курс является функцией нескольких переменных. Например, общеизвестна зависимость курсов валют экспортеров нефти от цены нефти. В прогнозировании курсов валютных пар могут применяться инструменты технического анализа, нейросетевые модели и генетические алгоритмы, которые не объясняют логику взаимосвязи экономических показателей, а формируют прогноз на основе анализа тренда, работая по принципу «черного ящика».

В предлагаемом примере проведены сценарные расчеты макропоказателей белорусской экономики на 2023 г. при различных значениях обменного курса российского рубля к доллару США. За базовое значение принят курс в 75 рос. руб. за 1 долл., при котором курс белорусского рубля к доллару составляет 2,8 BYN/USD; курс белорусского к российскому рублю – 3,8 BYN/100 RUR. Далее сделаны расчеты при значениях курса российского рубля к доллару в 50, 90 и 120 RUR/USD, для которых подбирались соответствующие значения курсов белорусского рубля (табл. 2).

Моделирование основано на расчете относительных цен произведенных в Беларуси товаров и услуг, которые поставляются на рынки России и остального мира. В случае укрепления российского рубля к доллару относительные цены белорусских

товаров на российском рынке снижаются, на прочих рынках – растут. При снижении курса российского рубля происходит относительное удорожание белорусских товаров в России и удешевление на прочих экспортных рынках, где они продаются за доллары. Меняются также цены на товары и услуги на внутреннем рынке Беларуси, в зависимости от региона импорта этих товаров, либо основных промежуточных продуктов, используемых в производстве белорусских товаров и услуг. Например, при ослаблении российского рубля к доллару белорусская продукция машиностроения будет дорожать в силу того, что основные компоненты для ее производства закупаются не в России; при тех же условиях услуги электроэнергетики будут дешеветь, поскольку они производятся с использованием российских энергоресурсов.

Относительные изменения цен вызывают изменения спроса, сила воздействия цены на спрос определяется эластичностью. В модели принято, что белорусские товары первичной переработки сырья (удобрения, топливо, металлы) характеризуются низкой эластичностью спроса по цене на зарубежных рынках. Иными словами, относительные изменения цен, связанные с изменением курса валют, оказывают весьма слабое влияние на объемы продаж сырьевых товаров. Например, удобрения экспортируются на зарубежные рынки в ценах и объемах, которые не зависят от котировок валют внутри Беларуси и, соответственно, затрат на их производство. С другой стороны, поставляемые в Россию бело-

Таблица 2
Зависимость показателей от изменений курса российского рубля к доллару США

Входные параметры					
Курс RUR/USD	75	75	50	90	120
Инвестиции, % к предыдущему году	100	120	120	120	120
Курс BYN/USD	2,80	2,80	1,90	3,42	4,56
Курс BYN/100 RUR	3,80	3,80	3,80	3,80	3,80
Показатели результата					
Прирост ВВП, %	0,0	2,1	2,5	1,5	0,1
Торговое сальдо, % к ВВП	8,3	6,2	3,2	7,8	10,3
ИПЦ, %	107,0	107,0	99,3	112,0	121,3

Источник. Авторская разработка.

русские товары пищевой промышленности, машиностроения характеризуются более высокой эластичностью спроса по цене – если цена снижается вследствие изменения курсов, продать товара можно больше.

Таким образом, новое соотношение курсов валют ведет к относительному изменению цен в сравнении с базисным годом, которое, в свою очередь, влияет на объемы продаж каждой группы товаров и услуг на белорусском, российском и прочих зарубежных рынках. Выпуск товаров и услуг определяется спросом, показатель прироста ВВП – изменением выпуска в базисных ценах. Показатели инфляции рассчитываются исходя из прогнозного изменения цен: дефлятора – на все произведенные товары и услуги, индекса потребительских цен – на все отечественные и зарубежные продукты для текущего и инвестиционного спроса, реализуемые на внутреннем рынке. Торговое сальдо рассчитано на основе показателей в номинальных (текущих) ценах. Все исходные, промежуточные и результирующие показатели для различных вариантов, определенных различными значениями курса российского рубля к доллару, приведены в табл. 2.

Кроме учета различных вариантов курсов валют, перед проведением расчетов был увеличен показатель инвестиций по всем видам деятельности на 20% в сравнении с базовым периодом. Прирост инвестиций обозначен в Прогнозе социально-экономического развития белорусской экономики на 2023 г., это решение обосновано в том числе крайне низкой инвестиционной активностью в 2022 г.

Приведенный пример трудно назвать реалистичным прогнозом в силу того, что в расчетах использованы базовые значения основных показателей за 2020–2021 гг., их значения за 2022 г. Белстат пока не приводит. Тем не менее прослеживается тенденция к экономическому росту белорусской экономики в случае укрепления российского рубля и замедления экономического роста при ослаблении российского рубля к доллару (рис. 2). Эта тенденция вряд ли кардинально изменится при использовании в модели актуальных показателей за 2022 г.

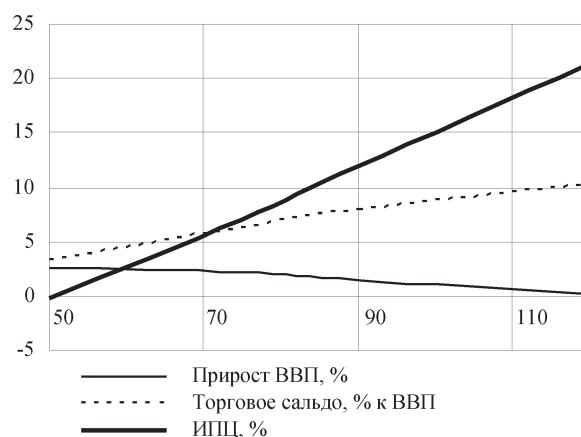


Рис. 2. Расчетные изменения ВВП, торгового сальдо и инфляции в Беларуси при различных значениях курса российского рубля к доллару США, с учетом роста инвестиций на 20%

Источник. Авторская разработка.

Расчетный прирост ВВП Беларуси при условии укрепления российского рубля крайне небольшой, около 0,4% дополнительно к тому приросту, который вызван увеличением инвестиций. Кроме того, при укреплении рубля ухудшается внешнеторговое сальдо, что служит ограничением для сбалансированного роста экономики.

Если рассматривать зависимость показателей белорусской экономики от валютного курса в России как комплексную задачу, то нельзя забывать о возможных причинах укрепления или ослабления российского рубля. До недавнего времени курс, по большому счету, определялся котировками нефти; теперь же ситуация поменялась, зависимость российского рубля от цены нефти ослабла.

Реакция национальной экономики на изменения мировых цен. Для белорусской экономики также была характерна положительная корреляция роста ВВП с котировками нефти, что объясняется не столько курсами валют, сколько тесной зависимостью цен и объемов белорусского экспорта от конъюнктуры российского рынка. Нелишним было бы рассмотреть зависимость экономического роста национальной экономики от мировых цен основных экспортируемых и импортируемых товаров – сельхозпродукции, металлов, химической продукции, машиностроения.

В приведенном примере изменялись индексы экспорта по данным группам продуктов, что в равной степени можно интерпретировать как изменение объемов или экспортных цен, поскольку оба события ведут

к одинаковому увеличению добавленной стоимости. Прогнозные изменения ВВП, рассчитанные для условия прироста мировых цен по каждой товарной группе на 30% к ценам базисного года, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет дополнительного прироста ВВП в 2023 г. при росте мировых цен на 30% отдельно по каждой товарной группе

Показатель при различных вариантах расчетов	Базовый вариант	Рост экспорта на 30% для отраслей				
		Пищевая и сельхоз-продукция	Нефть, газ и нефтепродукты	Химическая продукция	Металлы	Машины, оборудование
Прирост ВВП, %	0,0	2,8	1,0	3,0	0,6	1,8

Источник. Авторская разработка.

В совокупности в случае укрепления российского рубля, роста цены нефтепродуктов на 30% и увеличения инвестиций на 20% ВВП в 2023 г. может увеличиться на 3,5%. Если вырастут мировые цены или внешний спрос на другие товарные группы, ВВП вырастет больше.

Реакция экономики на изменение доходов. На рис. 3 показана динамика ВВП, курса белорусского рубля к доллару США и индекса потребительских цен после одновременного увеличения доходов секторов экономики на 50% в периоде 1. Расчет проведен в несколько итераций: после каждой итерации сделан «шаг вперед» на один период, в качестве входных переменных использованы расчетные показатели предыдущего периода. Модель де-

монстрирует, как экономика приходит к равновесному состоянию после внешнего шока. Кроме того, модель показывает, что в краткосрочном периоде увеличение доходов ведет к росту экономики; в долгосрочном периоде оно не дает положительного эффекта. Продолжительность периода, в течение которого экономика придет к равновесному состоянию, неизвестна, для его оценки нужно проводить дополнительные исследования.

Рассмотренные примеры показывают, что существуют сложные многосторонние нелинейные взаимосвязи макроэкономических показателей с показателями внутреннего и зарубежных рынков. Для реального макроэкономического прогнозирования следует заранее разрабатывать сценарии, отражающие эти сложные взаимосвязи. В рамках одного сценария нужно сразу изменять множество показателей, например мировые цены, курсы валют, внутренний и внешний спрос, а не менять значение каждого показателя в отдельности. Такой подход позволит повысить реалистичность прогнозов.

Недостатки модели и перспективы ее совершенствования

Нестабильность коэффициентов прямых затрат. При всех возможных изменениях цен импорта и экспорта, объемов импорта, экспорта и внутреннего спроса процедура составления прогнозных матриц базируется на неизменных коэффициентах прямых затрат отечественных и импортных

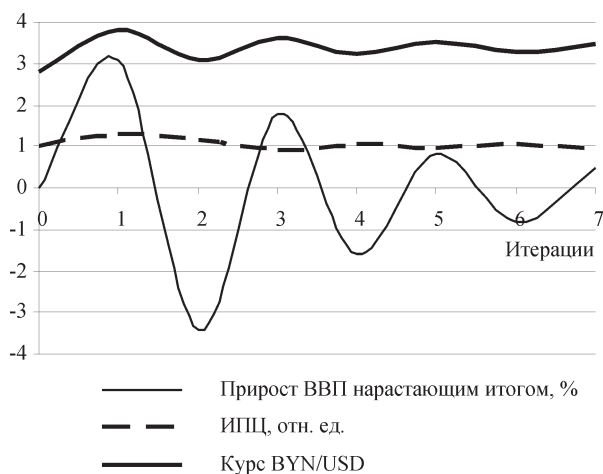


Рис. 3. Динамика показателей после изменения доходов

Источник. Авторская разработка.

продуктов, рассчитанных для базисного периода. В процессе прогнозирования для каждого продукта (отрасли или вида деятельности) пропорции между выпуском, промежуточным потреблением и размером добавленной стоимости остаются неизменными. Пропорции между спросом на отдельные продукты и их выпуском могут меняться, что связано с изменением как объемов, так и цен.

В процессе прогнозирования по мере отдаления от базисного периода, за который сформированы базисные таблицы «Затраты – Выпуск», отклонения значений фактических коэффициентов прямых затрат (которых мы не знаем) будут от принятых в прогнозе увеличиваться, поэтому ошибки в прогнозе будут нарастать. В качестве примера рассмотрим фактические отклонения коэффициентов прямых затрат

в 2020 г. в сравнении с 2019 г., которые показаны в табл. 4.

Отклонения коэффициентов прямых затрат могут носить как необратимый, так и циклический характер. В первом случае, как правило, их источником являются структурные изменения в экономике, связанные с реализацией новых инвестиционных проектов, внедрением технологических инноваций, перестроением цепочек добавленной стоимости. Исследования показывают, что структурные изменения в экономике происходят довольно медленно. Циклический характер изменения коэффициентов прямых затрат является следствием неравномерности изменений цен. Например, цены импорта нефти могут вырасти в конце года, а цены на экспортируемые нефтепродукты поднимутся только в следующем году.

Таблица 4

Фактические отклонения коэффициентов прямых затрат

Отрасль	КПЗ отеч			КПЗ имп			КПЗ общие		
	2019	2020	Откл., %	2019	2020	Откл., %	2019	2020	Откл., %
Сельское хозяйство, рыболовство, пищевая промышленность	0,56	0,55	-0,6	0,14	0,13	-0,1	0,7	0,68	-1,4
Лесное хозяйство, деревообработка	0,43	0,44	0,4	0,17	0,15	-0,3	0,6	0,58	-1,2
Добыча и переработка нефти и газа	0,11	0,12	0,1	0,76	0,67	-6,8	0,87	0,8	-6,1
Легкая промышленность	0,36	0,35	-0,4	0,24	0,22	-0,5	0,59	0,57	-1,2
Химические продукты	0,21	0,22	0,2	0,34	0,33	-0,3	0,55	0,56	0,6
Металлургия	0,39	0,32	-2,7	0,48	0,56	3,8	0,87	0,88	0,9
Машиностроение и металлообработка	0,36	0,37	0,4	0,31	0,3	-0,3	0,67	0,67	0,0
Энергетика	0,21	0,23	0,4	0,35	0,33	-0,7	0,56	0,56	0,0
Строительство	0,36	0,35	-0,4	0,2	0,19	-0,2	0,56	0,55	-0,6
Торговля	0,37	0,36	-0,4	0,08	0,09	0,1	0,44	0,45	0,4
Транспорт	0,35	0,34	-0,3	0,09	0,09	0,0	0,44	0,43	-0,4
Туризм, проживание и питание	0,36	0,33	-1,1	0,09	0,1	0,1	0,45	0,44	-0,5
ИТ-услуги	0,18	0,16	-0,4	0,04	0,03	0,0	0,22	0,2	-0,4
Бизнес-услуги	0,26	0,27	0,3	0,06	0,06	0,0	0,32	0,34	0,6
Аренда	0,22	0,19	-0,7	0,06	0,05	-0,1	0,28	0,24	-1,1
Государственные и социальные услуги	0,2	0,19	-0,2	0,06	0,05	-0,1	0,26	0,24	-0,5
Среднее отклонение	—		-0,3	—		-0,3	—		-0,7

Источник. Авторская разработка.

В таком случае коэффициенты прямых затрат в текущем году снизятся, а в следующем – увеличатся. В целом при некоторых допущениях циклические изменения коэффициентов могут быть смоделированы.

Для составления прогноза на 2023 г. доступны только таблицы за 2020 г., в лучшем случае через некоторое время будут доступны таблицы за 2021 г. Проблема коэффициентов прямых затрат является первоочередной для решения, которое требуется в том числе и для составления поквартальных прогнозов.

Особенности поквартального прогнозирования. На первый взгляд, достаточно разбить все показатели таблиц на четыре равные части, чтобы перейти от годового прогнозирования к поквартальному. Между тем предварительные исследования показали наличие определенных сложностей в поквартальном прогнозировании. На этапе подготовки данных для поквартальных прогнозов нами разработана методика разделения отдельных фактических показателей годовых таблиц «Затраты – Выпуск» на кварталы. В качестве входных данных использованы поквартальные показатели Белстата за период с 2009 по 2021 г. в номинальном выражении (в текущих ценах). Методика описана на примере сезонного разделения ВВП, но точно также можно делить по кварталам показатели потребительского и инвестиционного спроса, экспорта, а также выпуска по каждому виду деятельности.

На первом этапе производится вывод формул для квартальных дефляторов ВВП. Обозначим через α_i дефлятор ВВП для i -го года по отношению к предшествующему ($i-1$)-му году. (Значения α_i на сайте Белстата.)

Обозначим через α_{ij} дефлятор ВВП для j -го квартала i -го года по отношению к предшествующему кварталу. Тогда должно выполняться равенство:

$$\alpha_i = \alpha_{i1}\alpha_{i2}\alpha_{i3}\alpha_{i4}. \quad (4)$$

Считая, что в i -м году все квартальные дефляторы α_{ij} равны друг другу, из формулы (1) получим:

$$\alpha_{ij} = \alpha_i^{0,25}, \quad j = \overline{1,4}. \quad (5)$$

Обозначим через $\bar{\alpha}_{ij}$ дефлятор ВВП для j -го квартала i -го года по отношению к предыдущему ($i-1$)-му году. Тогда должны выполняться равенства:

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_{i1} &= \alpha_{i1}, \quad \bar{\alpha}_{i2} = \alpha_{i1}\alpha_{i2}, \quad \bar{\alpha}_{i3} = \alpha_{i1}\alpha_{i2}\alpha_{i3}, \\ \bar{\alpha}_{i4} &= \alpha_{i1}\alpha_{i2}\alpha_{i3}\alpha_{i4}. \end{aligned} \quad (6)$$

Считая, что в i -м году все квартальные дефляторы α_{ij} равны друг другу, из (2) и (3) получим:

$$\bar{\alpha}_{i1} = \alpha_i^{0,25}, \quad \bar{\alpha}_{i2} = \alpha_i^{0,5}, \quad \bar{\alpha}_{i3} = \alpha_i^{0,75}, \quad \bar{\alpha}_{i4} = \alpha_i. \quad (7)$$

Второй этап: приведение квартальных ВВП к предшествующему году. Обозначим через y_{ij} номинальный ВВП для j -го квартала i -го года (в текущих ценах). (Значения y_{ij} на сайте Белстата.)

Обозначим через $\bar{y}_{ij}$ ВВП для j -го квартала i -го года в ценах предыдущего ($i-1$)-го года. Тогда

$$\bar{y}_{ij} = \frac{y_{ij}}{\bar{\alpha}_{ij}}, \quad j = \overline{1,4}, \quad (8)$$

где $\bar{\alpha}_{ij}$ – дефлятор ВВП для j -го квартала i -го года по отношению к предыдущему году ($i-1$)-му году (формулы (6), (7)).

На третьем этапе определяются сезонные коэффициенты. Обозначим через $\bar{y}_i$ ВВП для i -го года в ценах предыдущего ($i-1$)-го года. Будем считать, что

$$\bar{y}_i = \bar{y}_{i1} + \bar{y}_{i2} + \bar{y}_{i3} + \bar{y}_{i4}, \quad (9)$$

где $\bar{y}_{ij}$ – ВВП для j -го квартала i -го года в ценах предыдущего ($i-1$)-го года (формула (8)).

Замечание. Значение $\frac{y_i}{\alpha_i}$ (для ВВП для i -го года в ценах предыдущего года) может отличаться от значения (9).

Обозначим через $\beta_j, j = \overline{1,4}$, искомые (пока неизвестные) сезонные коэффициенты. С помощью значения $\bar{y}_i$ ВВП для i -го года в ценах предыдущего ($i-1$)-го года можем найти прогнозные значения $\hat{y}_{ij}$ для ВВП для j -го квартала i -го года в ценах предыдущего ($i-1$)-го года по формуле:

$$\hat{y}_{ij} = \bar{y}_i \cdot \beta_j, j = \overline{1,4}. \quad (10)$$

В качестве показателя качества модели (основанной на формуле (7)) будем использовать среднюю ошибку аппроксимации

$$COA = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \left| \frac{\bar{y}_{ij} - \hat{y}_{ij}}{\bar{y}_{ij}} \right| = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \left| \frac{\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i \cdot \beta_j}{\bar{y}_{ij}} \right|, \quad (11)$$

где n – число (прошедших) лет для нахождения сезонных коэффициентов (например, если используются годы с 2010 по 2021, то $n=12$).

Значения сезонных коэффициентов $\beta_j, j = \overline{1,4}$, находим в результате решения следующей оптимизационной задачи:

$$COA = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \left| \frac{\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i \cdot \beta_j}{\bar{y}_{ij}} \right| \rightarrow \min, \quad (12)$$

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 1. \quad (13)$$

(При численном решении данной задачи в качестве начальных значений сезонных коэффициентов β_j можно взять значения 0,25.)

С помощью данной методики нами получены значения сезонных коэффициентов, приведенных в табл. 5. Значения потребительского и инвестиционного спроса, а также экспорта можно напрямую использовать для корректировки фактического и прогнозного спроса в модели. Импорт является расчетной величиной при формировании прогнозов, поэтому поквартальное

разделение импорта можно использовать лишь в качестве ориентира в прогнозировании. Наибольшие сложности вызывает наличие ярко выраженной сезонности в объемах выпуска отдельных отраслей, прежде всего сельского хозяйства, возможно – энергетики, услуг образования и др. Модель прогнозирования позволяет найти новые объемы выпуска как функцию от изменений спроса. Для внесения изменений в поквартальные объемы выпуска, отражающих сезонные колебания, придется разрабатывать специальные алгоритмы изменения показателей таблиц «Затраты – Выпуск». Например, сезонное увеличение выпуска сельского хозяйства должно отразиться в правом сегменте матриц как увеличение запасов сельхозпродукции. Эти запасы будут расходоваться в последующих кварталах, когда конечное потребление и экспорт сельхозпродукции превысят объемы ее квартального выпуска.

Добавление в модель эконометрических уравнений и экспертных оценок. Многие важные макроэкономические параметры, а также их взаимосвязи не находят отражения в таблицах «Затраты – Выпуск». К ним относятся показатели таких консолидированных счетов СНС, как счета первичного и вторичного распределения доходов. В этих счетах отслеживаются формирование и распределение доходов бюджета, размер которых зависит от налоговой нагрузки. Перечисленные показатели и их взаимосвязи можно задавать системой эконометрических уравнений, которые связывают, например, доходы бюджета с объемом налоговых выплат различными отраслями и секторами эко-

Таблица 5

Квартальное разделение некоторых показателей по данным 2009–2021 гг., %

Показатель	Доля квартала в формировании годового показателя				Средняя ошибка аппроксимации
	Квартал I	Квартал II	Квартал III	Квартал IV	
Потребительский спрос	23,4	25,0	26,0	25,6	1,9
Инвестиционный спрос	18,8	22,4	27,9	30,8	5,6
Экспорт	22,8	25,4	25,9	25,8	7,8
Импорт	22,7	25,1	25,3	27,0	6,2
Выпуск сельхозпродукции	11,3	10,4	51,0	27,4	7,4

Источник. Авторская разработка.

номики; потребительский и инвестиционный спрос – с расходами бюджета; инфляцию и курсы валют – с бюджетным дефицитом или профицитом.

Также в межотраслевом балансе отсутствуют важные показатели финансового сектора и представляется целесообразным описывать их взаимосвязи эконометрическими моделями. Например, связь процентной ставки, денежной массы, изменений потребительского и инвестиционного спроса и инфляции.

Ранее уже рассматривались возможные подходы к описанию и прогнозированию валютных курсов. Нами, в частности, апробирована авторегрессионная модель, задающая прогнозный валютный курс в зависимости от его предыдущих значений (рис. 4). Прогнозный курс может корректироваться на основе экспертных оценок.

В конечном итоге может возникнуть вопрос: для чего вообще использовать межотраслевой баланс, если любые прогнозы можно конструировать лишь на основе эконометрических прогнозных моделей, а также экспертных оценок, в том числе выдаваемых системами искусственного интеллекта? Межотраслевой баланс необходим прежде всего для того, чтобы обеспечивать непротиворечивость, взаимную согласованность входных и выходных данных. Он

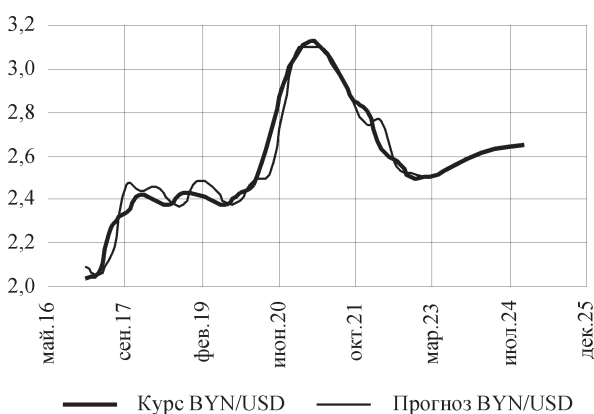


Рис. 4. Прогноз курса белорусского рубля к доллару США на основе авторегрессионной модели

Источник. Авторская разработка.

представляет собой обобщающую систему статистического учета, связывающую натуральные и ценовые показатели спроса и предложения товаров и услуг. Разработанная модель позволяет «не запутаться» при формировании сколь угодно далеких прогнозов, поскольку в межотраслевом балансе всегда соблюдается равенство между ресурсами товаров и услуг и их использованием, между их выпуском и импортом – с одной стороны, промежуточным, конечным потреблением, валовым накоплением и экспортом – с другой. И это равенство, которое является базовым тождеством Леонтьева, справедливо не только для экономики в целом, но и для каждой отрасли в отдельности.

* * *

Очевидно, что развитие предложенной модели должно идти по нескольким направлениям.

В первую очередь, требуется развитие и добавление «модулей», подключаемых к «ядру». Например, добавление модуля прогнозирования размера валового накопления основного капитала и изменения запасов по каждой из отраслей, уточнение оценок ценовой эластичности внутреннего и внешнего конечного спроса и т. п.

Вторым направлением должна стать все большая детализация межотраслевого баланса, т. е. возвращение от 16-отраслевой к исходной 83-отраслевой размерности таблиц «Затраты – Выпуск». Основным препятствием здесь, конечно, будет служить отсутствие достаточного количества свежих статистических данных с требуемой детализацией.

Наконец, еще одним направлением должна выступать разработка методик и процедур актуализации исходных межотраслевых балансов, в том числе в части коэффициентов прямых затрат, на основе текущей статистической информации. Стандартные подходы типа RAS могут быть модифицированы с учетом специфики белорусской системы учета.

Возможно, помощь в насыщении межотраслевого баланса самыми последними исходными данными могут оказать и алго-

ритмы Big Data и машинного обучения⁶. Интерес представляет также использование нейронных сетей или, например, популярного сегодня ChatGPT – для генерации прогнозов отдельных показателей, подаваемых на вход модели.

Некоторые исследователи уже предлагают разработки, как автоматически создавать таблицы «Затраты – Выпуск» на основе обработки данных товарных накладных (например, (Ohsato, Akagi, Deguchi, 2017; 2018)). Развитие таких моделей, вероятно, будет идти в том направлении, чтобы обеспечить их исходными данными чуть ли не в режиме реального времени, в духе все более популярной парадигмы Real-time economy⁷.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Мирончик Н., Банцевич П.** 2019. Модели поведенческого и фундаментального равновесного обменного курса: результаты переоценки. *Банкаўскі веснік*. № 12. С. 3–14. [Mironchik N., Bantsevich P. 2019. Behavioral and Fundamental Equilibrium Exchange Rate Models: Reestimation Results. *Bankaŭski vesnik*. No 12. PP. 3–14. (In Russ.)]
- Пархименко В.А., Быков А.А.** 2020. Влияние изменения курса национальной валюты на макроэкономические показатели: оценка на основе методологии «Затраты – Выпуск». *Белорусский экономический журнал*. № 3. С. 58–73. [Parkhimenko V., Bykau A. 2020. Impact of Changes in the National Currency Exchange Rate on Macroeconomic Indicators: Assessment Based on the «Input – Output» Methodology. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal*. No 3. PP. 58–73. (In Russ.)] DOI: 10.46782/1818-4510-2020-3-58-73
- Пелипась И.** 2021. Структурные макроэконометрические модели vs DSGE-модели в деятельности центральных банков. *Банкаўскі веснік*. № 6. С. 3–10. [Pelipas I. 2021. Structural Macroeconometric Models vs DSGE Models in the Central Banks' Activities. *Bankaŭski vesnik*. No 6. PP. 3–10. (In Russ.)]
- Широв А.А., Брусенцева А.Р., Савчишина К.Е., Каминова С.В.** 2022. Прогнозно-аналитические возможности макроэкономических моделей в условиях кризисного развития экономики (на примере модели QUMMIR). *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. Т. 15. № 6. С. 35–51. [Shirov A.A., Brusentseva A.R., Savchishina K.E., Kaminova S.V. 2022. Predictive and Analytical Capabilities of Macroeconomic Models in Conditions of Crisis Economic Development (Using the Example of the QUMMIR Model). *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*. Vol. 15. No 6. PP. 35–51. (In Russ.)] DOI: 10.15838/esc.2022.6.84.2
- Almon C.** 2016. Inform Models: Origin, Evolution and Byways Avoided. *Studies on Russian Economic Development*. Vol. 27. PP. 119–126. DOI: 10.1134/S1075700716020039
- Ohsato T., Akagi K., Deguchi H.** 2018. Construction of an Input-Output Table Considering Business-to-Consumer Transactions by using Private Data. *Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)*. PP. 419–426. DOI:10.1109/SCIS-ISIS.2018.00080
- Ohsato T., Akagi K., Deguchi H.** 2017. Developing an Input-Output Table Generation Algorithm Using a Japanese Trade Database: Dealing with Ambiguous Export and Import Information. *New Frontiers in Artificial Intelligence. LNAI 10838*. PP. 83–96. DOI: 10.1007/978-3-319-93794-6_6

⁶ Некрасов Ф.О. 2022. Использование методов машинного обучения в целях макроструктурного анализа и статистического учета. URL: <https://ecfor.ru/publication/mashinnoe-obuchenie-i-makroekonomika>

⁷ URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_economy

MODULAR INPUT-OUTPUT MODEL FOR QUARTERLY, ANNUAL AND MEDIUM-TERM FORECASTING

Aliaksei Bykau¹ (<https://orcid.org/0000-0003-2005-9061>),

Uladzimir Parkhimenka² (<https://orcid.org/0000-0001-7690-8873>),

Ernest Aksen¹ (<https://orcid.org/0000-0001-6627-8521>)

¹ Belarusian State Economic University (Minsk, Belarus),

² Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Belarus).

Corresponding author: Aliaksei Bykau (aliaksei.bykau@yandex.ru).

ABSTRACT. The article describes an approach to building a modular input-output model of the Belarusian economy, which allows customizable scenario forecasting of macroeconomic parameters in the horizon of the quarter, annual and medium term. The proposed modular architecture of the model uses as a «core» an aggregated 16-industry «input-output» model in direct and reverse (price) formulations and additional sets of «modules» fully implemented by the authors or suitable for «joining» to the «core» - modules of forecasting the national currency rate, public administration, the volume of physical exports, and gross capital formation, etc.

KEYWORDS: macroeconomic forecasting, interindustry balance, input-output model, economic modeling.

JEL-code: C53, C67, E17, O41.

DOI: 10.46782/1818-4510-2023-1-31-45

Received 14.03.2023

In citation: Bykau A., Parkhimenka U., Aksen E. 2023. Modular input-output model for quarterly, annual and medium-term forecasting: construction, examples of use and outlook. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal*. No 1. PP. 31–45. DOI: 10.46782/1818-4510-2023-1-31-45 (In Russ.)

