

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ИНТЕГРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ЕАЭС

Е. Г. ГОСПОДАРИК<sup>1), 2)</sup>, М. М. КОВАЛЁВ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

<sup>2)</sup>Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,  
пр. Ленинградский, 49, 125167, г. Москва, Россия

Анализируется и развивается математический аппарат измерения эффективности региональной и глобальной экономической интеграции. Рассматриваются различные модели расчета эффектов интеграции: модели глобальной интеграции, модели сводных индексов измерения степени экономической интеграции в объединении, модели значимости интеграционного объединения в мире, межрегиональные модели интеграции на базе модели *затраты – выпуск* (В. В. Леонтьев), модели коллективной экономической безопасности интеграционного объединения, гравитационные модели взаимной торговли, эконометрические модели экономического роста стран с учетом интеграционных эффектов, регрессионные модели воздействия экономической интеграции на рост ВВП, модели оценки влияния интеграции на рост совокупной факторной производительности. Вводится авторская система моделей для сравнительного анализа динамики скорости интеграции стран в региональное объединение. Предлагается модель оболочечного анализа данных (модель DEA) для измерения сравнительной оценки эффективности интеграции. Концентрируется внимание на выборе индикаторов оценки эффектов для объединяемых экономических систем и индикаторов оценки значимости в мире интеграционного объединения.

**Ключевые слова:** экономическая интеграция; эффективность объединения; эконометрическая модель; гравитационная модель торговли; модель Леонтьева; модель оболочечного анализа данных (модель DEA); Евразийский экономический союз; Европейский союз; Ассоциация государств Юго-Восточной Азии; сводные индексы; экономический рост.

## MATHEMATICAL MODELLING OF INTEGRATION EFFECTS USING THE EXAMPLE OF THE EAEU

C. G. GOSPODARIK<sup>a, b</sup>, M. M. KOVALEV<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

<sup>b</sup>Financial University under the Government of the Russian Federation,  
49 Leningradskii Avenue, Moscow 125167, Russia

Corresponding author: C. G. Gospodarik (gospodarik@bsu.by)

The article analyses and develops the mathematical apparatus for measuring the effectiveness of regional and global economic integration. Various models for calculating the effects of integration are considered: models of global integration, models of composite indices for measuring the degree of economic integration in the association, models of the significance

### Образец цитирования:

Господарик Е.Г., Ковалёв М.М. Математическое моделирование эффектов интеграции на примере ЕАЭС. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2023;1:36–50. EDN: HFZATO

### For citation:

Gospodarik CG, Kovalev MM. Mathematical modelling of integration effects using the example of the EAEU. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2023;1:36–50. Russian. EDN: HFZATO

### Авторы:

**Екатерина Геннадьевна Господарик** – кандидат экономических наук, доцент; заведующий кафедрой аналитической экономики и эконометрики экономического факультета<sup>1)</sup>, профессор департамента бизнес-аналитики<sup>2)</sup>.

**Михаил Михайлович Ковалёв** – доктор физико-математических наук, профессор; профессор кафедры аналитической экономики и эконометрики экономического факультета.

### Authors:

**Catherine G. Gospodarik**, PhD (economics), docent; head of the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics<sup>a</sup>, and professor at the department of business analysis<sup>b</sup>.  
gospodarik@bsu.by

**Mikhail M. Kovalev**, doctor of science (physics and mathematics), full professor; professor at the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics.  
kovalev@bsu.by

of the integration association in the world, interregional integration models based on *input – output* model (V. V. Leontief), models of collective economic security of the integration association, gravitational models of mutual trade, econometric models of economic growth of countries taking into account integration effects, regression models of the impact of economic integration on GDP growth, models for assessing the impact of integration on the growth of aggregate factor productivity. The author's system of models for comparative analysis of the dynamics of the speed of integration of countries into a regional association is introduced. A data envelopment model (model DEA) is proposed to measure the comparative evaluation of integration efficiency. Attention is focused on the selection of indicators for assessing the effects for the combined economic systems and assessing the significance of the integration association in the world.

**Keywords:** economic integration; efficiency of unification; econometric model; gravitational model of trade; Leontief model; data envelopment model (model DEA); Eurasian Economic Union; European Union; Association of Southeast Asian Nations; composite indices; economic growth.

## Введение

Интеграция (лат. *integra* – восстановление частей в единое целое) в статье понимается как определенное объединение экономик стран для повышения эффективности каждой из них. Формы экономической интеграции описаны в теории международной интеграции, заложенной Б. Балассом [1], Я. Тинбергеном [2], Я. Винером, Дж. Мидом [3]. Существует шесть форм экономической интеграции: зона свободной торговли (беспошлинная торговля), таможенный союз (общий таможенный тариф для стран, не являющихся членами интеграционного объединения), общий рынок (свобода для перемещения товаров, услуг, капитала, трудовых ресурсов), экономический союз (проведение единой экономической политики), валютный союз (общая валюта), фискальный союз (гармонизированные налоги).

Универсальная теория экономической интеграции отсутствует, существуют только статистически подтвержденные отдельные эффекты. Признанными в рамках теории интеграции являются описанные Я. Винером и Дж. Мидом эффекты отклонения торговли (*trade deflection*) и создания торговли (*trade creation*), возникающие за счет увеличения взаимных торговых потоков. Указанные эффекты отражены в учебных пособиях (см., например, публикацию [4]). Попытка проанализировать эти эффекты для стран СНГ предпринята в работе [5]. Позднее теория интеграции была дополнена теорией динамических эффектов интеграции (Б. Баласса).

Понятно, что термин «эффективность объединения» нуждается в уточнении. Необходимо также установить индикаторы, измеряющие эффективность объединения как для каждой страны (ее выгоды от этого процесса) в частности, так и для объединения в целом. Напомним, что впервые понятие «эффективность» ввел в экономику В. Парето в 1906 г. Под эффективностью ученый подразумевал критерий для оценки качества функционирования экономической системы в зависимости от управленческих решений и понимал ее как состояние, при котором ни один индикатор системы не может быть улучшен без ухудшения хотя бы одного индикатора (оптимальность по Парето). Стандартные экономические подходы (см., например, публикации [6–8]) разбивают индикаторы эффективности объединения на три блока:

- индикаторы результативности объединения (эффективность реализации целей объединения);
- индикаторы экономичности объединения (экономическая эффективность, т. е. затраты ресурсов на достижение целей объединения);
- индикаторы рентабельности объединения (финансовая эффективность для стран в частности и объединения в целом).

В современных условиях индикаторы первого блока могут включать экологические, социальные, инвестиционные и научно-технологические цели, а индикаторы второго и третьего блоков оценивают экономическую и финансовую эффективность объединения. Ожидание перечисленных выгод заставляет государства включаться в интеграционные объединения. Зачастую индикаторы эффективности интеграции дополняются индикаторами конвергенции экономических и институциональных систем, т. е. индикаторами сближения социально-экономических показателей стран – членов объединения [6–8].

## Модели глобальной интеграции

Период после Второй мировой войны до финансового кризиса 2008 г. ученые-экономисты называют золотым веком экономической глобализации, под которой понимается мировая интеграция рынков товаров, услуг, капиталов в рамках Генерального соглашения по тарифам и торговле (ГАТТ) и созданной на его основе Всемирной торговой организации (ВТО). К глобальной экономической системе относятся страны, являющиеся членами ГАТТ и ВТО (Беларусь находится на заключительной стадии вступления в ВТО). В глобальном мире ВТО существенные барьеры для перемещения товаров, услуг, капитала через границу сняты, а таможенные пошлины относительно гармонизированы. Математически это означает,

что можно точно вычислить средние расходы на преодоление границ отдельных стран и объединений по группам товаров. Обычно каждая страна, вступающая в ВТО, оценивает такие эффекты для своих экспортных товаров и потери за счет облегчения импорта. По Кругману, эта величина называется акселератором глобализации.

Измерению степени глобализации отдельных стран и эффектов для них посвящены сотни исследований, обобщенных в десятках моделей и рейтингов глобализации. Их анализ представлен в публикации [9].

Вторая группа моделей не столько измеряет эффективность интеграции, сколько с помощью различных моделей оценивает индикаторы экономической интеграции и положение интеграционного объединения в мире.

### Модели сводных индексов измерения степени экономической интеграции в объединении

Обычно с помощью математических моделей, а именно сводных индексов интеграции, измеряется динамика развития интеграционных процессов в объединении. Достоинство таких сводных индексов интеграции – это возможность отслеживать динамику интеграционных процессов во времени и выявлять причины их ускорения или замедления. Сводных индексов интеграции построено немало. В число индексов интеграции ЕС ([www.ec.europa.eu](http://www.ec.europa.eu)) входят индекс единого рынка ЕС, индекс финансовой интеграции в ЕС (рассчитывается Европейским центральным банком), индекс (и рейтинг) экономической интеграции стран ЕС. Популярен индекс прогресса экономической интеграции Ассоциации государств Юго-Восточной Азии (АСЕАН) ([asean.org](http://asean.org)), методика расчета которого изложена в публикациях [10; 11]. Постепенно становится известной система индикаторов экономической интеграции, разработанная Евразийским банком развития [6].

Главное в моделях сводных индексов интеграции – это отбор индикаторов измерения степени интегрированности. Поскольку эти индикаторы могут измеряться в различных шкалах, а единицы их измерения являться разномасштабными, то до их свертки в сводный индекс каждый индикатор необходимо шкалировать, т. е. перевести в интервал от 0 до 1. Это делается с помощью рекомендованного ОЭСР для построения сводных индексов [12] стандартного правила

$$\frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – значение текущего индикатора  $i$ ;  $x_{\min}$  – минимальное значение по данному параметру;  $x_{\max}$  – максимальное значение по данному параметру.

Функции свертки шкалированных значений индикаторов могут быть разными, но чаще всего применяются как среднее геометрическое, так и среднее арифметическое (причины выбора функции объясняются). Общая тенденция состоит в том, чтобы избегать использования взвешивающих коэффициентов из-за спорности их значений, важнее тщательно подбирать равнозначные индикаторы.

Какие индикаторы наиболее точно отражают степень интегрированности экономик в объединении? Анализ публикаций (обзор отдельных из них представлен в работе [8]) выявил наиболее популярные индикаторы, которые мы разбили на четыре группы.

**Группа 1:** индикаторы, которые отражают значимость для объединения взаимной торговли во всей внешней торговле. В нее входят следующие индикаторы:

- доля взаимного экспорта товаров в совокупном экспорте товаров объединения, вычисляемая по формуле

$$\text{Share\_Exp}_{\text{intra}}^g = \frac{\text{Exp}_{\text{intra}}^g}{\text{Exp}_{\text{intra}}^g + \text{Exp}_{\text{extra}}^g}; \quad (2)$$

- доля взаимного импорта товаров в совокупном импорте товаров объединения, определяемая как

$$\text{Share\_Imp}_{\text{intra}}^g = \frac{\text{Imp}_{\text{intra}}^g}{\text{Imp}_{\text{intra}}^g + \text{Imp}_{\text{extra}}^g}; \quad (3)$$

- доля взаимного экспорта услуг в совокупном экспорте услуг объединения, задаваемая выражением

$$\text{Share\_Exp}_{\text{intra}}^s = \frac{\text{Exp}_{\text{intra}}^s}{\text{Exp}_{\text{intra}}^s + \text{Exp}_{\text{extra}}^s}; \quad (4)$$

- доля взаимного импорта услуг в совокупном импорте услуг объединения, представимая в виде

$$\text{Share\_Imp}_{\text{intra}}^s = \frac{\text{Imp}_{\text{intra}}^s}{\text{Imp}_{\text{intra}}^s + \text{Imp}_{\text{extra}}^s}. \quad (5)$$

В формулах (2)–(5) и далее по тексту приняты следующие обозначения: Share\_Exp – доля экспорта объединения; Share\_Imp – доля импорта объединения; верхний индекс  $g$  – товары; верхний индекс  $s$  – услуги; нижний индекс  $intra$  – взаимный экспорт или импорт; нижний индекс  $extra$  – внешний экспорт или импорт.

**Группа 2:** индикаторы, которые отражают значимость для объединения взаимных инвестиций в совокупных прямых иностранных инвестициях (ПИИ). В нее входят следующие индикаторы:

- доля взаимных входных ПИИ в совокупных входных ПИИ, полученных объединением, которая вычисляется по формуле

$$\text{Share\_FDI}_{intra}^{inf} = \frac{\text{FDI}_{intra}^{inf}}{\text{FDI}_{intra}^{inf} + \text{FDI}_{extra}^{inf}}; \quad (6)$$

- доля взаимных вывезенных ПИИ в совокупных вывезенных ПИИ объединения, которая определяется как

$$\text{Share\_FDI}_{intra}^{outf} = \frac{\text{FDI}_{intra}^{outf}}{\text{FDI}_{intra}^{outf} + \text{FDI}_{extra}^{outf}}. \quad (7)$$

В формулах (6) и (7) и далее по тексту приняты следующие обозначения: Share\_FDI – доля ПИИ; верхний индекс  $inf$  – входные ПИИ; верхний индекс  $outf$  – вывезенные ПИИ.

Аналогично вводятся два индикатора для портфельных инвестиций и два индикатора для трансграничных займов (однако они значимы только на высоких ступенях интеграции).

**Группа 3:** индикаторы, которые отражают значимость для объединения мобильности трудовых ресурсов и взаимной профессиональной подготовки специалистов. В нее входили индикаторы обмена трудовыми мигрантами и, главное, индикаторы взаимодействия в сфере образования (об этом подробнее см. в работе [13]).

**Группа 4:** индикаторы, которые отражают значимость для объединения успешности научного обмена и трансфера инноваций. Некоторые индикаторы измерения инновационного взаимодействия представлены в публикации [13].

Приведем пример расчета подобного сводного индекса интеграции, который представляет собой среднее геометрическое индикаторов (2)–(7), шкалированных по правилу (1):

$$I_{intra} = \sqrt[6]{\text{Share\_Exp}_{intra}^g \cdot \text{Share\_Imp}_{intra}^g \cdot \text{Share\_Exp}_{intra}^s \cdot \text{Share\_Imp}_{intra}^s \cdot \text{Share\_FDI}_{intra}^{inf} \cdot \text{Share\_FDI}_{intra}^{outf}}.$$

### Модели значимости интеграционного объединения в мире

Для анализа динамики значимости интеграционного объединения в мировой экономике полезно использовать следующие индикаторы:

- долю суммарного ВВП объединения в мировом ВВП, задаваемую выражением

$$\text{Share\_GDP} = \frac{\text{GDP}_{reg}}{\text{GDP}_w};$$

- долю суммарного населения объединения в мировом населении, представимую в виде

$$\text{Share\_Pop} = \frac{\text{Pop}_{reg}}{\text{Pop}_w}.$$

В приведенных формулах и далее по тексту приняты следующие обозначения: GPD – объем ВВП объединения; Pop – численность населения объединения; нижний индекс  $reg$  – объединение; нижний индекс  $w$  – мир.

Динамику этих индикаторов удобно отображать на двухкоординатной плоскости, где ось  $x$  – доля ВВП по ППС объединения в мировом ВВП по ППС, ось  $y$  – доля населения объединения в мировом населении. На рисунке показаны направления движения трех важнейших интеграционных объединений (ЕС, ЕАЭС, АСЕАН), что наглядно иллюстрирует стремительное падение как демографической, так и экономической значимости ЕС в мире и медленный, но уверенный рост экономической значимости ЕАЭС и АСЕАН в мире. За точку отсчета взят 2000 г., когда ЕАЭС носил название ЕврАзЭС.

Предложенную двухкоординатную модель можно применять для следующих индикаторов:

- доли внешней (за пределами объединения) торговли в мировой торговле, задаваемой выражением

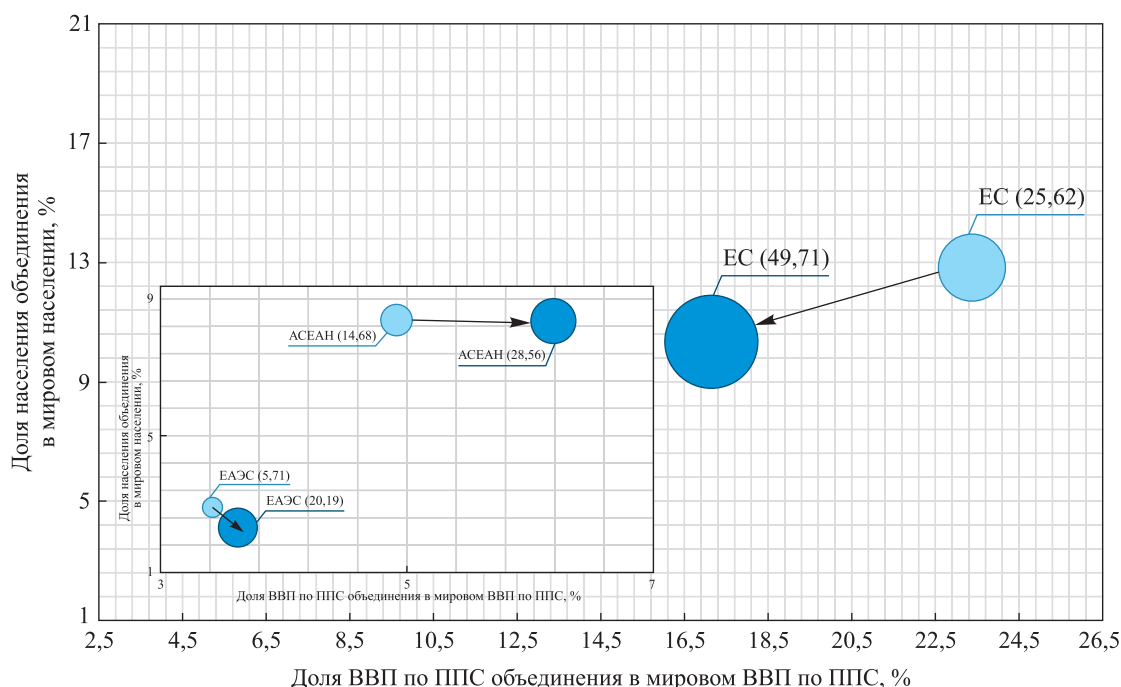
$$\text{Share\_Trade} = \frac{\text{Trade}_{extra}}{\text{Trade}_w};$$

• доли ввозимых и вывозимых инвестиций объединения из третьих стран в мировых инвестициях (суммарные инвестиции или ПИИ), представимой в виде

$$\text{Share\_Inv} = \frac{\text{Inv}_{\text{extra}}}{\text{Inv}_w}$$

В приведенных формулах и далее по тексту приняты следующие обозначения: Trade – торговля; Inv – инвестиции.

Долю внешней (за пределами объединения) торговли в мировой торговле можно заменить отдельными индикаторами: долей суммарного экспорта (товаров и услуг) объединения в мировой торговле, вычисляемой по формуле  $\text{Share\_Exp} = \frac{\text{Exp}_{\text{extra}}}{\text{Exp}_w}$ , и долей суммарного импорта (товаров и услуг) объединения в мировой торговле, задаваемой выражением  $\text{Share\_Imp} = \frac{\text{Imp}_{\text{extra}}}{\text{Imp}_w}$ , – и изобразить их на двухкоординатной плоскости. Целесообразно также показать динамику чистого экспорта объединения  $i$ . Применительно к доле ввозимых и вывозимых инвестиций объединения из третьих стран в мировых инвестициях иногда оправданно показать на двухкоординатной плоскости траектории ввозимых и вывозимых инвестиций по отдельности.



Двухкоординатная модель динамики изменений значимости ЕС, ЕАЭС и АСЕАН с 2000 по 2021 г.

Размер шара указывает на средний объем ВВП по ППС на душу населения.

Голубой цвет обозначает 2000 г., синий цвет – 2021 г.

Two-coordinate model of the dynamics of changes in the importance of Eurasian Economic Union, European Union and Association of Southeast Asian Nations from 2000 to 2021.

The size of the ball is the average GDP by PPP per capita. Light blue indicates 2000, blue indicates 2021

Сводный индекс значимости объединения в мире можно вычислить с помощью модели

$$I_{\text{reg}} = 5 \sqrt{\frac{\text{Trade}_{\text{extra}}}{\text{Trade}} \cdot \frac{\text{Inv}_{\text{extra}}}{\text{Inv}} \cdot \frac{\text{Pop}_{\text{reg}}}{\text{Pop}} \cdot \frac{\text{GDP}_{\text{reg}}}{\text{GDP}}}$$

Разумеется, все четыре индикатора предварительно должны быть шкалированы по правилу (1).

Более детальный анализ динамики конкурентных позиций регионального объединения в мировой экономике дает предложенная в табл. 1 система моделей. В ней на примере сравнения ЕАЭС и ЕС проведен такой анализ, из которого вытекают следующие выводы.

Взаимная экспортная квота в ЕАЭС пока существенно ниже, чем в ЕС, хотя за пять лет она увеличилась благодаря высоким среднегодовым темпам роста взаимного экспорта, равным 11,5 %. В ЕАЭС и ЕС экспортные квоты в третьи страны практически одинаковы, но в ЕАЭС объем внешнего экспорта растет существенно быстрее, чем в ЕС. Доля ЕАЭС в мировом экспорте, по сравнению с соответствующим

показателем ЕС, пока остается крайне маленькой, но увеличивается быстрыми темпами, в то время как в ЕС она снижается во внешнем экспорте и незначительно растет во взаимном экспорте. Примерно такие же тенденции наблюдаются и в импорте (см. табл. 1). Объем чистого экспорта в ЕАЭС растет высокими темпами (14,3 %), в то время как в ЕС он сокращается с ежегодной скоростью –30,4 % за последние пять лет. Это является следствием вытеснения с мировых рынков европейских товаров китайскими. Чистый экспорт увеличивает ВВП ЕАЭС на 10,2 %, в то время как ВВП ЕС – только на 0,45 %. В результате коэффициент покрытия экспортом импорта снизился в ЕС и вырос в ЕАЭС.

Таблица 1

Система моделей анализа динамики  
конкурентных позиций ЕАЭС и ЕС  
на примере мирового товарного рынка в 2016 и 2021 гг.

Table 1

A system of models for analysing the dynamics  
of competitive positions of the EAEU and the EU  
on the example of the global commodity market in 2016 and 2021

| Группа индикаторов | Индикаторы                           | Модели                                                                                                      | Год  | ЕАЭС  |       | ЕС    |       |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
|                    |                                      |                                                                                                             |      | Intra | Extra | Intra | Extra |
| 1                  | Экспорт, млрд долл. США              | $Exp_i(t)$                                                                                                  | 2016 | 42,5  | 308,3 | 2904  | 2066  |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 73,1  | 527,9 | 4052  | 2578  |
|                    | Экспортная квота, %                  | $\frac{Exp_i(t)}{GDP_i(t)}$                                                                                 | 2016 | 2,9   | 20,8  | 13    | 21    |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 3,5   | 25,6  | 15    | 24    |
|                    | Среднегодовой рост экспорта, %       | $CAGR\_Exp_i(t + \Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{Exp_i(t + \Delta t)}{Exp_i(t)}}$                      | 2016 | 11,5  | 11,3  | 7,0   | 4,6   |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 11,5  | 11,3  | 7,0   | 4,6   |
|                    | Доля в мировом экспорте, %           | $Share\_Exp_i(t) = \frac{Exp_i(t)}{Exp_w(t)} \cdot 100$                                                     | 2016 | 0,27  | 1,92  | 18,1  | 12,9  |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 0,33  | 2,36  | 18,2  | 11,5  |
| 2                  | Среднегодовой рост доли, %           | $CAGR\_Share\_Exp_i(t + \Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{Share\_Exp_i(t + \Delta t)}{Share\_Exp_i(t)}}$ | 2016 | 4,1   | 4,2   | 0,1   | –2,3  |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 4,1   | 4,2   | 0,1   | –2,3  |
|                    | Экспорт на душу населения, долл. США | $Exp_i^{pc}(t) = \frac{Exp_i(t)}{Pop_i(t)}$                                                                 | 2016 | 232   | 1681  | 5674  | 4624  |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 398   | 2875  | 9069  | 5770  |
|                    | Импорт, млрд долл. США               | $Imp_i(t)$                                                                                                  | 2016 | 50,1  | 201,1 | 2849  | 1773  |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 79,0  | 318,5 | 3969  | 2500  |
|                    | Среднегодовой рост импорта, %        | $CAGR\_Imp_i(t + \Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{Share\_Imp_i(t + \Delta t)}{Share\_Imp_i(t)}}$        | 2016 | 9,6   | 9,6   | 6,8   | 7,1   |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 9,6   | 9,6   | 6,8   | 7,1   |
| 2                  | Доля в мировом импорте, %            | $Share\_Imp_i(t) = \frac{Imp_i(t)}{Imp_w(t)} \cdot 100$                                                     | 2016 | 0,31  | 1,24  | 17,6  | 10,9  |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 0,35  | 1,41  | 17,6  | 11,1  |
|                    | Среднегодовой темп роста доли, %     | $CAGR\_Share\_Imp_i(t + \Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{Imp_i(t + \Delta t)}{Imp_i(t)}}$               | 2016 | 2,5   | 3,2   | 0     | 0,4   |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 2,5   | 3,2   | 0     | 0,4   |
|                    | Импорт на душу населения, долл. США  | $Imp_i^{pc}(t) = \frac{Imp_i(t)}{Pop_i(t)}$                                                                 | 2016 | 273   | 1097  | 5567  | 3464  |
|                    |                                      |                                                                                                             | 2021 | 430   | 1735  | 8883  | 5595  |

Окончание табл. 1  
Ending table 1

| Группа индикаторов | Индикаторы                                        | Модели                                                                                                                                                      | Год  | ЕАЭС  |       | ЕС    |       |
|--------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
|                    |                                                   |                                                                                                                                                             |      | Intra | Extra | Intra | Extra |
| 3                  | Чистый экспорт, млрд долл. США                    | $\text{Exp}_i^{\text{net}}(t) = \text{Exp}_i(t) - \text{Imp}_i(t)$                                                                                          | 2016 | 0     | 107,2 | 0     | 293   |
|                    |                                                   |                                                                                                                                                             | 2021 | 0     | 209,4 | 0     | 78    |
|                    | Среднегодовой рост чистого экспорта, %            | $\text{CAGR\_Exp}_i^{\text{net}}(t + \Delta t, t) = \Delta t \sqrt[\Delta t]{\frac{\text{Exp}_i^{\text{net}}(t + \Delta t)}{\text{Exp}_i^{\text{net}}(t)}}$ | 2016 | 0     | 14,3  | 0     | –30,4 |
|                    |                                                   |                                                                                                                                                             | 2021 | 0     | 14,3  | 0     | –30,4 |
|                    | Доля чистого экспорта в ВВП по обменному курсу, % | $\Delta_i(t) = \frac{\text{Exp}_i^{\text{net}}(t)}{\text{GDP}_i(t)} \cdot 100$                                                                              | 2016 | 0     | 7,2   | 0     | 0,45  |
|                    |                                                   |                                                                                                                                                             | 2021 | 0     | 10,2  | 0     | 0,45  |
| 4                  | Коэффициент покрытия импорта экспортом            | $\text{Cov}_i(t) = \frac{\text{Exp}_i(t)}{\text{Imp}_i(t)}$                                                                                                 | 2016 | 1     | 1,53  | 1     | 1,17  |
|                    |                                                   |                                                                                                                                                             | 2021 | 1     | 1,66  | 1     | 1,03  |
| 5                  | Доля чистого экспорта во внешней торговле, %      | $\text{NT}_i(t) = \frac{\text{Exp}_i^{\text{net}}(t)}{\text{Foreign trade}_i} \cdot 100$                                                                    | 2016 | 0     | 21    | 0     | 8     |
|                    |                                                   |                                                                                                                                                             | 2021 | 0     | 25    | 0     | 2     |

Примечание. Используются следующие обозначения:  $t$  – период времени; CAGR – среднегодовой рост; Cov – коэффициент покрытия импорта экспортом; NT – чистая торговля; верхний индекс  $pc$  – импорт или экспорт на душу населения; верхний индекс net – чистый экспорт.

Из результатов расчета по системе моделей измерения динамики конкурентных позиций ЕАЭС и ЕС в мировой торговле товарами можно сделать следующие выводы.

1. Доля ЕАЭС как целого в мировой торговле за пределами ЕАЭС в 5 раз меньше соответствующей доли ЕС. Это примерно адекватно пропорции ВВП двух объединений: ВВП ЕАЭС (2,063 млрд долл. США) более чем в 8 раз меньше ВВП ЕС (17,164 млрд долл. США). По этой причине в ЕС объем взаимной торговли существенно больше (в 55 раз), чем в ЕАЭС. В связи с этим внутренняя экспортная квота ЕАЭС хоть и растет, но остается очень маленькой (3,5 %), а внешняя экспортная квота ЕАЭС уже превысила соответствующий показатель ЕС.

2. За пять лет после создания ЕАЭС динамика показателей роста взаимного экспорта и внешнего экспорта в ЕАЭС стала существенно лучше, чем в ЕС ( $\text{CAGR}_{\text{ЕАЭС}}^{\text{intra}} = 4,1\%$  и  $\text{CAGR}_{\text{ЕАЭС}}^{\text{extra}} = 4,2\%$ ), в то время как в ЕС рост взаимной торговли в этот период остановился ( $\text{CAGR}_{\text{ЕС}}^{\text{intra}} = 0,1\%$ ), а рост внешней торговли деградирует ( $\text{CAGR}_{\text{ЕС}}^{\text{extra}} = -2,3\%$ ). Это обусловлено тем, что Китай продолжает теснить ЕС на мировых рынках.

3. Объем экспорта на внешний рынок в расчете на одного жителя страны – члена ЕАЭС только в 2 раза меньше, чем на одного жителя страны – члена ЕС. Правда, показатель обмена товарами внутри ЕАЭС на одного жителя страны – члена ЕАЭС в 23 раза меньше, чем на одного жителя страны – члена ЕС.

4. Очень важный показатель – это чистый экспорт. В ЕАЭС объем чистого экспорта увеличивался на 14,3 % в год, в то время как в ЕС он ежегодно сокращался на 30,4 % (импорт теснил экспорт).

### Межрегиональные модели интеграции на базе модели *затраты – выпуск* (В. В. Леонтьев)

Построим модель интегрирующихся экономик стран – членов ЕАЭС. Каждая экономика имеет собственную  $(n \times n)$ -матрицу коэффициентов прямых затрат  $A^i$  при  $i = 1, 5$  (предполагаем, что национальные межотраслевые балансы агрегированы в одинаковую размерность) и свой вектор себестоимости производства продукции в единых ценах  $p^i$ . Пусть для всего интеграционного объединения задан вектор конечного потребления  $Y$ . Обозначим через  $X^i$  вектор выпуска в стране  $i$ . Требуется найти значение  $\min p^i x^i$ :

$$\sum_{i=1}^5 (X^i - A^i X^i) \geq Y, \quad (8)$$

$$a^i \leq x^i \leq b^i, i = 1, \dots, 5.$$

В работе [6] продемонстрировано применение 44-отраслевой модели Леонтьева для оценки эффектов интеграции России, Беларуси, Казахстана и Украины. Торговые последствия интеграции с помощью

моделей *затраты – выпуск* (*input – output*) оценивает также американская модель ВТБМ (*bilateral trade balance model*), расширенная до известной глобальной торговой модели ВТО (*WTO global trade mode*), которая представлена на сайте [www.wto.org](http://www.wto.org).

### Модели коллективной экономической безопасности интеграционного объединения

Вопросы сравнительного анализа экономической безопасности отдельных стран – членов ЕАЭС и ее повышения благодаря процессам интеграции изучались во многих работах, результаты которых суммированы в монографии И. В. Андроновой, И. Н. Беловой и М. В. Ганеевой [13]. В нашей статье [14] впервые была сделана попытка ввести понятие «коллективная экономическая безопасность регионального объединения» на примере ЕАЭС. Евразийская экономическая безопасность определялась как защита общих экономических интересов от потенциальных угроз, обеспечивающая устойчивое развитие единой экономической системы ЕАЭС и повышение ее конкурентоспособности в мире на основе эффективного разделения труда между странами – членами ЕАЭС.

Исходя из сформулированных общих евразийских экономических интересов и угроз их реализации, были отобраны следующие коллективные индикаторы евразийской экономической безопасности  $I_k$ :

- $I_1$  – рост значимости евразийской экономики в мире;
- $I_2$  – рост основных фондов ЕАЭС;
- $I_3$  – рост основных трудовых ресурсов ЕАЭС;
- $I_4$  – рост совокупной факторной производительности (СФП) ЕАЭС, измеренный результатами инновационного развития, подобно индексу *output*, входящему в глобальный индекс инноваций;
- $I_5$  – рост объема чистого товарного внешнего (в третьи страны) экспорта ЕАЭС;
- $I_6$  – взаимная платежная безопасность и финансовая стабильность (индикатор измеряет, насколько в условиях санкций могут функционировать денежные системы);
- $I_7$  – социальная стабильность ЕАЭС, т. е. социальная конвергенция стран ЕАЭС.

Далее построена модель сводного индекса коллективной безопасности ЕАЭС как функция

$$ESI_{\text{ЕАЭС}} = \sum_{k=1}^7 \left( \frac{I_k}{\text{Threshold}_k} - 1 \right) \cdot 100,$$

где  $I_k$  – шкалированные значения, т. е. переведенные в интервал от 0 до 1 индикаторы по семи направлениям экономической безопасности;  $\text{Threshold}_k$  – пороговые значения этих индикаторов.

Главное назначение сводного индекса – мониторинг состояния коллективной экономической безопасности ЕАЭС. Его динамика указывает на улучшение или ухудшение коллективной экономической безопасности.

### Гравитационные модели взаимной торговли

По аналогии с законом всемирного тяготения Ньютона первые гравитационные модели были разработаны еще в 1950–60-х гг. У. Айзардом (1954), С. Линдером (1961) и будущим лауреатом Нобелевской премии Я. Тинбергеном (1964) [2]. Их гравитационная модель для стран  $i$  и  $j$  проста:

$$\text{Trade}_{i,j} = g \frac{\text{GDP}_i \text{GDP}_j}{\text{Dist}_{i,j}},$$

где  $\text{Trade}_{i,j}$  – объем внешней торговли между странами  $i$  и  $j$ ;  $\text{GDP}_i$  – ВВП страны  $i$ ;  $\text{GDP}_j$  – ВВП страны  $j$ ;  $\text{Dist}_{i,j}$  – расстояние между странами  $i$  и  $j$  (их столицами);  $g$  – гравитационная константа. В реальных моделях под величиной  $\text{Dist}_{i,j}$  понимаются издержки (например, логистические) торговли между странами  $i$  и  $j$ . В применении к интеграционному объединению величина  $\text{Dist}_{i,j}$  уменьшается на интеграционные эффекты, способствующие торговле (отсутствие таможенных барьеров и пошлин, границ, единый язык и т. д.). Отметим, что еще Я. Тинберген перешел к лог-форме модели и ввел в модель фиктивные переменные о наличии общей границы и членства в союзах. С тех пор ввиду простоты гравитационной модели появилось огромное количество работ по ее применению. В 2005 г. С. Маногис использовал гравитационную модель для оценки последствий интеграции в Североамериканском соглашении о свободной торговле. Армянские, белорусские и российские ученые пытались применить эту модель и ее аналоги к ЕАЭС (см., например, публикации [11–13]). Как правило, в современных исследованиях строится эконометрический аналог гравитационной модели по формуле

$$\ln \text{Trade}_{i,j}(t) = g_0 + g_1 \ln \text{GDP}_i(t) + g_2 \ln \text{GDP}_j(t) + g_3 \text{int}(t) - g_4 \text{Dist}_{i,j}(t),$$

где  $\text{int}(t)$  – интеграционные эффекты объединения, способствующие торговле;  $\text{Dist}_{i,j}(t)$  – препятствия, сдерживающие торговлю между странами  $i$  и  $j$ .

Построенные эконометрические аналоги гравитационной модели типа (8) для взаимной торговли в странах ЕАЭС (табл. 2) показали, что торговля в этих государствах подчиняется гравитационному закону (см. табл. 1). По этой причине модели могут применяться для прогнозирования взаимного экспорта. Например, это было сделано в публикации [14], в которой спрогнозирован взаимный экспорт до 2025 г.

Таблица 2

**Эконометрические гравитационные модели  
взаимной торговли стран – членов ЕАЭС**

Table 2

**Econometric gravity models  
of mutual trade of the EAEU member states**

| Переменная                                                             | Модель<br>Господарик – Масеновой [14] |            | Модель Швед<br>(для Беларуси) [15] | Модель<br>Гинояна – Ткаченко [16] |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                        | Модель 1                              | Модель 2   |                                    |                                   |
| Зависимая переменная                                                   |                                       |            |                                    |                                   |
| Зависимая переменная                                                   | $EX_{i,j}(t)$                         |            | –                                  | –                                 |
| Независимые переменные                                                 |                                       |            |                                    |                                   |
| Константа, C                                                           | 2,677 624                             | –8,812 275 | –8,074                             | –9,798                            |
| ВВП страны $i$ , $\ln GDP_i$                                           | 0,251 039                             | –          | 1,421                              | 0,842**                           |
| ВВП страны $j$ , $\log GDP_j$                                          | 0,212 200                             | –          | 1,143                              | 0,825**                           |
| Наличие общих границ, $\log R$                                         | –0,447 213                            | –0,585 827 | –                                  | 1,29                              |
| Переменная $\ln EX(-1)$                                                | 0,775 490                             | 0,705 131  | –                                  | –                                 |
| Численность населения страны $i$ , $\ln Pop_i$                         | –                                     | 0,491 500* | –                                  | 0,456                             |
| Численность населения страны $j$ , $\ln Pop_j$                         | –                                     | 0,443 284* | –                                  | 0,194                             |
| Качество институтов страны $i$ , $Inst_i$                              | –                                     | –          | –                                  | 1,057                             |
| Качество институтов страны $j$ , $Inst_j$                              | –                                     | –          | –                                  | 0,519                             |
| Отсутствие выхода к морю<br>для импортера, $LDLC_j$                    | –                                     | –          | –                                  | –0,433                            |
| Общая граница, $COMB_{i,j}$                                            | –                                     | –          | –                                  | 1,29                              |
| Колониальные взаимоотношения, $Col_{i,j}$                              | –                                     | –          | –                                  | 0,809                             |
| Расстояние между странами $i$ и $j$ , $\ln Dist_{i,j}$                 | –                                     | –          | 0,45                               | –1,226                            |
| Участие двух стран в соглашении о сво-<br>бодной торговле, $FTA_{i,j}$ | –                                     | –          | –                                  | 0,621                             |
| Участие двух стран в ВТО, $WTO_{i,j}$                                  | –                                     | –          | –                                  | 0,287                             |

Примечания: 1. Знаком \* отмечены показатели численности экономически активного населения, знаком \*\* – показатели ВВП по ППС. 2. Прочерк означает, что переменные не учитывались при построении модели.

Главная проблема эконометрических гравитационных моделей состоит в том, что строятся они по панельным историческим данным с общими коэффициентами  $g_1$  и  $g_2$  для всех стран панели. Ждет своих исследователей и проблема агрегации гравитационной модели и географической модели *ядро – периферия* (П. Кругман).

**Эконометрические модели экономического роста стран  
с учетом интеграционных эффектов**

В нашей монографии [17] построены многочисленные модели экономического роста стран ЕАЭС и сделан прогноз роста ЕАЭС до 2030 и 2050 гг. Основа всех моделей – функция Кобба – Дугласа:

$$Y(t) = A(t)L^\alpha(t)K^{1-\alpha}(t), \quad (9)$$

примененная в разностной форме после логарифмирования формулы (9) к росту ВВП при условии, что  $L_i(t)$  – трудовые ресурсы в год  $t$ ;  $K_i(t)$  – основной капитал в год  $t$ ;  $A_i(t)$  – СФП в год  $t$ . Она используется

для прогнозирования роста объединения и входящих в него стран с добавлением переменных, которые характеризуют интеграционные эффекты.

Популярны также эконометрические обобщения указанной модели экономического роста в виде

$$\text{Growth\_GDP}_i(t) = \alpha + \beta \text{Trade}_i^{\text{intra}}(t) + \sum_{k=1}^K \varphi^k \text{Growth}_i^k(t) + \varepsilon_i(t),$$

где Growth – рост показателя в процентах;  $i$  – номер страны;  $X_i^k$  – фактор экономического роста: труд, капитал, человеческий капитал (например, доля работников с высшим образованием, СФП);  $\text{Trade}_i^{\text{intra}}(t)$  – внутрирегиональная торговля страны  $i$  (чаще всего это доля в суммарной торговле). Например, в публикации [18] построена подобная модель для стран АСЕАН по панели за 1980–2015 гг. и проведен сравнительный анализ.

### Регрессионные модели воздействия экономической интеграции на рост ВВП

Подход является крайне простым и дает хорошие результаты. На исторических данных строится эконометрическое уравнение вида

$$\text{Growth\_GDP}_i^{pl}(t) = \delta_i + \varphi_i \text{Int}_i(t) + (1 - \lambda_i \text{Growth\_GDP}_i^{pc}(t-1)),$$

где  $\text{Growth\_GDP}_i^{pl}(t)$  – ВВП на одного занятого в год  $t$  (производительность труда);  $\text{Growth\_GDP}_i^{pc}(t-1)$  – ВВП на душу населения в год  $t-1$ ;  $\text{Int}_i(t)$  – уровень интеграции страны  $i$  в год  $t$  по сводному индексу интеграции;  $\delta_i$ ,  $\varphi_i$ ,  $\lambda_i$  – коэффициенты. Модель была успешно применена Х. Бадингером в 2001 г. для стран ЕС на основе данных с 1950 по 2000 г. и показала, что за счет эффектов интеграции  $\text{Int}_i(t)$  средний ВВП за этот период был на 20 % выше, чем без интеграции [19].

### Модели оценки влияния интеграции на рост совокупной факторной производительности

Интересное направление создается в работах [20; 21] по эконометрическому моделированию влияния интеграции на рост СФП  $A$ , а это главный наряду с капиталом и трудом фактор роста. Приведем одну из таких моделей:

$$\ln A = \alpha_0 + \alpha_{\text{Inv}} \ln \text{Inv}^{\text{R\&D}} + \alpha_{\text{FDI}} \ln \text{Inv}^{\text{R\&D}}, \quad (10)$$

где  $\alpha_i$  – константы, которые определяются из панельных эконометрических моделей;  $\text{Inv}^{\text{R\&D}}$  – внутренние и взаимные инвестиции в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы R & D;  $\text{FDI}^{\text{R\&D}}$  – внешние (из третьих стран) иностранные инвестиции в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы R & D. Позднее в модель (10) было добавлено слагаемое  $\alpha^H \ln H$ , где  $H$  – качество человеческого капитала в стране, оцениваемое средней продолжительностью обучения (детали см. в нашей монографии [17]). По панелям из 24 стран ЕС было получено уравнение для вычисления СФП  $A(t)$  с учетом внутрирегиональных потоков научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, что позволило оценить вклад интеграции в рост СФП.

### Система моделей сравнительного анализа динамики скорости интеграции стран в региональное объединение

Перечень из девяти индикаторов, предназначенных для мониторинга степени интеграции стран – членов ЕАЭС, закреплён в приложении № 14 к Договору о Евразийском экономическом союзе. В их число входят пять индикаторов, связанных с торговлей и инвестициями, и четыре индикатора, сопряженных с ростом ВВП, объемом ВВП на душу населения, сальдо текущего счета и индексом реального эффективного обменного курса национальной валюты. Эти индикаторы ЕАЭС применяются при сравнительной оценке (формировании рейтинга) интегрированности каждой страны в объединении.

Модели рассчитывают интеграционные индикаторы (табл. 3) по схемам, схожим со схемами анализа места объединения в мире.

Таблица 3

**Система моделей сравнительного анализа динамики  
внешней торговли товарами страны  $i$  внутри и вне регионального объединения  
на примере данных за 2016 и 2021 гг. для Беларуси**

Table 3

**A system of models for comparative analysis of dynamics  
foreign trade in goods of country  $i$  inside and outside the regional association  
based on 2016 and 2021 data for Belarus**

| Группа индикаторов | Индикаторы                                        | Модели                                                                                                      | Год  | Беларусь   |            |
|--------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|------------|
|                    |                                                   |                                                                                                             |      | Intra ЕАЭС | Extra ЕАЭС |
| 1                  | Экспорт, млрд долл. США                           | $Exp_i(t)$                                                                                                  | 2016 | 11,4       | 12,2       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 17,4       | 22,6       |
|                    | Экспортная квота, %                               | $\frac{Exp_i(t)}{GDP_i(t)}$                                                                                 | 2016 | 23,9       | 25,6       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 25,5       | 33,1       |
|                    | Среднегодовой рост экспорта, %                    | $CAGR\_Exp_i(t + \Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{Exp_i(t + \Delta t)}{Exp_i(t)}}$                      | 2016 | 8,9        | 13,1       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 8,9        | 13,1       |
| 2                  | Доля в мировом экспорте, %                        | $Share\_Exp_i(t) = \frac{Exp_i(t)}{Exp_w(t)} \cdot 100$                                                     | 2016 | 0,07       | 0,08       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 0,08       | 0,10       |
|                    | Среднегодовой рост доли, %                        | $CAGR\_Share\_Exp_i(t + \Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{Share\_Exp_i(t + \Delta t)}{Share\_Exp_i(t)}}$ | 2016 | 6,8        | 11,8       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 6,8        | 11,8       |
|                    | Экспорт на душу населения, долл. США              | $Exp_i^{pc}(t) = \frac{Exp_i(t)}{Pop_i(t)}$                                                                 | 2016 | 2260       | 1288       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 2730       | 2420       |
| 3                  | Импорт, млрд долл. США                            | $Imp_i(t)$                                                                                                  | 2016 | 15,4       | 12,2       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 23,9       | 17,9       |
|                    | Среднегодовой рост импорта, %                     | $CAGR\_Imp_i(t + \Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{Share\_Imp_i(t + \Delta t)}{Share\_Imp_i(t)}}$        | 2016 | 9,2        | 8,0        |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 9,2        | 8,0        |
|                    | Доля в мировом импорте, %                         | $Share\_Imp_i(t) = \frac{Imp_i(t)}{Imp_w(t)} \cdot 100$                                                     | 2016 | 0,09       | 0,07       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 0,11       | 0,09       |
| 3                  | Среднегодовой темп роста доли, %                  | $CAGR\_Share\_Imp_i(t + \Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{Imp_i(t + \Delta t)}{Imp_i(t)}}$               | 2016 | 10,5       | 6,8        |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 10,5       | 6,8        |
|                    | Импорт на душу населения, долл. США               | $Imp_i^{pc}(t) = \frac{Imp_i(t)}{Pop_i(t)}$                                                                 | 2016 | 1626       | 1288       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | 2559       | 1916       |
|                    | Чистый экспорт, млрд долл. США                    | $Exp_i^{net}(t) = Exp_i(t) - Imp_i(t)$                                                                      | 2016 | -4,0       | 0,0        |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | -6,4       | 4,7        |
| 3                  | Среднегодовой рост чистого экспорта, %            | $CAGR\_Exp_i^{net}(t + \Delta t, t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{Exp_i^{net}(t + \Delta t)}{Exp_i^{net}(t)}}$    | 2016 | -26,5      | 21,7       |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | -26,5      | 21,7       |
|                    | Доля чистого экспорта в ВВП по обменному курсу, % | $\Delta_i(t) = \frac{Exp_i^{net}(t)}{GDP_i(t)} \cdot 100$                                                   | 2016 | -8,4       | 0          |
|                    |                                                   |                                                                                                             | 2021 | -9,4       | 6,9        |

Окончание табл. 3  
Ending table 3

| Группа индикаторов | Индикаторы                                                            | Модели                                                                                                                                          | Год  | Беларусь   |            |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|------------|
|                    |                                                                       |                                                                                                                                                 |      | Intra ЕАЭС | Extra ЕАЭС |
| 4                  | Коэффициент покрытия импорта экспортом                                | $\text{Cov}_i(t) = \frac{\text{Exp}_i(t)}{\text{Imp}_i(t)}$                                                                                     | 2016 | 0,73       | 1,0        |
|                    |                                                                       |                                                                                                                                                 | 2021 | 0,73       | 1,26       |
| 5                  | Доля чистого экспорта во внешней торговле, %                          | $\text{NT}_i(t) = \frac{\text{Exp}_i^{\text{net}}(t)}{\text{Foreign trade}_i} \cdot 100$                                                        | 2016 | –14,9      | 0          |
|                    |                                                                       |                                                                                                                                                 | 2021 | –15,5      | 11,6       |
| 6                  | Индекс Грубеля – Ллойда                                               | $\text{GM}_i(t) = 1 - \frac{ \text{Exp}_i^{\text{net}}(t) }{\text{Foreign trade}_i}$                                                            | 2016 | 0,85       | 1,0        |
|                    |                                                                       |                                                                                                                                                 | 2021 | 0,84       | 0,88       |
| 7                  | Сравнительное преимущество торговли товарами перед торговлей услугами | $\text{RCA}_i(t) = \frac{\text{Exp}_i(t)}{\text{Exp}_i^{\text{total}}} \left( \frac{\text{Exp}_w(t)}{\text{Exp}_w^{\text{total}}} \right)^{-1}$ | 2016 | 1,14       | 1,11       |
|                    |                                                                       |                                                                                                                                                 | 2021 | 1,14       | 0,95       |

Примечания: 1. Разработано на основе материалов баз данных Евразийской экономической комиссии и ВТО. 2. Верхний индекс total обозначает суммарное значение показателя, GM – индекс Грубеля – Ллойда, RCA – сравнительное преимущество торговли товарами перед торговлей услугами.

Из результатов расчета внешней торговли Беларуси по системе моделей, изложенных в табл. 3, можно сделать следующие выводы.

1. Экспортная квота Беларуси в страны вне ЕАЭС больше, чем в страны ЕАЭС, и объем экспорта в страны вне ЕАЭС растет быстрее, чем в страны ЕАЭС, при этом доля Беларуси в мировом экспорте больше, чем доля взаимного экспорта.

2. Показатели импорта из стран ЕАЭС в Беларусь росли быстрее, чем показатели импорта из третьих стран в Беларусь. Это объясняется импортом энергоносителей из России, который ведет к отрицательному сальдо торговли Беларуси со странами ЕАЭС при положительном растущем чистом экспорте в остальной мир.

3. Вместе с тем коэффициент покрытия экспортом импорта остается неизменным, а с остальным миром растет, что свидетельствует об успешности белорусской внешней торговли.

4. Сравнительные преимущества торговли товарами внутри ЕАЭС являются прежними и снижаются в остальном мире, что говорит о растущей роли торговли Беларуси услугами.

### Модель DEA сравнительной оценки эффективности интеграционных объединений и их выгоды для отдельных стран

Модель оболочечного анализа данных, или модель сравнительного анализа конкуренции (*data envelopment analysis*, DEA), позволяет сравнивать эффективность работы на мировом рынке экономических агентов. Модель по свертке входных, или ресурсных (*input*), и выходных, или результативных (*output*), индикаторов строит выпуклую оболочку эффективности, т. е. устанавливает отношения ресурсов и результатов и учитывает те объекты (в нашем случае страны), которые оказались на границе эффективности, достигли оптимальности (по Парето) в интеграции. Главное в модели – правильно выбрать входные ( $x_1, \dots, x_n$ ) и выходные ( $y_1, \dots, y_m$ ) индикаторы и рассчитать их для каждой страны  $i$ .

В табл. 4 приведены возможные наборы индикаторов для сравнительного анализа оптимальности (по Парето) интеграционного процесса стран, входящих в объединение.

Эффективность интеграционного объединения для страны  $i$  (число стран в объединении) будем оценивать отношением взвешенного с коэффициентами ( $u_1, \dots, u_m$ ) выхода к взвешенному с коэффициентами ( $v_1, \dots, v_n$ ) входу, которые найдем для каждой страны  $i$ , решив задачу дробно-линейной оптимизации:

$$\max \frac{u_1 y_1^i + \dots + u_m y_m^i}{v_1 x_1^i + \dots + v_n x_n^i} = \theta^i, \quad (11)$$

$$\frac{u_1 y_1^s + \dots + u_m y_m^s}{v_1 x_1^s + \dots + v_n x_n^s} \leq 1, s \neq i, s = 1, \dots, K, \quad (12)$$

$$u_1, \dots, u_m \geq 0, v_1, \dots, v_n \geq 0.$$

Таблица 4

## Примеры построения моделей DEA для сравнительного анализа эффективности интеграции ее членов

Table 4

## Examples of building DEA models for comparative analysis of integration efficiency for its members

| Модель   | Входные индикаторы                                                                                                                                                             | Выходные индикаторы                                                                                                                                                                           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Модель 1 | Среднегодовой темп роста взаимной торговли товарами и услугами страны $i$ за период $\Delta t$<br>Среднегодовой темп роста взаимных инвестиций страны $i$ за период $\Delta t$ | Среднегодовой темп роста ВВП на душу населения за период $\Delta t$ , вычисляемый по формуле<br>$CAGR(t_0, t_0 + \Delta t) = \sqrt[\Delta t]{\frac{GDP^{pc}(t_0 + \Delta t)}{GDP^{pc}(t_0)}}$ |
| Модель 2 | Среднегодовой темп роста взаимной торговли товарами и услугами страны $i$ за период $\Delta t$<br>Среднегодовой темп роста взаимных инвестиций страны $i$ за период $\Delta t$ | Среднегодовой темп роста чистого экспорта в третьи страны к ВВП                                                                                                                               |

Смысл ограничений состоит в нормировке эффективности. Для всех стран она не должна превышать значение 1. Сформулированные для каждой страны задачи легко линеаризуются и решаются. Страна оптимальна (по Парето) в интеграции, если  $\theta^i = 1$ . При  $\theta^i < 1$  страна еще может улучшить результаты своей интеграции.

Расширяя наборы входных и выходных индикаторов, в моделях (11) и (12) можно увеличить достоверность полученных результатов.

Кроме того, упорядочивая страны по убыванию эффективности  $\theta^i$ , можно построить интеграционный рейтинг стран в объединении.

Метод DEA можно применить также для сравнительного анализа эффективности различных объединений  $i$ . В этом случае по выбранному входу и выходу выявляются интеграционные объединения, наиболее эффективно использующие интеграционные ресурсы.

Входом могут быть все четыре индикатора, перечисленные при расчете сводного индекса, а выходом – темп роста ВВП по ППС на одного жителя объединения.

### Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Построенные модели сводных индексов интеграционных объединений и двухкоординатная модель динамики изменения значимости объединений в мире (см. рисунок), а также система моделей анализа динамики конкурентных позиций на мировом товарном рынке показывают, что ЕАЭС и АСЕАН медленно, но уверенно увеличивают свою значимость в мире, в то время как ЕС ее теряет. В ЕАЭС достаточно быстро растут показатели взаимной торговли (в среднем на 9,5–11,5 % в год), при этом в ЕАЭС среднегодовой темп роста чистого экспорта объединения достиг 14,3 %, а в ЕС он составил –30,4 % (подробнее о торговле в ЕАЭС см. в публикации [22]).

2. Впервые введенная модель измерения коллективной экономической безопасности интеграционного объединения требует дальнейших исследований для ее последующей практической имплементации. Подобные исследования выполняются в ЕС в рамках проекта EUSECON (*New Agenda for European Security Economics*) и активизируются в связи с введением санкций и объявлением энергетической войны с Россией.

3. Критический анализ и расчет по новым моделям роста ВВП и торговли в странах интеграционного объединения показывают, что исследования этих вопросов находятся пока на начальном уровне и отсутствует, например, современное понимание гравитационных моделей с учетом интеграционных факторов.

4. Межотраслевые модели Леонтьева для интеграционных объединений по предложенной схеме их применения могут использоваться, например, при разработке стратегических согласованных планов общей промышленной и аграрной политики стран – членов объединения, нацеленных на увеличение отраслевого выпуска в наиболее конкурентных областях политики этих государств.

5. Высказана принципиально новая идея о применении модели DEA для сравнительного анализа эффективности интеграционных процессов объединений с точки зрения выбранного результата. Метод DEA,

как показано, может использоваться также для анализа оптимальности (по Парето) интеграционных процессов у каждой из стран объединения.

6. Представленное в статье описание математического аппарата анализа эффектов региональных экономических объединений, разумеется, должно дополниться политэкономическим исследованием этих процессов (см., например, работу [23]).

### Библиографические ссылки

1. Balassa B. *The theory of economic integration*. London: [s. n.]; 1962. 318 p.
2. Tinbergen J. *International economic integration*. Amsterdam: Elsevier; 1954. 191 p.
3. Киреев АП, редактор. *Международная экономика*. Москва: Теис; 2006. 720 с. (Вехи экономической мысли; том 6).
4. Киреев АП. *Международная экономика*. Москва: Международные отношения; 2014. 592 с.
5. Кузьмина ТИ, Савина НП. Методологический подход к оценке эффективности экономической интеграции стран – членов СНГ. *Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право*. 2019;4:78–91. DOI: 10.28995/2073-6304-2019-4-78-91.
6. Винокурова ЕЮ, редактор. *Система индикаторов евразийской интеграции II. Доклад № 22*. Санкт-Петербург: Центр интеграционных исследований Евразийского банка развития; 2014. 110 с.
7. Евразийский банк развития. *Комплексная оценка макроэкономического эффекта различных форм глубокого экономического сотрудничества Украины со странами Таможенного союза и Единого экономического пространства в рамках ЕвразЭС*. Санкт-Петербург: Центр интеграционных исследований Евразийского банка развития; 2012. 168 с.
8. Европейская экономическая комиссия. *Система индикаторов интеграции как инструмент анализа функционирования региональных интеграционных объединений* [Интернет]. 2019 [протитировано 15 февраля 2023 г.]; 91 с. Доступно по: <https://ees.eaunion.org/upload/medialibrary/b81/Indikatory-integratsii-2019.pdf>.
9. Головенчик ГГ. *Цифровая трансформация белорусской экономики в условиях цифровой глобализации*. Минск: ИВЦ Минфина; 2022. 376 с.
10. Bo Chen, Yuen Pau Woo. Measuring economic integration in the Asia-Pacific region: a principal components approach. *Asian Economic Papers*. 2010;9:121–143.
11. Dennis DJ, Zainal Aznam Yusof. *Developing indicators of ASEAN integration. A preliminary survey for a road map* [Internet]. 2003 [cited 2023 January 25]. Available from: <http://aadcp2.org/file/02-001-Final-Report.pdf>.
12. Nardoi M, Saisanai M, Saltellii A, Tarantolai S, Hoffmanni A, Giovannini E. *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development; 2005. 108 p. (OECD statistics working papers; No. 2005/03). DOI: 10.1787/533411815016.
13. Андреева ИВ, Белова ИИ, Ганеева МВ. *Экономическая безопасность ЕАЭС*. Москва: Российский университет дружбы народов; 2020. 427 с.
14. Господарик ЕГ, Маенова ЕС. Эконометрические гравитационные модели взаимной торговли стран ЕАЭС. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2021;2:77–91.
15. Швед АВ. Гравитационная модель международной торговли: теория и практика применения. *Экономический бюллетень*. 2020;10:14–23.
16. Гинойн АБ, Ткаченко АА. Внешнеторговая политика стран ЕАЭС: результаты имитационного моделирования. *Финансы: теория и практика*. 2022;26(2):175–189. DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-2-175-189.
17. Господарик ЕГ, Ковалев ММ. *ЕАЭС-2050: глобальные тренды и евразийская экономическая политика*. Минск: БГУ; 2015. 152 с.
18. Muhammad Ibrahim Shah. Investigating the role of regional economic integration on growth: fresh insights from South Asia. *Global Journal of Emerging Market Economies*. 2021;13(1):35–57. DOI: 10.1177/0974910120974800.
19. Badinger H. Growth effect of economic integration: the case of the EU member state (1950–2000) [Internet]. 2001 [cited 2023 January 25]. 45 p. (IEF working paper; No. 40). Available from: <https://research.wu.ac.at/ws/portalfiles/portal/37337573/document.pdf>.
20. Jeong Yeon Lee, Doyeon Kim. *Different models for regional integration: lessons from total factor productivity in Europe*. Tokyo: Asian Development Bank Institute; 2013. 31 p. (ADB working paper; No. 452).
21. Jovanovic MN. *The economics of international integration*. Northampton: Edward Elgar Publishing; 2015. 736 p.
22. Господарик ЕГ, Ковалев ММ. Коллективная экономическая безопасность ЕАЭС: постановка проблемы, индикаторы, сводный индекс. *Белорусский экономический журнал*. 2022;2:23–33. DOI: 10.46782/1818-4510-2022-2-23-33.
23. Глазатова МК, Агаджанян СС, Амирбекова АС, Ахверян ДН, Бададян ГЗ, Барсегян АС и др. *Оценка интеграционных процессов ЕАЭС в сфере торговли*. 2022. Москва: Высшая школа экономики; 2022. 64 с.

### References

1. Balassa B. *The theory of economic integration*. London: [s. n.]; 1962. 318 p.
2. Tinbergen J. *International economic integration*. Amsterdam: Elsevier; 1954. 191 p.
3. Kireev AP, editor. *Mezhdunarodnaya ekonomika* [International economics]. Moscow: Teis; 2006. 720 p. (Vekhi ekonomicheskoi mysli; volume 6). Russian.
4. Kireev AP. *Mezhdunarodnaya ekonomika* [International economics]. Moscow: Mezhdunarodnye otnosheniya; 2014. 592 p. Russian.
5. Kuzmina TI, Savina NP. Methodological approach to evaluating the effectiveness of economic integration of CIS member states. *RGGU Bulletin. Series: Economics. Management. Law*. 2019;4:78–91. Russian. DOI: 10.28995/2073-6304-2019-4-78-91.
6. Vinokurova EYu, editor. *Sistema indikatorov evraziiskoi integratsii II. Doklad № 22* [System of indicators of Eurasian integration II. Report No. 22]. Saint Petersburg: Centre for Integration Studies of the Eurasian Development Bank; 2014. 110 p. Russian.

7. Eurasian Development Bank. *Kompleksnaya otsenka makroekonomicheskogo effekta razlichnykh form glubokogo ekonomicheskogo sotrudnichestva Ukrainy so stranami Tamozhennogo soyuza i Edinogo ekonomicheskogo prostranstva v ramkakh EvrAzES* [A comprehensive assessment of the macroeconomic effect of various forms of deep economic cooperation between Ukraine and the countries of the Customs Union and the Common Economic Space within the framework of the EAEU]. Saint Petersburg: Centre for Integration Studies of the Eurasian Development Bank; 2012. 168 p. Russian.
8. European Economic Commission. *The system of integration indicators as a tool for analysing the functioning of regional integration associations* [Internet]. 2019 [cited 2023 February 15]; 91 p. Available from: <https://eec.eaunion.org/upload/medialibrary/b81/Indikatory-integratsii-2019.pdf>. Russian.
9. Golovenchik GG. *Tsifrovaya transformatsiya belorusskoi ekonomiki v usloviyakh tsifrovoi globalizatsii* [Digital transformation of the Belarusian economy in the conditions of digital globalization]. Minsk: IVTs Minfina; 2022. 376 p. Russian.
10. Bo Chen, Yuen Pau Woo. Measuring economic integration in the Asia-Pacific region: a principal components approach. *Asian Economic Papers*. 2010;9:121–143.
11. Dennis DJ, Zainal Aznam Yusof. *Developing indicators of ASEAN integration. A preliminary survey for a road map* [Internet]. 2003 [cited 2023 January 25]. Available from: <http://aadcp2.org/file/02-001-Final-Report.pdf>.
12. Nardoi M, Saisanai M, Saltellii A, Tarantolai S, Hoffmanni A, Giovanninii E. *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development; 2005. 108 p. (OECD statistics working papers; No. 2005/03). DOI: 10.1787/533411815016.
13. Andronova IV, Belova IN, Ganeeva MV. *Ekonomicheskaya bezopasnost' EAES* [Economic security of the EAEU]. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia; 2020. 427 p. Russian.
14. Gospodarik CG, Maenova ES. Econometric gravity models of mutual trade of the EAEU countries. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2021;2:77–91. Russian.
15. Shved AV. The gravity model of international trade: theory and practice of application. *Ekonomicheskii byulleten'*. 2020;10:14–23. Russian.
16. Ginoyan AB, Tkachenko AA. EAEU countries foreign trade policy: results of simulation modeling. *Finance: Theory and Practice*. 2022;26(2):175–189. Russian. DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-2-175-189.
17. Gospodarik CG, Kovalev MM. *EAES-2050: global'nye trendy i evraziiskaya ekonomicheskaya politika* [The EAEU-2050: global trends and Eurasian economics policy]. Minsk: Belarusian State University; 2015. 152 p. Russian.
18. Muhammad Ibrahim Shah. Investigating the role of regional economic integration on growth: fresh insights from South Asia. *Global Journal of Emerging Market Economies*. 2021;13(1):35–57. DOI: 10.1177/0974910120974800.
19. Badinger H. Growth effect of economic integration: the case of the EU member state (1950–2000) [Internet]. 2001 [cited 2023 January 25]. 45 p. (IEF working paper; No. 40). Available from: <https://research.wu.ac.at/ws/portalfiles/portal/37337573/document.pdf>.
20. Jeong Yeon Lee, Doyeon Kim. *Different models for regional integration: lessons from total factor productivity in Europe*. Tokyo: Asian Development Bank Institute; 2013. 31 p. (ADB working paper; No. 452).
21. Jovanovic MN. *The economics of international integration*. Northampton: Edward Elgar Publishing; 2015. 736 p.
22. Gospodarik CG, Kovalev MM. Collective economic security of the EAEU: statement of the problem, indicators, consolidated index. *Belarusian Economic Journal*. 2022;2:23–33. Russian. DOI: 10.46782/1818-4510-2022-2-23-33.
23. Glazatova MK, Agadzhanian SS, Amirbekova AS, Akhveryan DN, Badadyan GZ, Barsegyan AS, et al. *Otsenka integratsionnykh protsessov EAES v sfere torgovli: 2022* [Assessment of the integration processes of the EAEU in the field of trade: 2022]. Moscow: Higher School of Economics; 2022. 64 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 01.03.2023.  
Received by editorial board 01.03.2023.