

нально-продуктовой матрицы M_{cp} , в которой индекс c обозначает наименование страны или региона, а второй индекс p соответствует наименованию продукта. Элемент этой матрицы равен 1, если некоторая страна имеет выявленные сравнительные преимущества в производстве данного продукта, и 0 в противном случае. Для ответа на вопрос, существуют ли у той или иной страны выявленные сравнительные преимущества в экспорте некоторого товара, используется следующее выражение, указанное в [Balassa, 1965]:

$$RCA = \frac{\frac{x_{c,i}}{\sum_i x_{c,i}}}{\frac{\sum_c x_{c,i}}{\sum_{c,i} x_{c,i}}}, \quad (3)$$

где $x_{c,i}$ обозначает стоимость экспорта товара i , экспортированного страной c . В выражении (3) числитель равен доле экспорта товара i страной c в общем экспорте страны c ; знаменатель же равен доле товара i в суммарном мировом экспорте. Иными словами, выражение (3) отражает отношение доли некоторого товара в экспорте данной страны к доле этого товара в общем мировом экспорте. Если значение данного показателя превышает 1, то говорят, что страна c имеет выявленные сравнительные преимущества в производстве товара i или, иными словами, экспортирует его на уровне выявленных сравнительных преимуществ.

В частности, матрица M_{cp} может выглядеть так, как показано в табл. 1 (пример взят из [Hausmann, Hidalgo, 2009]).

Т а б л и ц а 1

Пример регионально-продуктовой матрицы

Страны/ продукты	p1	p2	p3	p4
c1	1	1	1	1
c2	0	1	0	0
c3	0	0	1	1
c4	0	0	0	1

В этом примере страна c1 имеет выявленные сравнительные преимущества в производстве всех четырех товаров, тогда как страна c4 — только в производстве товара p4.

Исходными данными для итерационного метода⁸ являются два простых показателя. Во-первых, это показатель диверсификации

⁸ Этот метод также получил название Method of Reflections [Kemp-Benedict, 2014].

экономики, который отражает то, какое количество товаров может производить данная страна или регион. Он рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{c,0} = \sum_p M_{cp} \cdot \text{[blank]} \quad (4)$$

Во-вторых, это показатель частоты, с которой некоторый товар встречается в экспортных корзинах, причем на уровне выявленных сравнительных преимуществ. Этот показатель рассчитывается следующим образом:

$$k_{p,0} = \sum_c M_{cp}. \quad (5)$$

Стоит обратить внимание на то, что $k_{p,0}$ является вектором-строкой, так как в выражении (5) суммируются строки матрицы M_{cp} .

Показатели последующих итераций рассчитываются по следующим формулам⁹:

$$k_{c,N} = \frac{1}{k_{c,0}} \circ M_{cp} k_{p,N-1}^T, \quad (6)$$

$$k_{p,N}^T = \frac{1}{k_{p,0}^T} \circ M_{cp}^T k_{c,N-1}. \quad (7)$$

Символ $\circ$ указывает на поэлементное умножение вектора и матрицы или вектора и вектора. В последнем случае такое произведение соответствует произведению Адамара.

Зачем нужны последующие итерации? Почему нельзя ограничиться такими простыми показателями, как $k_{c,0}$ и $k_{p,0}$?

Дело в том, что простые показатели, такие как уровень диверсификации, определенный при помощи выражения (4), являются несовершенными мерами экономической сложности. Две экономики могут экспортировать одинаковое число товаров, однако при этом сложность экспортных корзин двух экономик может существенно различаться. На сложность экспорта может до некоторой степени указывать показатель (5): если одна экономика экспортирует товар, который также экспортируют многие другие экономики, то, скорее всего, такой товар является простым — ведь его могут производить почти все страны или регионы, а значит, соответствующее ноу-хау воспроизвести легко. Напротив, если некая экономика экспортирует товар, который не экспортирует никакая другая, то этот товар может быть сложным. Комбинируя показатели (4) и (5), можно определить, насколько распространенные или, наоборот, редкие товары экспор-

⁹ Стоит отметить, что в формулах (6) и (7) используется поэлементное произведение: при перемножении матрицы на столбец/строку каждый столбец/строка матрицы умножается на соответствующий(ую) столбец/строку поэлементно.

тирует та или иная экономика. Но и на этом уровне сложности показателя не достигается желаемого уровня точности: ведь редкий товар может быть как технологически сложным благом, так и всего лишь редким природным ресурсом. Чтобы разделять такие случаи, итерационный процесс продолжается¹⁰. Общая идея заключается в следующем: если данный товар, который экспортирует малое число экономик, входит в экспортную корзину страны, куда помимо него входит значительное число сложных товаров, то такой товар, скорее всего, будет являться сложным. Напротив, если данная экспортная корзина включает в себя в основном простые товары, то данный товар, скорее, является редким и простым. Если на основе экспортной корзины данной страны сложно сделать какой-то определенный вывод, то стоит посмотреть на экспортную корзину другой, похожей, страны, которая включает в себя товары, экспортируемые первой страной, и воспользоваться сформулированным выше критерием. Наглядным примером могут служить алмазы и атомные электростанции: алмазы экспортирует малое число экономик, однако с помощью них нельзя произвести другие товары, а значит, данный товар является простым; в противоположность этому, атомная электростанция позволяет экспортировать ряд более простых товаров (например, ингредиентов, из которых она состоит), а значит, она является сложным товаром.

Подводя промежуточные итоги, можно сказать, что итерационный метод заключается во взаимной подстановке все более усложняющихся показателей экономической и продуктовой сложности, которые на самом начальном этапе определяются простыми показателями (4) и (5).

С помощью подстановки (7) в формулу (6) получаем, что диверсификация экономики c на N -м итерационном шаге характеризуется следующим образом:

$$k_{c,N} = \frac{1}{k_{c,0}} \circ M_{cp} \frac{1}{k_{p,0}^T} \circ M_{cp}^T k_{c,N-2}. \quad (8)$$

Выражение (8) можно записать в матричном виде следующим образом:

$$k_N = W k_{N-2}, \quad (9)$$

где

$$W'_{cc} = \frac{1}{k_{c,0}} \circ M_{cp} \frac{1}{k_{p,0}^T} \circ M_{cp}^T. \quad (10)$$

Каждая ячейка матрицы W'_{cc} отражает уровни «похожести» экономик с точки зрения их экспортных корзин; при этом каждый товар

¹⁰ На сайте лаборатории исследований проблем экономического роста ИПЭИ РАНХиГС приводится вариант численных расчетов, рассматривающий первые три итерации для примера, приведенного выше: https://docs.wixstatic.com/ugd/9db2e8_eb616f89360047fdaff667d77fefe84c.pdf.

взвешивается при помощи величины, обратной $k_{p,0}$, отражающей до определенной степени сложность этого товара. Мера «похожести» экономик нормализуется на величину, обратную уровню диверсификации экономики, $k_{c,0}$, до определенной степени отражающую сложность экономик (см. [Kemp-Benedict, 2014]).

Эмпирически доказано [Hausmann et al., 2011], что последовательность (9) сходится, что позволяет перейти в уравнении (9) к пределу. В результате получается следующее выражение:

$$k = Wk, \quad (11)$$

где k — предел последовательности $k_{c,N}$. Он является собственным вектором матрицы W , которому по построению соответствует собственное значение 1.

По построению матрица W обладает свойством неприводимости¹¹. По теореме Фробениуса — Перрона для такого класса матриц существует единственный собственный вектор с положительными значениями (с точностью до коэффициента) и его собственное число, равное 1 в рассматриваемом случае, является наибольшим из его собственных чисел. Однако собственный вектор, соответствующий собственному числу, равному 1, не информативен, так как он состоит из одинаковых значений. Такой результат получается из-за нормировки, используемой в выражении (10)¹². Поэтому в данной работе используется собственный вектор, соответствующий второму по величине собственному значению, так как этот вектор несет в себе наибольшее количество информации¹³.

Итоговым показателем уровня экономической сложности является центрированный и нормированный собственный вектор, соответствующий второму по величине собственному значению, который рассчитывается при помощи следующего выражения:

$$ECI = \frac{\bar{K} - \langle \bar{K} \rangle}{stdev(\bar{K})}, \quad (12)$$

где $\bar{K}$ — собственный вектор матрицы (10), соответствующий второму по величине собственному значению, $\langle \rangle$ обозначает среднее значение, а $stdev$ — стандартное отклонение $\bar{K}$.

¹¹ В терминах теории сетей это свойство может быть проинтерпретировано следующим образом. Если номера строк и столбцов соответствуют отдельным странам, то любая квадратная матрица может характеризовать сеть, где ненулевое значение элемента матрицы означает, что две страны связаны друг с другом. Матрица W называется неприводимой, если существует путь между двумя странами в соответствующей сети. Если бы она не была неприводимой, то существовали бы страны, которые бы экспортировали ряд товаров строго внутри своей коалиции. Хотя такая ситуация теоретически возможна, она не была обнаружена в данных.

¹² Доказательство результата приведено в Приложении 2.

¹³ Доказательство результата приведено в Приложении 2.

Для того чтобы в свою очередь рассчитать индекс продуктовой сложности, необходимо подставить выражение (6) в (7), после чего взять собственный вектор матрицы, аналогичной матрице W'_{cc} , соответствующий второму по величине собственному значению:

$$W'_{pp} = \frac{1}{k_{p,0}^T} \circ M_{cp}^T \frac{1}{k_{c,0}} \circ M_{cp}. \quad (13)$$

Итоговым показателем уровня продуктовой сложности является центрированный и нормированный собственный вектор, соответствующий второму по величине собственному значению:

$$PCI = \frac{\bar{Q} - \langle \bar{Q} \rangle}{stdev(\bar{Q})}, \quad (14)$$

где $\bar{Q}$ — собственный вектор матрицы (14), соответствующий второму по величине собственному значению, $\langle \rangle$ обозначает среднее значение, а $stdev$ — стандартное отклонение $\bar{Q}$.

3. Данные

Одной из проблем, с которыми мы столкнулись при расчете ЕСІ для российских регионов по методу, изложенному выше, является нехватка данных как в количественном, так и в качественном отношении.

Прежде всего данных о внешнеэкономическом экспорте российских регионов недостаточно для того, чтобы делать точные оценки экономической сложности регионов с помощью выражения (12) и продуктовой сложности — с помощью выражения (14). В случае ограниченных данных подобные оценки являются чрезмерно смещенными и содержат не так уж много полезной информации. Эту ситуацию можно сравнить с нехваткой данных в случае использования эконометрического анализа. В том случае, если для эконометрической оценки используется лишь сравнительно небольшая часть данных, такие оценки позволяют сделать заключения лишь относительно этой самой части данных. Такие оценки оказываются смещенными, потому что отражают не более полную дисперсию, содержащуюся в репрезентативной выборке, а лишь ее часть, определяемую доступной подвыборкой. Похожие результаты складываются и при оценке экономической сложности регионов, если используются только региональные данные. В частности, некоторые сравнительно простые товары, такие как фрукты, оказываются слишком переоцененными, так как из-за климатических особенностей могут редко встречаться в экспортных корзинах большинства регионов, чем будут отчасти похожи на сложные товары, которые также встречаются сравнительно редко, но по технологическим, а не климатическим причинам.