
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Интегральный индекс структурной сложности региональных экономик

© 2025 г. М.Ю. Афанасьев, А.А. Гусев

М.Ю. Афанасьев,

ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: mi.afan@yandex.ru

А.А. Гусев,

ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: gusevalexeval@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.09.2024

Аннотация. Современные научные дискуссии сосредоточены вокруг выявления профессий и видов экономической деятельности, которые станут наиболее востребованными в перспективе и определяют приоритетные направления диверсификации региональных экономик. Анализ таких тенденций имеет значение для прогнозирования динамики валового регионального продукта (ВРП). Целью данной работы является построение интегрального индекса структурной сложности на основе четырех базовых индексов экономической сложности региональных экономик, рассчитанных авторами по данным о структуре занятости, структуре распределения предприятий и структуре ВРП. По данным Росстата за 2019 и 2022 годы для 85 регионов сформировано четыре базовых индекса сложности: 1) структур ВРП по объемам производства видов экономической деятельности (ВЭД); 2) структур занятости регионов по профессиональным группам; 3) структур занятости регионов по ВЭД; 4) структур распределения предприятий в регионах по ВЭД. Проведен анализ матриц 0–1 для этих индексов экономической сложности. Ведущие позиции в четырех рейтингах занимают Москва, Санкт-Петербург, Новосибирская область, Московская область. Построено четыре интегральных индекса структурной сложности региональных экономик. Проанализированы их преимущества и недостатки. Показано, что структурная сложность региональной экономики влияет на ВРП. Интегральный индекс является значимым в производственной функции ВРП 85 регионов по данным 2019 и 2022 годов.

Ключевые слова: региональная экономика, эконометрика, экономическая сложность, интегральный индекс.

Классификация JEL: C15, C51, R11, R58.

УДК: 332.145.

Для цитирования: Афанасьев М.Ю., Гусев А.А. (2025). Интегральный индекс структурной сложности региональных экономик // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 2. С. 57–74. DOI: 10.31857/S0424738825020054

ВВЕДЕНИЕ

Переход от экономики, основанной на экспорте сырья, к экономике высоких технологий, развитие региональных экономик и укрепление экономической безопасности регионов предполагает повышение сложности производственных структур и экономических систем. Рекомендации по диверсификации национальной и региональных экономик могут быть основаны на подходах, ориентированных на повышение экономической сложности (Hausmann, Hwang, Rodrik, 2006; Hidalgo, Hausmann, 2009; Hausmann et al., 2014; Любимов и др. 2017; Афанасьев, Кудров, 2021). В настоящее время исследованы возможности оценки экономической сложности региональных экономик по данным об объемах экспорта и объемах производства продуктов, о численности занятых в различных отраслях экономики (Афанасьев, Гусев, 2023; Афанасьев, Гусев, Нанавян, 2023; Чеплинские, Лукин, 2024; Чупин и др., 2024; Ивахненко, Полбин, Синельников-Мурылев, 2024). Индексы экономической сложности используются для обоснования приоритетных направлений диверсификации. Например, в работе (Афанасьев, Ильин, 2022) предложен подход к выбору направлений диверсификации на основе рекомендаций по развитию секторов, направленный на повышение экономической сложности региональной экономики. Накопленный опыт построения индексов экономической сложности позволяет подойти к решению задачи обобщенной оценки сложности региональных экономик с использованием интегрального индекса структурной

сложности. Построение такого индекса и анализ возможностей его применения является целью данной работы. Для построения интегрального индекса авторами сформированы различные структуры региональной экономики: структура ВРП по данным об объемах производства по ВЭД; структура занятости регионов по профгруппам; структура занятости регионов по ВЭД; структура распределения предприятий по ВЭД. На основе концепции экономической сложности оценивается сложность каждой структуры и строится соответствующий базовый индекс экономической сложности. Четыре базовых индекса являются основой для построения интегрального индекса структурной сложности. В данной работе предложены четыре интегральных индекса, созданных на общей информационной основе.

Три из четырех базовых индексов, составляющих информационную основу для построения интегральных индексов, представлены в ранее опубликованных работах авторов. Подход к оценке сложности структур профессиональной занятости регионов описан в работе (Афанасьев, Гусев, Нанавян, 2023). Для индекса $ZPRF$ — сложности структур занятости регионов по профгруппам использованы данные Росстата о списочной численности работников организаций по 11 профессиональным группам в субъектах РФ за период 2019–2022 гг. «О численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам»¹.

В работе (Афанасьев, Гусев, Нанавян, 2024) описан подход к оценке сложности структур занятости регионов по ВЭД. Для индекса ZV сложности структур занятости регионов по 14 ВЭД использованы данные Росстата «Распределение среднегодовой численности занятых по видам экономической деятельности (в процентах от общей численности занятых)»² за период 2019–2022 гг.

Схема расчета и анализ индекса $VRPV$ сложности структур ВРП по данным об объемах производства по ВЭД описаны в работе (Гусев, 2024). Для оценки экономической сложности 85 регионов использованы показатели структуры ВРП в ценах 2016 г. по 19 ВЭД за период 2019–2022 гг. из «ЕМИСС: Валовой региональный продукт (в постоянных ценах 2016 г.; тыс. руб.)»³.

Замечание. Здесь и далее все нормированные индексы со значениями в интервале $[0; 1]$ по данным за 2022 г. приведены в Приложении (табл. П1).

Далее приводится схема расчета индекса PRV сложности структур распределения предприятий в регионах по ВЭД. Расчет индекса проводится в соответствии с методологией оценки экономической сложности на основе показателя Росстата «Распределение числа предприятий и организаций по видам экономической деятельности (на конец года)» по 19 ВЭД за период 2019–2022 гг. (Регионы России, 2022).

1. СХЕМА РАСЧЕТА ИНДЕКСА СЛОЖНОСТИ СТРУКТУР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ВЭД

Формирование региональных структур распределения предприятий по ВЭД проводится на основе концепции выявленных сравнительных преимуществ (Balassa, 1965). Определим показатель RCA_{kj} выявленных сравнительных преимуществ:

$$RCA_{kj} = (z_{kj} / \sum_j z_{kj}) / (\sum_k z_{kj} / \sum_{kj} z_{kj}),$$

где z_{kj} — численность предприятий по ВЭД j в регионе k ; RCA_{kj} — отношение доли численности предприятий по ВЭД j в общей численности предприятий в регионе k к доле предприятий по ВЭД j во всех регионах в общей численности предприятий по всем ВЭД во всех регионах. В соответствии с (Hausmann, Klinger, 2006) будем считать, что регион k обладает выявленными сравнительными преимуществами в развитии ВЭД j по численности предприятий, если значение показателя $RCA_{kj} \geq 1$. В противном случае — выявленных сравнительных преимуществ не существует.

Матрица $A = (a_{kj})$ с элементами

$$a_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{если } RCA_{kj} \geq 1; \\ 0, & \text{если } RCA_{kj} < 1 \end{cases}$$

¹ «О численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам» (Росстат, 2022 г.).

² «ЕМИСС: Среднегодовая численность занятых в экономике (расчеты на основе интеграции данных) с 2017 г.» (<https://www.fedstat.ru/indicator/58994>).

³ «ЕМИСС: Валовой региональный продукт в основных ценах (ОКВЭД 2)» (<https://www.fedstat.ru/indicator/61497>).

содержит данные о регионах, которые обладают выявленными сравнительными преимуществами в развитии различных ВЭД по численности предприятий. Строки этой матрицы соответствуют регионам, столбцы — видам экономической деятельности. Если $a_{kj}=1$, то ВЭД j будем считать сильным по численности предприятий в регионе k . Доля предприятий по этому ВЭД в регионе выше, чем по стране. Вектор $(a_{kj_1}, \dots, a_{kj_m})$ определяет *структуру сильных ВЭД по численности предприятий* региона k .

Экономическая сложность структуры сильных ВЭД по численности предприятий (далее, для краткости — сложность структуры предприятий региона по ВЭД) рассматривается как характеристика, отражающая уровень развития региона, который определяется средним уровнем сложности сильных ВЭД по численности предприятий в структуре его экономики. Аналогично *сложность ВЭД по численности предприятий* является характеристикой среднего уровня развития ВЭД и зависит от сложности структур предприятий по ВЭД тех регионов, в которых этот ВЭД является сильным.

Обозначим оценку сложности структуры предприятий региона k по ВЭД через PRV_k , оценку сложности ВЭД j по численности предприятий — через $VPRV_j$. В соответствии с концепцией экономической сложности (Hidalgo, Hausmann, 2009; Афанасьев, Кудров, 2021) эти оценки сложности обладают следующими свойствами. Сложность структуры предприятий региона по ВЭД пропорциональна среднему уровню сложности сильных ВЭД этого региона по численности предприятий:

$$PRV_k = a_1 \sum_j r_{kj} VPRV_j, \quad (1)$$

где a_1 — положительная константа; $r_{kj} = a_{kj} / q_{k0}$ — весовой коэффициент; $q_{k0} = \sum_j a_{kj}$ — число сильных ВЭД в регионе. Сложность ВЭД по численности предприятий пропорциональна среднему уровню сложности структур предприятий регионов по ВЭД, в которых этот ВЭД является сильным:

$$VPRV_j = a_2 \sum_k r_{jk}^* PRV_k, \quad (2)$$

где a_2 — положительная константа; $r_{jk}^* = a_{kj} / q_{j0}$ — весовой коэффициент; $q_{j0} = \sum_k a_{kj}$ — число регионов, в которых ВЭД является сильным.

Пусть $s = (PRV_{k_1}, PRV_{k_2}, \dots)^T$ — вектор-столбец оценок сложности структур предприятий регионов по ВЭД; $g = (VPRV_{j_1}, VPRV_{j_2}, \dots)^T$ — вектор-столбец оценок сложности ВЭД по численности предприятий; $R_1 = (r_{kj})$, $R_2 = (r_{jk}^*)$ — матрицы весов. Из соотношений (1) и (2) следует, что $s = a_1 a_2 R_1 R_2 s$, $g = a_1 a_2 R_2 R_1 g$. Таким образом, оценки сложности структур предприятий регионов по ВЭД являются компонентами собственного вектора матрицы $R_1 R_2$, а оценки сложности ВЭД по численности предприятий — компонентами собственного вектора матрицы $R_2 R_1$. В силу стохастичности матрица $R_1 R_2$ имеет собственное значение, равное 1, и отвечающий ему собственный вектор, который состоит из одинаковых координат. В соответствии с подходом к оценке экономической сложности, представленным в (Sciarrta et al., 2020), в качестве оценок сложности структур предприятий регионов по ВЭД будем использовать компоненты собственного вектора матрицы $R_1 R_2$, который соответствует второму максимальному собственному значению, а в качестве оценок сложности ВЭД по численности предприятий — компоненты собственного вектора матрицы $R_2 R_1$, который соответствует второму максимальному собственному значению. Заметим, что оценки сложности региональных структур предприятий и оценки сложности ВЭД являются относительными и не зависят от масштаба региональной экономики (Афанасьев, Кудров, 2021).

В соответствии с описанной выше методологией получены оценки сложности структур предприятий регионов по ВЭД (PRV_k) и сложности ВЭД по численности предприятий ($VPRV_j$) за 2019 и 2022 г. по 85 регионам России.

Индекс PRV измеряет сложность структур предприятий регионов путем объединения информации о разнообразии структур (q_{k0} — число сильных ВЭД в регионе) и распространенности ВЭД (q_{j0} — число регионов, в которых ВЭД является сильным). Идея, лежащая в основе индекса PRV , заключается в том, что структуры предприятий регионов с высокими оценками сложности включают больше сильных ВЭД (более разнообразны), чем структуры с низкими оценками. Они содержат сильные ВЭД, которые имеют сравнительно высокие оценки сложности и низкую распространенность, потому что только несколько регионов развили эти ВЭД до уровня сильных по числу предприятий. Регионы с относительно слабо развитой структурой содержат сильные ВЭД, имеющие относительно низкие оценки сложности и высокую распространенность.

На рис. 1–4 представлены 0–1-матрицы, описывающие структуры сильных ВЭД и профгрупп регионов для четырех базовых индексов по данным 2022 г. Строки матриц соответствуют регионам,

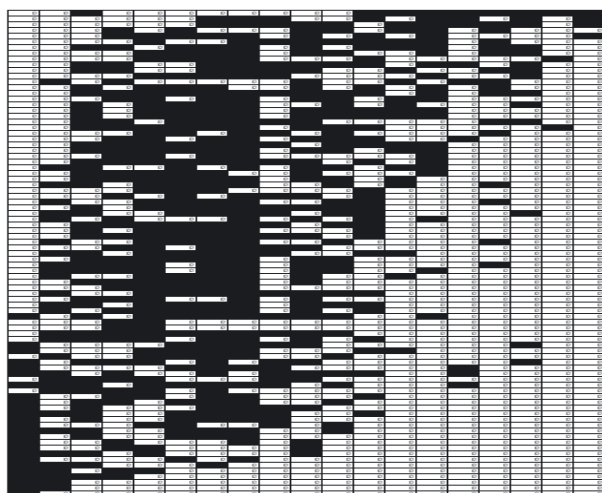


Рис. 1. Матрица 0–1 регион–ВЭД по структуре ВРП

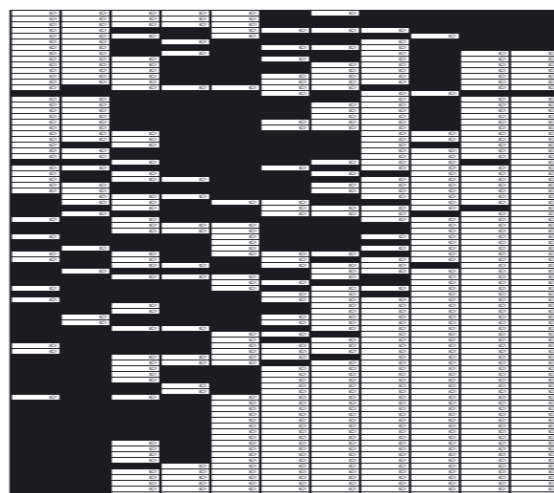


Рис. 2. Матрица 0–1 регион–профессиональная группа по профессиональной занятости

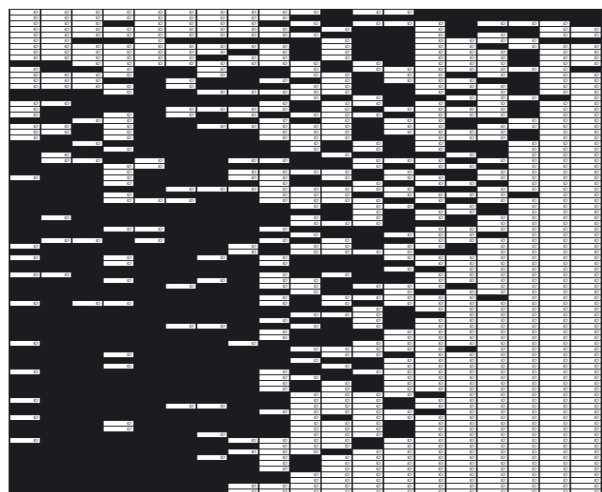


Рис. 3. Матрица 0–1 регион–ВЭД по численности предприятий

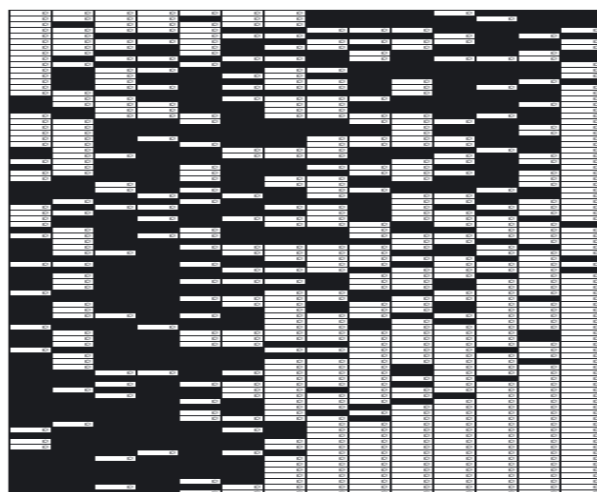


Рис. 4. Матрица 0–1 регион–ВЭД по численности занятых

столбцы — ВЭД или профессиональным группам. Темная ячейка матрицы означает, что соответствующий элемент a_{kj} матрицы равен 1, т.е. ВЭД/профгруппа j является сильной в регионе k . В противном случае элемент матрицы равен нулю и ВЭД сильным не является. Строки упорядочены сверху вниз по убыванию оценок сложности регионов. Столбцы упорядочены слева направо по возрастанию оценок сложности ВЭД/профгрупп. Рис. 1–4 в сочетании с данными в Приложении (табл. П1) позволяют получить представление о соответствующих региональных структурах сильных ВЭД/профгрупп, взаимосвязи оценок сложности регионов, с одной стороны, и ВЭД/профгрупп, с другой стороны.

Рассмотрим, например, матрицу 0–1 регион–ВЭД по численности предприятий на рис. 3. Первая строка матрицы соответствует региону, имеющему самую высокую оценку сложности по индексу $nPRV$ (см. Приложение, табл. П1). Это Москва с оценкой 1. Вторая строка соответствует Санкт-Петербургу с оценкой 0,7946, третья строка — Тюменской области без автономных округов с оценкой 0,6050. Последняя строка — Тамбовской области с оценкой 0. На рис. 3 видно, что в первой строке 0–1-матрицы указаны семь сильных ВЭД. Если вести отсчет справа налево, то это ВЭД, соответствующие 1–6 и 9 столбцам. Это ВЭД, имеющие относительно высокие оценки сложности:

«Деятельность профессиональная, научная и техническая»; «Деятельность в области информации и связи»; «Торговля оптовая и розничная»; «Ремонт автотранспортных средств и мотоциклов»; «Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги»; «Строительство»; «Деятельность финансовая и страховая»; «Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания». В последней строке матрицы на рис. 3 указаны семь сильных ВЭД, соответствующих столбцам с номерами 13–19 при отсчете справа. Эти ВЭД имеют относительно низкие оценки сложности. Используя рис. 1–4 и информацию в Приложении, можно охарактеризовать все структуры региональных экономик, оцененные при расчете базовых индексов, с учетом сложности ВЭД и профгрупп, являющихся элементами этих структур.

Верхние строки матриц на рис. 1–4 содержат, как правило, больше единиц, чем нижние строки. Соответственно, регионы с более высокими оценками сложности содержат больше сильных ВЭД/профгрупп, чем регионы с низкими оценками. То есть их структуры более разнообразны. ВЭД/профгруппы с относительно высокими оценками сложности являются сильными преимущественно в регионах с относительно высокими оценками сложности структур занятости. Эти ВЭД/профгруппы имеют относительно низкие оценки распространенности, так как немногие регионы могут развить их до уровня сильных. Соответственно, правый нижний угол матриц на рис. 1–4 слабо заполнен единицами. ВЭД/профгруппы с относительно низкими оценками сложности являются сильными преимущественно в регионах с относительно низкими оценками сложности. Соответственно, левый верхний угол матриц слабо заполнен единицами. Можно сделать вывод, что структуры матриц правильно отражают концепцию экономической сложности при оценке структур ВРП, структур занятости по профгруппам и ВЭД, структур распределения предприятий.

2. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ИНДЕКСЫ СТРУКТУРНОЙ СЛОЖНОСТИ ЭКОНОМИКИ

2.1. Предварительные этапы расчетов интегральных индексов

Можно использовать различные подходы к построению интегральных индексов сложности структур региональных экономик на основе базовых индексов. Далее будут рассмотрены четыре подхода и проведен сравнительный анализ полученных интегральных индексов. Каждый из четырех подходов предполагает выполнение двух следующих предварительных этапов расчетов.

Этап 1. Расчет базовых индексов сложности. В данном исследовании используются четыре базовых индекса сложности: $VRPV$, $ZPRF$, ZV , PRV . На этом этапе набор базовых индексов может быть расширен.

Этап 2. Нормировка рассчитанных на этапе 1 базовых индексов.

Пусть IND — один из базовых индексов сложности, рассчитанный на этапе 1 с компонентами $(IND_1, \dots, IND_k, \dots, IND_N)$, где N — число регионов, k — номер региона, IND_k — компонента индекса, соответствующая региону k . Пусть $maxIND$ — максимальное значение компонент индекса, $minIND$ — минимальное значение компонент индекса. Компоненты $nIND_k$ нормированного индекса $nIND$ рассчитываются по формуле

$$nIND_k = (IND_k - minIND) / (maxIND - minIND).$$

Компоненты каждого нормированного базового индекса сложности $nVRPV$, $nZPRF$, nZV , $nPRV$ принимают значения в интервале $[0; 1]$.

2.2. Подходы к построению интегральных индексов и результаты по данным 2022 г.

Интегральный индекс $INT1$

Интегральный индекс $INT1$ рассчитывается по методу главных компонент с использованием базовых индексов. Собственные значения корреляционной матрицы базовых индексов 2,23; 1,04; 0,38; 0,36. Первая главная компонента объясняет 55,68% общей дисперсии четырех базовых индексов. Этого достаточно, чтобы рассматривать первую главную компоненту в качестве интегрального индекса (Айвазян, 2012, с. 98). Индекс $INT1$ может быть записан в виде линейной функции (3) нормированных базовых индексов:

$$INT1 = a nVRPV + b nZPRF + c nZV + d nPRV + const. \quad (3)$$

Таблица 1. Весовые коэффициенты интегральных индексов

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	const
<i>INT1</i>	2,7651	2,4972	2,2116	3,2487	−4,0314
<i>nINT1</i>	0,3228	0,2914	0,2581	0,3792	−0,2330
<i>INT2</i>	0,25	0,25	0,25	0,25	
<i>nINT2</i>	0,3137	0,3137	0,3137	0,3137	−0,2348
<i>INT3</i>	0,4729	0,0609	0,2887	0,1775	
<i>nINT3</i>	0,5733	0,0738	0,3500	0,2152	−0,2077
<i>nINT4</i>	0,2497***	0,2766***	0,2910***	0,3959***	−0,1961***

Примечание. «***» — значимость оценки на 1%-ном уровне.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции интегральных и базовых индексов

	<i>nVRPV</i>	<i>nZPRF</i>	<i>nZV</i>	<i>nPRV</i>
<i>nINT1</i>	0,6138	0,8317	0,7071	0,8116
<i>nINT2</i>	0,6018	0,8359	0,7345	0,7876
<i>nINT3</i>	0,7237	0,7237	0,7237	0,7237
<i>nINT4</i>	0,5524	0,8060	0,7486	0,8318

Значения коэффициентов функции (3) для индекса *INT1* и нормированного (со значениями компонент в интервале [0; 1]) индекса *nINT1* приведены в табл. 1.

Коэффициенты корреляции индексов *nINT1* и *INT1* с базовыми индексами указаны в табл. 2. Заметим, что используемое нами нормирование индекса является линейным преобразованием. Поэтому значение коэффициента корреляции интегрального индекса и базового индекса не зависит от того, нормированы эти индексы или нет. Регионы в Приложении (табл. П1) упорядочены по убыванию значений компонент индекса *nINT1*. В столбце «Ранг *INT1*» — ранги регионов по индексу *nINT1*.

Интегральный индекс INT2

Интегральный индекс *INT2* рассчитывается по формуле (3) с равными весовыми коэффициентами при нормированных базовых индексах $a = b = c = d = 0,25$ и $\text{const} = 0$. Такой интегральный индекс можно назвать «индексом равных вложений базовых индексов». Коэффициенты корреляции индексов *nINT2* и *INT2* с базовыми индексами указаны в табл. 2.

Интегральный индекс INT3

При расчете интегрального индекса *INT3* по формуле (3) при $\text{const} = 0$ весовые коэффициенты подобраны так, чтобы коэффициенты корреляции интегрального индекса *INT3* с каждым базовым индексом были равны базовым индексам. Значения весовых коэффициентов указаны в табл. 1. Такой интегральный индекс можно назвать «индексом равных влияний базовых индексов». В табл. 1 приведены коэффициенты функции (3) для индекса *nINT3*, в табл. 2 — коэффициенты корреляции индексов *nINT3* и *INT3* с базовыми индексами.

Расчет индекса *INT3* проводится по следующей пошаговой процедуре.

Шаг 1. Для $\text{const} = 0$ и произвольных положительных значений коэффициентов (например, $a = b = c = d = 1$) рассчитываются компоненты индекса *INT3* по формуле (3).

Шаг 2. Находим коэффициенты корреляции каждого нормированного базового индекса сложности с индексом *INT3*. Если все коэффициенты корреляции равны между собой с заданным уровнем точности, то переходим к шагу 4.

Шаг 3. Изменяем весовые коэффициенты в формуле (3). Увеличиваем значение весового коэффициента для базового индекса сложности, у которого коэффициент корреляции с интегральным индексом имеет минимальное значение, или уменьшаем значение весового коэффициента при базовом индексе, у которого коэффициент корреляции с интегральным индексом имеет максимальное значение⁴. Переходим к шагу 2.

⁴ Если корреляция базовых индексов с интегральным индексом по формуле (1) положительная, то увеличение (уменьшение) весового коэффициента при этом индексе в формуле (1) приводит к увеличению (уменьшению) коэффициента корреляции этого индекса с интегральным. В Excel при четырех базовых индексах расчет интегрального индекса занимает несколько минут. При этом для 2022 г. коэффициенты корреляции равны с точностью до 10^{-4} .

Шаг 4. Нормируем весовые коэффициенты так, чтобы $a + b + c + d = 1$. Рассчитываем интегральный индекс $INT3$ по формуле (1) с нормированными весовыми коэффициентами.

Интегральный индекс $INT4$

Идея построения индекса изложена в монографии (Айвазян, 2012, с. 103) и основана на измерении расстояния от точки с координатами $(nVRPV_k, nZPRF_k, nZV_k, nPRV_k)$, соответствующей каждому региону k в пространстве нормированных базовых индексов, до точки-эталона с координатами $(1; 1; 1; 1)$. Это расстояние равно

$$D_k = \left((1 - nVRPV_k)^2 + (1 - nZPRF_k)^2 + (1 - nZV_k)^2 + (1 - nPRV_k)^2 \right)^{1/2}.$$

Нормируем расстояния, рассчитанные для всех регионов, по формуле

$$nD_k = (D_k - \min D_k) / (\max D_k - \min D_k).$$

Рассчитываем значение компоненты индекса $INT4$ по формуле $INT4_k = 1 - nD_k$. Чем меньше расстояние от точки $(nVRPV_k, nZPRF_k, nZV_k, nPRV_k)$, характеризующей регион k в пространстве базовых индексов, до эталона, тем выше значение компоненты индекса $INT4$. При этом компоненты индекса $INT4$ принимают значения в интервале $[0; 1]$. То есть индекс уже нормирован и $INT4 = nINT4$. Индекс $nINT4$ не может быть представлен в виде линейной зависимости (3) от нормированных базовых индексов. В последней строке табл. 1 приведены оценки коэффициентов линейной регрессии индекса $nINT4$ на нормированные базовые индексы. Все оценки значимы на 1%-ном уровне. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9944$. Коэффициенты корреляции с базовыми индексами — в табл. 2.

2.3. Сравнительный анализ интегральных индексов

Как показано в табл. 3, коэффициенты корреляции Пирсона любой пары индексов из множества $\{nINT1, nINT2, nINT4\}$ выше 0,99 и различаются в третьем знаке после запятой. Корреляция каждого из этих индексов с индексом $nINT3$ выше 0,9, но не превосходит 0,965. Все интегральные индексы статистически сильно взаимосвязаны.

Интегральный индекс $nINT1$, построенный методом главных компонент, наилучшим образом позволяет дифференцировать регионы по оценкам сложности, объясняя максимальную долю совокупной дисперсии базовых индексов. Основным преимуществом индекса $nINT2$ является простота его расчета. Поэтому подход к формированию интегрального индекса по принципу равных вложений используется достаточно часто. В нашем случае этот подход приводит к неожиданному результату. В табл. 2 показано, что коэффициенты корреляции базовых индексов с индексом $nINT2$ не сильно отличаются от коэффициентов корреляции базовых индексов с индексом $nINT1$, построенным методом главных компонент. Причем коэффициент корреляции Пирсона индексов $nINT1$ и $nINT2$ равен 0,9982 (рис. 5), а коэффициент ранговой корреляции Спирмена 0,9967. Коэффициент корреляции Пирсона 0,9936 индексов $nINT4$ и $nINT2$ тоже очень высок. Но отмеченную статистическую близость индекса $nINT2$ к индексам $nINT1$ и $nINT4$ следует рассматривать как особенность данной задачи и не делать обобщений.

Интегральный индекс $nINT4$, построенный в результате вычисления расстояний до эталона тоже мало отличается от индекса $nINT1$ (рис. 6). Коэффициент корреляции Пирсона индексов $nINT1$ и $nINT4$ равен 0,994. Индекс $nINT4$ не требует для расчета специального программного обеспечения и имеет простую интерпретацию — близость к эталону в пространстве нормированных базовых индексов.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Пирсона (над диагональю) и ранговой корреляции Спирмена (под диагональю) для интегральных индексов по данным 2022 г.

	$nINT1$	$nINT2$	$nINT3$	$nINT4$
$nINT1$	1	0,9982	0,9632	0,9940
$nINT2$	0,9966	1	0,9647	0,9937
$nINT3$	0,9367	0,9452	1	0,9514
$nINT4$	0,9871	0,9898	0,9227	1

Как видно из рис. 7, индекс $nINT3$ отличается от индекса $nINT1$ при малых значениях. Коэффициент корреляции Пирсона индексов $nINT3$ и $nINT1$ равен 0,9632, а коэффициент ранговой корреляции Спирмена 0,9369. Учитывая особенность, которую индекс $nINT3$ имеет по построению, следует оценить целесообразность и возможные преимущества его применения в задачах эконометрического моделирования и прогнозирования.

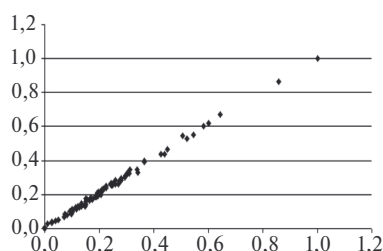


Рис. 5. Точка — регион в пространстве значений индекса $nINT1$ по оси абсцисс и индекса $nINT2$ по оси ординат

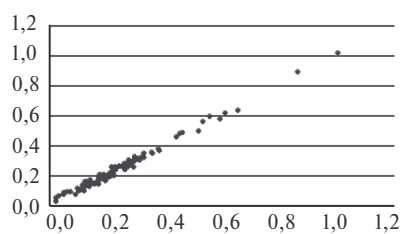


Рис. 6. Точка — регион в пространстве значений индекса $nINT1$ по оси абсцисс и индекса $nINT4$ по оси ординат

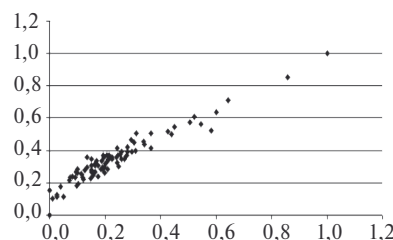


Рис. 7. Точка — регион в пространстве значений индекса $nINT1$ по оси абсцисс и индекса $nINT3$ по оси ординат

Расчет данных четырех индексов представляется целесообразным, так как появляется возможность выбора адекватного индекса при решении задачи оценки влияния структурной сложности региональной экономики на каждый конкретный показатель, характеризующий уровень социально-экономического развития.

2.4. Интегральные индексы за 2019 г.

Интегральный индекс $nINT1$

Интегральный индекс $nINT1$ рассчитан по методу главных компонент. Собственные значения корреляционной матрицы 2,322; 0,813; 0,554; 0,308. Первая главная компонента объясняет 58,07% общей дисперсии базовых индексов. Регионы в табл. П1 в Приложении упорядочены по убыванию значений компонент индекса $nINT1$. Весовые коэффициенты для расчета индекса $nINT1$ по формуле (1) приведены в табл. 4. Коэффициенты корреляции с базовыми индексами — в табл. 5.

Таблица 4. Весовые коэффициенты интегральных индексов по данным 2019 г.

	a	b	c	d	const
$nINT1$	0,4097	0,2278	0,2453	0,3211	-0,1331
$nINT2$	0,3035	0,3035	0,3035	0,3035	-0,1238
$nINT3$	0,0600	0,3991	0,3814	0,3923	-0,1171
$nINT4$	0,3006***	0,2616***	0,2499***	0,3811***	-0,1103***

Примечание. «***» — значимость оценки на 1%-ном уровне.

Таблица 5. Коэффициенты корреляции интегральных и базовых индексов для 2019 г.

	$nVRPV$	$nZPRF$	nZV	$nPRV$
$nINT1$	0,8679	0,7067	0,714	0,7334
$nINT2$	0,8349	0,738	0,7302	0,7141
$nINT3$	0,7414	0,7414	0,7414	0,7414
$nINT4$	0,8252	0,7121	0,7052	0,763

Примечание. «***» — значимость оценки на 1%-ном уровне.

Интегральный индекс $nINT2$

Весовые коэффициенты для расчета интегрального индекса $nINT2$ по формуле (3) приведены в табл. 4. Коэффициенты корреляции с базовыми индексами и коэффициенты корреляции интегрального индекса $nINT2$ и базовых индексов указаны в табл. 5.

Интегральный индекс $nINT3$

По построению коэффициенты корреляции интегрального индекса $nINT3$ с базовыми индексами равны (табл. 5). Весовые коэффициенты для расчета индекса $nINT3$ по формуле (3) приведены в табл. 4.

Таблица 6. Коэффициенты корреляции Пирсона (над диагональю) и ранговой корреляции Спирмена (под диагональю) для интегральных индексов по данным 2019 г.

	<i>nINT1</i>	<i>nINT2</i>	<i>nINT3</i>	<i>nINT4</i>
<i>nINT1</i>	1	0,9961	0,9742	0,9923
<i>nINT2</i>	0,9915	1	0,9883	0,9921
<i>nINT3</i>	0,9528	0,9802	1	0,9814
<i>nINT4</i>	0,9875	0,9946	0,9770	1

Таблица 7. Коэффициенты корреляции базовых и интегральных индексов за 2019 и 2022 годы

<i>nVRPV</i>	<i>nZPRF</i>	<i>nZV</i>	<i>nPRV</i>	<i>nINT1</i>	<i>nINT2</i>	<i>nINT3</i>	<i>nINT4</i>
0,8397	0,8856	0,6172	0,9570	0,9472	0,9436	0,9010	0,9375

Интегральный индекс *nINT4*

Коэффициенты корреляции интегрального индекса *nINT4* и базовых индексов указаны в табл. 5. В последней строке табл. 4 приведены оценки коэффициентов линейной регрессии индекса *nINT4* на нормированные базовые индексы. Все оценки значимы на 1%-ном уровне. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9908$.

Коэффициенты корреляции базовых индексов (табл. 6) указывают на высокую статистическую взаимосвязь четырех интегральных индексов, построенных по данным 2019 г. Следует отметить, что для 2019 г. коэффициенты корреляции интегральных индексов с базовыми слабо отличаются от коэффициентов 2022 г. Весовые коэффициенты в табл. 1 и 4 для индексов *nINT1* и *nINT4* устойчивы во времени. В то время как весовые коэффициенты для индекса *nINT3* существенно различаются. Это обстоятельство можно рассматривать как недостаток этого индекса, снижающий возможности интерпретации результатов, полученных при его использовании.

Как показано в табл. 7, наибольшее изменение за период в 3 года наблюдается в структуре занятости по ВЭД. Возможно, именно на этой структуре в наибольшей степени отразилось влияние пандемии COVID-19. При этом структура профессиональной занятости сохраняет высокую устойчивость. Наиболее устойчива структура распределения предприятий по ВЭД, что косвенно указывает на корректность полученных оценок. Все интегральные индексы устойчивы во времени. Коэффициенты корреляции интегральных индексов по данным за 2019 и 2022 годы превосходят 0,9. Их устойчивость выше, чем большинства базовых индексов.

3. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНОЙ СЛОЖНОСТИ НА ВРП

В ряде зарубежных публикаций (Hartmann, 2017; Herrera, Strauch, Bruno, 2020; Hidalgo, 2021) показано, что сложность экономики оказывает влияние на ВВП, уровень и распределение доходов населения, социально-экономическое развитие национальных экономик. В данном разделе мы оценим влияние структурной сложности экономики на ВРП российских регионов. При этом мы исходим из того, что структурная сложность не только является фактором ВРП, но и оказывает на него непосредственное влияние.

В табл. 8 приведены оценки однофакторных линейных регрессий (4) логарифма ВРП на каждый из четырех нормированных интегральных индексов структурной сложности по данным 2022 г.:

$$\ln(VRP_k) = s \times nINT_k + \text{const} + \text{eps}_k. \quad (4)$$

Таблица 8. Оценки параметров регрессий ВРП на интегральные индексы

Параметры	<i>nINT1</i>	<i>nINT2</i>	<i>nINT3</i>	<i>nINT4</i>
<i>s</i>	2,242***	2,168***	2,502***	2,534***
t-статистика	(3,55)	(3,48)	(3,49)	(4,06)
const	19,493***	19,492***	19,152***	19,428***
t-статистика	(104,86)	(103,38)	(70,11)	(106,64)
Число регионов	85	85	85	85
R^2	0,1315	0,1275	0,1280	0,1658

Примечание. «***» — значимость оценки на 1%-ном уровне; R^2 — коэффициент детерминации.

Здесь VRP_k — ВРП региона k за 2022 г. в постоянных оценках 2016 г.; $nINT_k$ — значение компоненты нормированного интегрального индекса структурной сложности для региона k (при $k = 1, \dots, n$); $const$ — константа; eps_k — ошибка регрессии; s — параметр.

Оценка параметра при каждом интегральном индексе значима на 1%-ном уровне. Но использовать полученные оценки для прогнозирования влияния изменения значения интегрального индекса на ВРП при такой низкой объясняющей способности регрессий нецелесообразно. Включим интегральный индекс в степенную производственную функцию

$$\ln(VRP_k) = \alpha \ln(L_k) + \beta \ln(K_k) + s nINT_k + const + eps_k, \quad (5)$$

где L_k — численность занятых, K_k — стоимость основных фондов в регионе k . Коэффициент детерминации R^2 регрессии (5) с каждым из четырех интегральных индексов превосходит 0,959. Но оценки коэффициентов при интегральных индексах для совокупности 85 регионов незначимы.

Для большинства регионов характерна экспоненциальная зависимость (4), подтвержденная оценками в табл. 8. В то же время, как показано на рис. 8, для некоторых регионов с малыми значениями интегрального индекса $nINT$ эта зависимость нарушается из-за несоответствия относительно высокого объема ВРП относительно низкому значению интегрального индекса. Для этих регионов можно указать факторы, которые разнонаправленно влияют на ВРП и структурную сложность. Например, природная рента⁵. В ряде исследований приводятся оценки природной ренты некоторых регионов, специализирующихся в области добычи нефти и природного газа. Оценки доли природной ренты в ВРП, полученные в (Айвазян, Афанасьев, Кудров, 2018), превышают 20% ВРП, а для некоторых регионов достигают 40%. Это является причиной диспропорции между интегральными оценками структурной сложности экономик и ВРП (рис. 9). К регионам, специализирующимся на добыче нефти и природного газа (Афанасьев, Гусев, 2023) и вносящим наибольший вклад в суммарный ВРП российских регионов, относятся Ханты-Мансийский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ, Ненецкий автономный округ, Красноярский край, Республика Татарстан, Республика Саха (Якутия), Оренбургская область, Иркутская область. На рис. 10 из работы (Афанасьев, Гусев, 2023) регионы представлены в пространстве двух первых главных компонент структуры ВРП по ВЭД, сформированной таким образом, что все регионы, специализирующиеся на добыче полезных ископаемых, имеют положительные координаты по первой главной компоненте (ось абсцисс). Причем в ортанте с положительными координатами по первой (ось абсцисс) и отрицательными координатами по второй главной компоненте (ось ординат) точки соответствуют регионам с относительно высоко развитым ВЭД «добыча нефти и природного газа».

В силу специализации экономик и географических особенностей у этих восьми указанных выше регионов при относительно низких интегральных оценках структурной сложности относительно высокий ВРП. В столбцах (2) и (3) табл. 9 представлены оценки параметров двух моделей без учета интегральных индексов: М1 — модели для 85 регионов и М2 — модели для 77 регионов. Исключение из рассмотрения восьми регионов приводит к росту эластичности ВРП по труду

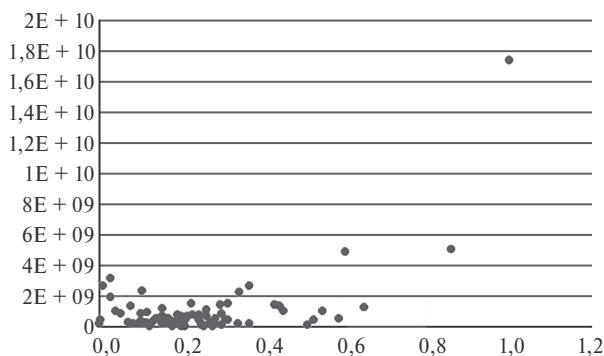


Рис. 8. Зависимость ВРП (ось ординат) от индекса $nINT4$ (ось абсцисс)

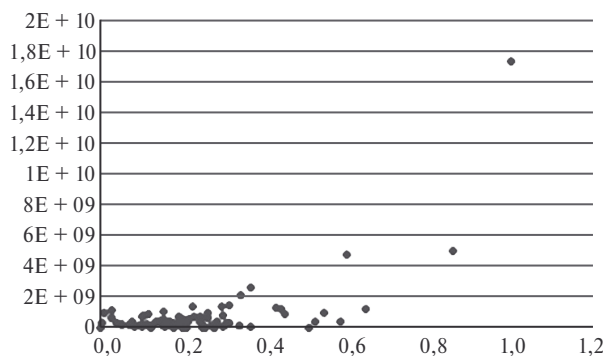


Рис. 9. Зависимость ВРП с исключенной природной рентой (ось ординат) от индекса $nINT4$ (ось абсцисс)

⁵ В соответствии с общепринятым подходом в качестве природной ренты рассматривается дополнительный ВРП, получаемый сверх обусловленного затратами производственных факторов.

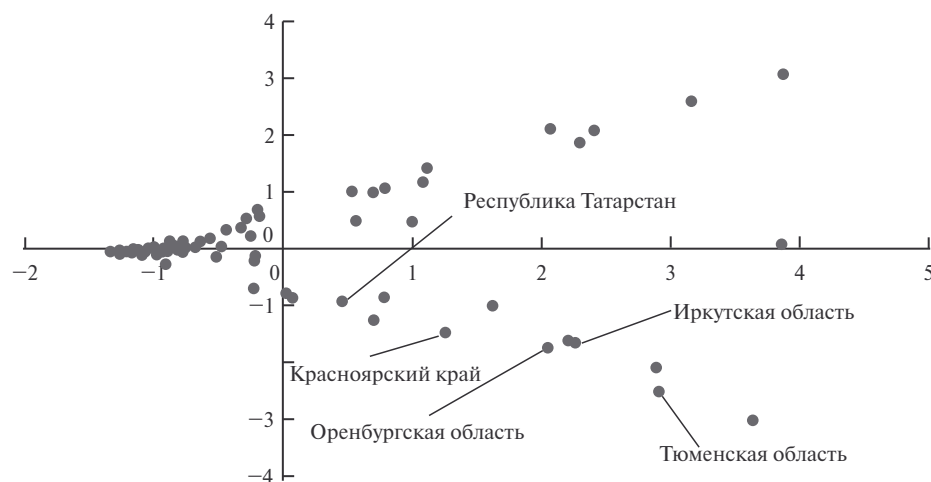


Рис. 10. Регионы в пространстве двух первых главных компонент структуры ВРП по ВЭД

Источник: Афанасьев, Гусев, 2023.

Таблица 9. Оценки параметров функции (5)

Параметры	Модель M1	Модель M2	$nINT1$	$nINT2$	$nINT3$	$nINT4$
α	0,177***	0,336***	0,319***	0,322***	0,327***	0,325***
t -статистика	(4,10)	(5,44)	(5,28)	(5,31)	(5,33)	(5,44)
p -значение	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
β	0,8137***	0,667***	0,651***	0,651***	0,651***	0,641***
t -статистика	(21,51)	(12,54)	(12,45)	(12,39)	(12,06)	(12,24)
p -значение	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
s			0,378**	0,365**	0,317	0,416**
t -статистика			(2,28)	(2,12)	(1,50)	(2,53)
p -значение			0,025	0,037	0,138	0,014
const	5,698***	5,718***	6,080***	6,045***	5,957***	6,138***
t -статистика	(18,65)	(16,33)	(16,19)	(16,11)	(15,59)	(16,30)
p -значение	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Число регионов	85	77	77	77	77	77
R^2	0,9660	0,9585	0,9613	0,9609	0,9597	0,9618

Примечание. «***» — значимость оценки на 1%-ном уровне; «**» — оценки на 5%-ном уровне.

и снижению эластичности ВРП по капиталу. Это соответствует результатам оценки коэффициентов эластичности в работе (Айвазян, Афанасьев, Кудров, 2016) для добывающих и равномерно развитых регионов. Оценки коэффициентов при интегральных индексах $nINT1$, $nINT2$ и $nINT4$ (табл. 9) в производственной функции (5) значимы на 5%-ном уровне. Оценка коэффициента при $nINT3$ незначима.

Эластичность ВРП региона k по интегральному индексу при значении INT_k равна $s \times INT_k$. В нашем случае каждый индекс нормирован и принимает значения в интервале $[0; 1]$. Таким образом, эластичность ВРП российских регионов по интегральному индексу структурной сложности принимает значения в интервале $[0; s]$. При изменении значения интегрального индекса на $x\%$ изменение ВРП региона, не специализирующегося на добыче нефти и природного газа, оценивается в $s \times INT_k \times x\%$. Надо подчеркнуть, что оцениваемый здесь рост ВРП является относительным, т.е. дополнительным к росту ВРП вследствие воздействия прочих факторов (время, научно-технический прогресс и др.). У региона, специализирующегося на добыче нефти и газа, рост структурной сложности экономики может быть вызван появлением новых сильных ВЭД, обусловленным развитием добывающего сектора. В этом случае доля природной ренты в ВРП может сохраняться и эластичность ВРП по интегральному индексу структурной сложности будет такой же, как у региона, не занимающегося добычей. Однако для восьми регионов, специализирующихся на добыче нефти и природного газа, повышение структурной сложности экономики не обязательно сопровождается ростом

объема добычи, приносящей природную ренту. Он может быть следствием появления в регионе новых сильных ВЭД, не связанных с добычей и не приносящих природной ренты. В этом случае оценка эластичности ВРП по интегральному индексу будет $\exp(-r_k) s nINT_k$, где

$$r_k = \ln(VRP_k) - (\alpha \ln(L_k) + \beta \ln(K_k) + s nINT_k + \text{const}) -$$

оценка природной ренты, $\exp(-r_k)$ — доля ВРП региона без учета природной ренты, а $1 - \exp(-r_k)$ — доля природной ренты в ВРП. Поэтому для региона, получающего природную ренту от добычи нефти и природного газа, величину $s nINT_k$ следует рассматривать как оценку сверху эластичности ВРП по структурной сложности. А величину $\exp(-r_k) s nINT_k$ — как оценку снизу. Однако оценка природной ренты в виде r_k учитывает влияние на ВРП множества факторов, не отражающих специализации региональных экономик. В то время как основным объединяющим эти регионы обстоятельством в нашем случае является их специализация на добыче нефти и природного газа. В данном исследовании мы не рассматриваем задачу оценки природной ренты каждого региона. В нашу задачу входит установить, как учет природной ренты, отражающий общую специализацию группы регионов, влияет на эластичность ВРП по значению интегрального индекса. А также обосновать на этой основе выбор значения параметра s для целей прогнозирования и априорного оценивания влияния сложности структур занятости на ВРП. Поэтому далее мы рассмотрим альтернативный подход к оценке влияния сложности структур занятости на ВРП, который учитывает наличие природной ренты, являющейся общим результатом специализации группы регионов.

Рассмотрим степенную производственную функцию

$$\ln(VRP_{kt}) = (\alpha + \alpha_1 t) \ln(L_{kt}) + (\beta + \beta_1 t) \ln(K_{kt}) + (s + s_1 t) nINT_{kt} + (r + r_1 t) d_k + ct + \text{const} + eps_{kt} \quad (6)$$

с параметрами, зависящими от времени, для оценки совокупного влияния интегральных индексов структурной сложности, построенных по данным за 2019 и 2022 годы на ВРП. Здесь t — время; d_k — булева переменная, принимающая значения 1 для группы регионов с общей специализацией, по совокупности которых оценивается природная рента; r — оценка природной ренты. Аналогичный подход к оценке природной ренты добывающих регионов использован в (Айвазян, Афанасьев, Кудров, 2018). Оценив параметры этой функции, мы можем оценить эластичность ВРП по значению индекса $nINT$ структурной сложности для всей совокупности рассматриваемых регионов. При этом доля ВРП каждого из восьми регионов без учета природной ренты составляет $\exp(-r)$, а доля природной ренты в ВРП — $1 - \exp(-r)$. Для 2019 г. $t = 0$, для 2022 г. $t = 3$. Оценки параметров функции (6) представлены в табл. 10. Оценки параметров $\alpha_1, \beta_1, s_1, r_1$ незначимы для каждого интегрального индекса и в табл. 10 не приводятся.

Таблица 10. Оценки параметров функции (6)

Параметры	Без индексов	$nINT1$	$nINT2$	$nINT3$	$nINT4$
α	0,222***	0,211***	0,214***	0,217***	0,212***
t-статистика	(6,66)	(6,27)	(6,31)	(6,38)	(6,32)
p-значение	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
β	0,766***	0,762***	0,762***	0,764***	0,759***
t-статистика	(25,51)	(25,32)	(25,30)	(25,22)	(25,18)
p-значение	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
s		0,216*	0,197*	0,088	0,249**
t-статистика		(1,82)	(1,72)	(0,73)	(2,12)
p-значение		0,070	0,087	0,465	0,036
r	0,226***	0,269***	0,262***	0,248***	0,273***
t-статистика	(3,85)	(4,10)	(4,02)	(3,75)	(4,22)
p-значение	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
c	-0,037***	-0,035***	-0,035***	-0,039***	-0,034***
t-статистика	(-3,47)	(-3,27)	(-3,25)	(-3,54)	(-3,21)
p-значение	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
const	5,901***	6,041***	6,019***	5,976***	6,057***
t-статистика	(26,72)	(25,14)	(25,16)	(24,51)	(18,83)
p-значение	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Число наблюдений	170	170	170	170	170
R^2	0,9645	0,9650	0,9649	0,9647	0,9652

Примечание. Символами «***», «**», «*» отмечены оценки, значимые на уровне 1, 5 и 10% соответственно.

Индекс $nINT4$ показывает лучшие статистические характеристики при оценке производственной функции (6) по данным за 2019 и 2022 годы. Потому далее мы возьмем его как основной интегральный индекс структурной сложности региональных экономик. Значимой на 5%-ном уровне является оценка параметра только при этом интегральном индексе, и она равна 0,249. Ее мы будем рассматривать при оценке эластичности ВРП по интегральному индексу $nINT4$ структурной сложности региональной экономики. А именно в качестве оценки эластичности влияния структурной сложности на ВРП региона, не специализирующегося на добыче нефти и природного газа, будем рассматривать величину $0,249nINT4$. Например, для Вологодской области при значении в 2022 г. $nINT4 = 0,279$ относительное повышение интегральной оценки сложности на 10% до величины 0,3 приводит к оценке относительного роста ВРП приблизительно на 0,7%. А для Московской области при значении $nINT4 = 0,598$ относительное повышение интегральной оценки сложности на 10% до величины 0,648 приводит к относительному росту ВРП приблизительно на 1,5%.

Оценка $1 - \exp(-r)$ доли природной ренты для восьми регионов равна 0,238. Оцененная доля $\exp(-r)\exp(-r)$ ВРП после исключения природной ренты оставляет 0,761. Для регионов, получающих природную ренту от добычи нефти и природного газа, будем использовать оценку эластичности сверху $0,249nINT4$ и оценку эластичности снизу $0,761 \times 0,249nINT4$. Например, для Оренбургской области при значении $nINT4 = 0,065$ относительное повышение интегральной оценки сложности на 70% до величины 0,111 приводит к оценке относительного роста ВРП в интервале [0,8%; 1,1%]. Зависимость ВРП 85 регионов с исключенной природной рентой восьми регионов от индекса $nINT4$ по данным 2022 г. показана на рис. 9.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дополнение к ранее построенным и опубликованным авторами индексам сложности структур региональных экономик получены оценки сложности структур распределения предприятий регионов по ВЭД на данных о численности предприятий для 85 регионов России за 2019 и 2022 годы. Сформированы четыре базовых индекса сложности.

На основе базовых индексов построены интегральные индексы структурной сложности региональных экономик и проведен их сравнительный анализ. Несмотря на различные методы построения, интегральные индексы статистически сильно взаимосвязаны. При этом в конкретных задачах прогнозирования и математического моделирования проявляются их особенности. Поэтому, отмечая существенные преимущества интегрального индекса, оценивающего расстояние от точки, характеризующей регион в пространстве базовых индексов, до эталона, авторы считают преждевременным исключать из рассмотрения три других интегральных индекса, так как допускают их потенциальную полезность.

Предложен подход к оценке влияния структурной сложности региональных экономик на ВРП. Построены производственные функции, включающие интегральный индекс структурной сложности. Показано, что структурная сложность региональной экономики оказывает влияние на ВРП региона. Получены оценки эластичности ВРП по интегральному индексу структурной сложности.

Интегральный индекс структурной сложности региональных экономик позволяет комплексно оценить экономический потенциал территорий, выявить наиболее перспективные отрасли и производства, а также обозначить направления диверсификации, которые вписываются в существующую региональную специализацию. Это создает основу для формирования обоснованных стратегий пространственного развития, ориентированных на повышение экономической сложности и устойчивости региональных экономик.

Таблица П1. Нормированные базовые и интегральные индексы по данным 2022 г.

Ранг <i>INT1</i>	Регион	Индексы								Ранг			
		<i>nVPRP</i>	<i>nZPRF</i>	<i>nZV</i>	<i>nPRV</i>	<i>nINT1</i>	<i>nINT2</i>	<i>nINT3</i>	<i>nINT4</i>	<i>INT2</i>	<i>INT3</i>	<i>INT4</i>	
1	Москва	1,0000	0,9364	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1	1	1	1
2	Санкт-Петербург	0,8938	0,9364	0,8850	0,7946	0,8581	0,8662	0,8546	0,8754	2	2	2	2
3	Новосибирская область	0,9077	0,8605	0,7216	0,3897	0,6448	0,6685	0,7127	0,6137	3	3	3	3
4	Московская область	0,8038	0,8326	0,6678	0,4192	0,6004	0,6195	0,6385	0,5979	4	4	4	4
5	Томская область	0,6145	1,0000	0,5903	0,4568	0,5823	0,6001	0,5233	0,5579	5	9	6	6
6	Тюменская область без АО	0,6145	0,5872	0,6944	0,6050	0,5451	0,5498	0,5612	0,5752	6	7	5	5
7	Калининградская область	0,7290	0,4626	0,7255	0,5221	0,5224	0,5303	0,6107	0,5370	8	5	7	7
8	Севастополь	0,7041	0,8087	0,8105	0,1743	0,5053	0,5487	0,5769	0,4746	7	6	8	8
9	Приморский край	0,7339	0,5554	0,6327	0,3173	0,4494	0,4677	0,5438	0,4654	9	8	9	9
10	Самарская область	0,6209	0,3901	0,5913	0,5441	0,4400	0,4385	0,5011	0,4584	11	13	10	10
11	Нижегородская область	0,7620	0,5657	0,5297	0,2954	0,4265	0,4405	0,5199	0,4353	10	10	11	11
12	Кабардино-Балкарская Республика	0,6743	0,7947	0,4686	0,0749	0,3656	0,3965	0,4177	0,3412	12	19	13	13
13	Краснодарский край	0,7944	0,5275	0,5665	0,1107	0,3653	0,3923	0,5088	0,3527	13	11	12	12
14	Свердловская область	0,7709	0,3901	0,2563	0,3856	0,3419	0,3307	0,4358	0,3228	17	17	16	16
15	Ивановская область	0,7885	0,4996	0,3710	0,1990	0,3383	0,3481	0,4539	0,3288	14	15	14	14
16	Калужская область	0,7465	0,3317	0,6997	0,0746	0,3135	0,3463	0,5057	0,2962	15	12	19	19
17	Ростовская область	0,6668	0,4930	0,3959	0,2193	0,3112	0,3220	0,3967	0,3261	18	21	15	15
18	Республика Крым	0,7418	0,4626	0,5197	0,0798	0,3056	0,3311	0,4508	0,3025	16	16	17	17
19	Республика Северная Осетия – Алания	0,7418	0,5867	0,3038	0,1082	0,2968	0,3112	0,3905	0,2811	19	25	21	21
20	Воронежская область	0,7582	0,5426	0,2698	0,1489	0,2960	0,3046	0,3936	0,2792	20	23	22	22
21	Челябинская область	0,7304	0,1982	0,5199	0,2640	0,2948	0,3023	0,4644	0,2885	21	14	20	20
22	Ярославская область	0,7698	0,3580	0,3292	0,2000	0,2806	0,2850	0,4183	0,2717	24	18	25	25
23	Республика Карелия	0,6376	0,4154	0,4792	0,1646	0,2800	0,2975	0,3917	0,3002	22	24	18	18
24	Республика Алтай	0,6960	0,5275	0,3038	0,1409	0,2772	0,2885	0,3669	0,2759	23	31	24	24
25	Республика Адыгея	0,7874	0,5807	0,1378	0,1296	0,2751	0,2783	0,3627	0,2317	26	32	35	35
26	Республика Бурятия	0,6875	0,4052	0,1874	0,3051	0,2710	0,2625	0,3476	0,2621	29	39	27	27
27	Омская область	0,6707	0,4296	0,2513	0,2296	0,2606	0,2612	0,3459	0,2637	30	40	26	26
28	Ленинградская область	0,6017	0,3329	0,5853	0,1308	0,2589	0,2830	0,3948	0,2777	25	22	23	23

Таблица П1. Продолжение

Ранг <i>INT1</i>	Регион	Индексы						Ранг				
		<i>n/RPR</i>	<i>nZPRF</i>	<i>nZV</i>	<i>nPRV</i>	<i>nINT1</i>	<i>nINT2</i>	<i>nINT3</i>	<i>nINT4</i>	<i>INT2</i>	<i>INT3</i>	<i>INT4</i>
29	Республика Калмыкия	0,7630	0,5275	0,2809	0,0409	0,2550	0,2710	0,3758	0,2330	27	26	33
30	Чеченская Республика	0,6212	0,5762	0,2173	0,1525	0,2493	0,2568	0,2999	0,2477	33	51	29
31	Карачаево-Черкесская Республика	0,7845	0,5107	0,2173	0,0574	0,2469	0,2577	0,3682	0,2165	32	30	40
32	Республика Дагестан	0,6895	0,5762	0,2173	0,0791	0,2435	0,2552	0,3232	0,2282	34	45	37
33	Владимирская область	0,6859	0,2760	0,5438	0,0876	0,2424	0,2650	0,4151	0,2455	28	20	30
34	Волгоградская область	0,6410	0,4238	0,4103	0,1029	0,2424	0,2602	0,3569	0,2576	31	35	28
35	Ставропольский край	0,6493	0,4236	0,4381	0,0338	0,2259	0,2498	0,3564	0,2358	35	36	32
36	Республика Башкортостан	0,6343	0,3522	0,3985	0,1236	0,2241	0,2384	0,3480	0,2408	36	38	31
37	Хабаровский край	0,6578	0,2760	0,4651	0,0892	0,2136	0,2320	0,3718	0,2235	37	27	39
38	Мурманская область	0,6359	0,2650	0,3985	0,1557	0,2114	0,2217	0,3494	0,2257	40	37	38
39	Астраханская область	0,5456	0,4996	0,3594	0,0729	0,2091	0,2287	0,2835	0,2305	38	57	36
40	Еврейская автономная область	0,6693	0,4402	0,3490	0,0176	0,2081	0,2282	0,3344	0,2109	39	43	41
41	Алтайский край	0,8029	0,2170	0,1750	0,1920	0,2074	0,2003	0,3712	0,1721	45	28	49
42	Псковская область	0,6888	0,3728	0,2261	0,1158	0,2002	0,2055	0,3188	0,1974	44	47	42
43	Республика Тыва	0,6280	0,5807	0,1475	0,0580	0,1990	0,2088	0,2593	0,1846	43	65	45
44	Сахалинская область	0,4489	0,2708	0,5311	0,1838	0,1976	0,2152	0,2951	0,2318	41	53	34
45	Смоленская область	0,7399	0,1586	0,2530	0,2057	0,1953	0,1910	0,3611	0,1767	47	33	48
46	Брянская область	0,6972	0,2458	0,4237	0,0528	0,1930	0,2105	0,3698	0,1932	42	29	43
47	Рязанская область	0,7003	0,4147	0,0690	0,1564	0,1910	0,1857	0,2822	0,1666	49	58	52
48	Саратовская область	0,6589	0,4236	0,2252	0,0764	0,1902	0,1994	0,2966	0,1905	46	52	44
49	Камчатский край	0,7444	0,2708	0,1882	0,1403	0,1879	0,1867	0,3351	0,1699	48	42	51
50	Ульяновская область	0,7067	0,4268	0,0897	0,1162	0,1867	0,1854	0,2854	0,1636	50	56	53
51	Республика Ингушетия	0,6630	0,5107	0,0000	0,1217	0,1760	0,1716	0,2363	0,1423	54	70	60
52	Тверская область	0,7541	0,3552	0,1025	0,0876	0,1736	0,1728	0,3056	0,1444	53	50	57
53	Республика Коми	0,6331	0,1950	0,4100	0,0910	0,1685	0,1821	0,3327	0,1783	51	44	47
54	Липецкая область	0,6360	0,1950	0,2908	0,1605	0,1650	0,1674	0,3076	0,1715	57	48	50
55	Новгородская область	0,6550	0,3692	0,1306	0,1191	0,1649	0,1648	0,2664	0,1584	58	61	55
56	Пензенская область	0,7199	0,2792	0,2304	0,0637	0,1643	0,1709	0,3200	0,1544	56	46	56
57	Магаданская область	0,5260	0,4094	0,3012	0,0571	0,1555	0,1710	0,2418	0,1797	55	68	46
58	Тульская область	0,6360	0,2062	0,3250	0,0952	0,1523	0,1612	0,3064	0,1609	59	49	54

Таблица П1. Окончание

Ранг <i>INT1</i>	Регион	Индексы						Ранг		
		<i>n/RRP</i>	<i>nZPRF</i>	<i>nZV</i>	<i>nPRV</i>	<i>nINT1</i>	<i>nINT2</i>	<i>nINT3</i>	<i>nINT4</i>	
59	Кировская область	0,7381	0,3114	0,0404	0,1200	0,1519	0,1447	0,2784	0,1186	62
60	Пермский край	0,5043	0,0000	0,6753	0,1254	0,1516	0,1746	0,3448	0,1440	52
61	Курганская область	0,6772	0,4031	0,1383	0,0331	0,1513	0,1578	0,2658	0,1394	60
62	Удмуртская Республика	0,5705	0,2170	0,0739	0,3012	0,1477	0,1299	0,2261	0,1382	64
63	Вологодская область	0,6940	0,1586	0,1718	0,1447	0,1364	0,1319	0,2931	0,1225	63
64	Архангельская область без АО	0,6793	0,0000	0,4474	0,0893	0,1356	0,1466	0,3575	0,1187	61
65	Чувашская Республика	0,6645	0,1683	0,1963	0,1208	0,1270	0,1259	0,2804	0,1216	67
66	Чукотский автономный округ	0,5272	0,3062	0,2358	0,0899	0,1213	0,1288	0,2190	0,1438	65
67	Орловская область	0,6789	0,3661	0,0404	0,0429	0,1195	0,1191	0,2319	0,0975	68
68	Кемеровская область	0,5604	0,1066	0,2654	0,1793	0,1154	0,1139	0,2529	0,1255	70
69	Забайкальский край	0,5528	0,1964	0,3490	0,0542	0,1133	0,1267	0,2575	0,1339	66
70	Республика Татарстан	0,4007	0,1586	0,3269	0,1991	0,1024	0,1056	0,1910	0,1344	71
71	Амурская область	0,6005	0,1066	0,3933	0,0176	0,1001	0,1159	0,2859	0,1078	69
72	Костромская область	0,7247	0,1964	0,0690	0,0637	0,1001	0,0957	0,2601	0,0730	74
73	Белгородская область	0,4955	0,1586	0,1199	0,2505	0,0991	0,0866	0,1840	0,1062	75
74	Республика Мордовия	0,6583	0,1586	0,2189	0,0331	0,0947	0,1005	0,2652	0,0919	72
75	Республика Хакасия	0,5691	0,1964	0,2397	0,0632	0,0938	0,1004	0,2306	0,1085	73
76	Республика Марий Эл	0,6677	0,1586	0,1025	0,0714	0,0822	0,0789	0,2380	0,0689	77
77	Иркутская область	0,5554	0,1066	0,2930	0,0571	0,0746	0,0827	0,2334	0,0889	76
78	Тамбовская область	0,6951	0,2506	0,0244	0,0000	0,0706	0,0695	0,2178	0,0457	78
79	Оренбургская область	0,4598	0,3355	0,0552	0,0607	0,0504	0,0510	0,1130	0,0645	79
80	Республика Саха (Якутия)	0,4035	0,0000	0,3542	0,1352	0,0399	0,0453	0,1767	0,0621	80
81	Ханты-Мансийский АО	0,1654	0,0000	0,5319	0,1839	0,0274	0,0416	0,1129	0,0504	81
82	Красноярский край	0,3914	0,1586	0,2476	0,0594	0,0260	0,0340	0,1278	0,0605	82
83	Ямало-Ненецкий АО	0,1654	0,0000	0,5319	0,1361	0,0093	0,0266	0,1026	0,0352	83
84	Курская область	0,5772	0,1066	0,0647	0,0000	0,0010	0,0000	0,1537	0,0000	85
85	Ненецкий АО	0,0000	0,1048	0,4180	0,2494	0,0000	0,0074	0,0000	0,0274	84

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Айвазян С.А. (2012). *Анализ качества и образа жизни населения (эконометрический подход)*. М.: Наука. 432 с. ISBN: 978-5-02-037968-8 [Ayvazyan S.A. (2012). *Analysis of the quality and lifestyle of life of the population (econometric approach)*. Moscow: Nauka. 432 p. ISBN: 978-5-02-037968-8 (in Russian).]
- Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю., Кудров А.В. (2016). Модели производственного потенциала и оценки технологической эффективности регионов РФ с учетом структуры производства // *Экономика и математические методы*. Т. 52. № 1. С. 28–44. [Ayvazyan S.A., Afanasiev M.Yu., Kudrov A.V. (2016). Models of production potential and assessment of technological efficiency of the regions of the Russian federation taking into account the structure of production. *Economics and Mathematical Methods*, 52 (1), 28–44 (in Russian).]
- Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю., Кудров А.В. (2018). Об учете природной ренты в индикаторах регионального развития // *Вестник ЦЭМИ РАН*. Т. 1. № 1. DOI: 10.33276/S00000006-9-1 [Ayvazyan S.A., Afanasiev M.Yu., Kudrov A.V. (2018). On the consideration of natural resource rent in regional development indicators. *Bulletin of CEMI RAS*, 1, 1. DOI: 10.33276/S00000006-9-1 (in Russian).]
- Афанасьев М.Ю., Гусев А.А. (2023). Ситуационное моделирование траекторий экономической сложности регионов // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 4. С. 58–70. DOI: 10.31857/S042473880028217-7 [Afanasiev M.Yu., Gusev A.A. (2023). Situational modeling of trajectories of economic complexity of regions. *Economics and Mathematical Methods*, 59 (4), 58–70. DOI: 10.31857/S042473880028217-7 (in Russian).]
- Афанасьев М.Ю., Гусев А.А., Нанавян А.М. (2023). Оценка профессиональной структуры занятого населения в российских регионах на основе концепции экономической сложности // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. Т. 16. № 6. С. 91–107. DOI: 10.15838/esc.2023.6.90.5 [Afanasiev M.Yu., Gusev A.A., Nanavyan A.M. (2023). Assessment of the professional structure of the employed population in Russian regions based on the concept of economic complexity. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 16, 6, 91–107. DOI: 10.15838/esc.2023.6.90.5 (in Russian).]
- Афанасьев М.Ю., Гусев А.А., Нанавян А.М. (2024). Интегральный индекс сложности структур занятости российских регионов // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. В печати. [Afanasiev M.Yu., Gusev A.A., Nanavyan A.M. (2024). Integral index of the complexity of employment structures in Russian regions. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. In press (in Russian).]
- Афанасьев М.Ю., Ильин Н.И. (2022). Новые ориентиры для выбора приоритетных направлений диверсификации экономики на базе системы ситуационных центров // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 4. С. 29–44. DOI: 10.31857/S042473880023017-7 [Afanasiev M.Yu., Ilyin N.I. (2022). New guidelines for choosing priority areas for economic diversification based on the system of situation centers. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 4, 29–44. DOI: 10.31857/S042473880023017-7 (in Russian).]
- Афанасьев М.Ю., Кудров А.В. (2021). Экономическая сложность и вложенность структур региональных экономик // *Экономика и математические методы*. Т. 57. № 3. С. 67–78. DOI: 10.31857/S042473880016410-0 [Afanasiev M.Yu., Kudrov A.V. (2021). Economic complexity and nesting of structures of regional economies. *Economics and Mathematical Methods*, 57, 3, 67–78. DOI: 10.31857/S042473880016410-0 (in Russian).]
- Гусев А.А. (2024). Сравнительный анализ подходов к оценке экономической сложности регионов России по структуре ВРП // *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*. № 3 (79). #7917. [Gusev A.A. (2024). Comparative analysis of approaches to assessing the economic complexity of Russian regions by the structure of GRP. *Regional Economy and Management: Electronic Scientific Journal*, 3 (79). Art. #7917 (in Russian).]
- Ивахненко Т.Ю., Полбин А.В., Синельников-Мурылев С.Г. (2024). Экономическая сложность и неравенство доходов в регионах России // *Вопросы экономики*. № 5. С. 105–127. DOI: 10.32609/0042-8736-2024-5-105-127 [Ivakhnenko T.Yu., Polbin A.V., Sinelnikov-Murylev S.G. (2024). Economic complexity and income inequality in the regions of Russia. *Voprosy Ekonomiki*, 5, 105–127 (in Russian).]
- Любимов И.Л., Гвоздева М.А., Казакова М.В., Нестерова К.В. (2017). Сложность экономики и возможность диверсификации экспорта в российских регионах // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 2 (34). С. 94–122. [Lyubimov I.L., Gvozdeva M.A., Kazakova M.V., Nesterova K.V. (2017). The complexity of the economy and the possibility of diversification of exports in Russian regions. *Journal of the New Economic Association*, 2 (34), 94–122 (in Russian).]
- Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022 (2022). Стат. сб. М.: Росстат. 1122 с. [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2022 (2022). Stat. collection. Moscow: Rosstat. 1122 p. (in Russian).]
- Чеплинские И.Р., Лукин Е.В. (2024). Особенности экспортной специализации регионов СЗФО в рамках концепции экономической сложности // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. Т. 17. № 2. С. 81–95. DOI: 10.15838/esc.2024.2.92.4 [Cheplinskite I.R., Lukin E.V. (2024). Features of export specialization of the regions of the Northwestern Federal District within the framework of the concept of economic complexity. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 17, 2, 81–95. DOI: 10.15838/esc.2024.2.92.4 (in Russian).]

- Чупин А.Л., Засько В.Н., Морковкин Д.Е., Донцова О.И. (2024). Модель роста экономики региона на основе индекса экономической сложности // *Финансы: теория и практика*. Т. 28. № 3. С. 52–60. DOI: 10.26794/2587-5671-2024-28-3-52-60 [Chupin A.L., Zas'ko V.N., Morkovkin D.E., Dontsova O.I. (2024). Regional economic growth model based on the economic complexity index. *Finance: Theory and Practice*, 28, 3, 52–60 (in Russian).]
- Balassa B. (1965). Lafayrade liberalization and “revealed” comparative advantage. *The Manchester School*, 33, 99–123.
- Hartmann D. (2017). Linking economic complexity, institutions, and income inequality. *World Development*, 93, 75–93.
- Hausmann R., Hidalgo C.A., Bustos S., Coscia M., Simoes A., Yildirim M.A. et al. (2014). *The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity*. Cambridge: MIT Press. 368 p.
- Hausmann R., Hwang J., Rodrik D. (2006). What you export matters. *Journal of Economic Growth*, 12 (1), 1–25.
- Hausmann R., Klinger B. (2006). Structural transformation and patterns of comparative advantage in the product space. *CID Working Paper*, 128.
- Herrera W., Strauch J., Bruno M. (2020). Economic complexity of Brazilian states in the period 1997–2017. *Area Development and Policy*, 6 (2), 1–19. DOI: 10.1080/23792949.2020.1761846
- Hidalgo C.A. (2021). Economic complexity theory and applications. *Nature Reviews Physics*, 3 (2), 92–113.
- Hidalgo C.A., Hausmann R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (26), 10570–10575.
- Sciarrà C., Chiarotti G., Ridolfi L. (2020). Reconciling contrasting views on economic complexity. *Nat Commun*, 11, 3352. DOI: 10.1038/s41467-020-16992-1

Integral structural complexity index of regional economies

© 2025 M.Yu. Afanasiev, A.A. Gusev

M.Yu. Afanasiev,

Central Economics and Mathematics Institute, RAS, Moscow, Russia; e-mail: mi.afan@yandex.ru

A.A. Gusev,

Central Economics and Mathematics Institute, RAS, Moscow, Russia; e-mail: gusevalexeval@yandex.ru

Received 12.09.2024

Abstract. Current scientific discussions are focused on identifying professions and types of economic activity that will become most in demand in the future and determine priority areas for diversification of regional economies. Analysis of such trends is important for forecasting the dynamics of GRP. The purpose of this work is to construct an integral index of structural complexity on the basis of four basic indices of economic complexity of regional economies, calculated by the authors on the basis of data on the structure of employment, the structure of the distribution of enterprises and the structure of GRP. According to Rosstat for 2019 and 2022, four basic complexity indices were formed for 85 regions: the index of complexity of GRP structures based on data on production by types of economic activity (TEA); index of complexity of employment structures of the regions by TEA; index of regional employment structures by occupational groups; index of complexity of distribution structures of enterprises in the regions by TEA. The analysis of 0–1 matrices for all four economic complexity indices under consideration is carried out. The leading positions in the four corresponding ratings are occupied by Moscow, St. Petersburg, the Novosibirsk Region, and the Moscow Region. Four integral indices of structural complexity of regional economies were constructed. Their advantages and disadvantages are analyzed. It is shown that the structural complexity of the regional economy has an impact on GRP. Moreover, one of the integral indices is significant in the production function of the GRP of 85 regions according to the data of 2019 and 2022.

Keywords: regional economics, econometrics, economic complexity, integral index.

JEL Classification: C15, C51, R11, R58.

UDC: 332.145.

For reference: Afanasiev M. Yu., Gusev A.A. (2025). Integral structural complexity index of regional economies. *Economics and Mathematical Methods*, 61, 2, 57–74. DOI: 10.31857/S0424738825020054 (in Russian).