

1.2. АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ТРАЕКТОРИЙ ВРП И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНОВ С УЧЕТОМ КОНЦЕПЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ И СТРУКТУРЫ СИЛЬНЫХ СЕКТОРОВ ЭКОНОМИКИ

Афанасьев М.Ю., Кудров А.В.¹, Москва

Аннотация. Рассматривается задача группирования регионов по структуре сильных секторов, выявления особенностей сформированных групп и оценки их экономической сложности. В качестве элемента структуры экономики региона рассматривается сильный сектор, доля объема производства которого выше, чем для РФ в целом. Использована метрика, позволяющая определить близость любых двух регионов по структуре сильных секторов. С использованием этой метрики построены минимальные покрывающие деревья, позволяющие выявить группы регионов с близкой структурой сильных секторов. Выявленные таким образом структуры можно рассматривать как базисные при выборе направлений развития субъектов РФ. Получены результаты, не противоречащие гипотезе о том, что экономическая сложность оказывает влияние на степень статистической взаимосвязи траекторий ВРП и траекторий технической эффективности. Такое влияние наблюдается для групп регионов, имеющих достаточно высокие групповые оценки экономической сложности и взаимосвязи траекторий. При низких групповых оценках уровень взаимосвязи траекторий ВРП и траекторий технической эффективности зависит от структуры сильных секторов, определяющей специфику группы.

Введение

Современные представления об экономической сложности связаны с диверсификацией производства. Страны, экспортирующие более «сложные» товары, обычно имеют более высокий уровень подушевого материального благосостояния, чем страны, экспортирующие простые товары. Причем, возможна структурная трансформация экономики и переход от более простых форм производства к более сложным. Такой переход сопровождается ростом уровня социально-экономического развития. Сравнительно недавно разработана процедура, которая позволяет измерять экономическую сложность как секторов, так и структуры экономики в целом (Hausmann et al., 2011; Hausmann, Hwang, Rodrik, 2006; Hausmann, Rodrik, 2003; Hidalgo, Hausmann, 2009). Предложенная мера экономической сложности заслужила широкое внимание тем, что обладает высокой значимостью в моделях прогнозирования экономического роста. Кроме того, эта мера хорошо коррелирована с показателями материального благосостояния и иными характеристиками социально-экономического развития. Однако, используемая методика расчетов экономической сложности не учитывает объемы внутреннего потребления производимых продуктов. Далее, в отличие от традиционного подхода к оценке экономической сложности, в соответствии с которой концепция *выявленных сравнительных преимуществ* (Balassa, 1965) применяется по отношению к производимым продуктам, акцент делается на исследование секторов экономики региона. Рассматривается задача группирования регионов по структуре сильных секторов, выявления особенностей сформированных групп регионов и оценки их экономической сложности. Полученные результаты могут быть использованы для решения задач проектного управления.

Проводится анализ взаимосвязи траекторий ВРП и траекторий технической эффективности регионов. При этом учитываются результаты группирования регионов по структуре сильных секторов и агрегированные оценки экономической сложности выявленных групп. В соответствии с концепцией стохастической границы, техническая эффективность регионального производства рассматривается как отношение потенциально возможного ВРП к фактическому (Kumbhakar, Lovell, 2004). При неизменных прочих факторах рост технической эффективности региона приводит к росту ВРП. Однако, на траекторию ВРП, помимо технической эффективности, оказывают влияние другие факторы. Поэтому траектория ВРП necessarily взаимосвязана с траекторией технической эффективности. Далее будет показано, что степень взаимосвязи этих траекторий зависит от структуры сильных секторов региона и их экономической сложности.

Актуальность этого исследования определяется тем, что разработка мер по повышению темпов экономического роста находится в числе задач, направленных на достижение стратегических целей экономического развития Российской Федерации, сформулированных в официальных документах: Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»; Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года; Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года.

¹ Афанасьев Михаил Юрьевич — д.э.н., г.н.с. ЦЭМИ РАН, профессор ГАУГН; miafan@cemi.rssi.ru.
Кудров Александр Владимирович — к.ф.-м.н., в.н.с. ЦЭМИ РАН, Москва; kovlal@inbox.ru.

Федерации на период до 2025 года. Решение этих задач предполагает расширение сферы практического применения оценок технической эффективности как фактора ВРП. Актуальность исследования повышается в связи с тем, что показатели *производительность труда* и *количество новых высокопроизводительных рабочих мест* включены в Перечень показателей для оценки эффективности деятельности высших должностных лиц субъектов Российской Федерации, утвержденный Указом Президента Российской Федерации от 25 апреля 2019 г. № 193. Техническая эффективность производства является мерой многофакторной производительности, поэтому может рассматриваться как индикатор качества регионального управления в долгосрочном периоде.

Для расчета индекса экономической сложности и описания структуры сильных секторов экономики региона используется концепция выявленных сравнительных преимуществ (Balassa, 1965), известный подход к оценке экономической сложности (Hausmann et al., 2011; Hidalgo, Hausmann, 2009; Lyubimov et al., 2017) и его авторская модификация, основанная на использовании данных о налоговых поступлениях по секторам экономики². Получены характеристики уровня диверсификации экономики региона, идентифицирующие сильные сектора, продукцию которых регион производит на уровне выявленных сравнительных преимуществ, рассчитан индекс экономической сложности регионов, с помощью «минимального покрывающего дерева» выявлено тринадцать групп регионов, близких по структуре сильных секторов. Эти группы обладают двумя свойствами: каждая группа соответствует структуре минимального покрывающего дерева; для каждой группы выявлены один, два или три сектора, сильные в структуре экономической сложности для всех регионов только этой группы. В работе проводится проверка гипотезы: при достаточно высоких групповых оценках экономической сложности и групповых оценках взаимосвязи траекторий ВРП и траекторий технической эффективности для групп регионов, имеющих близкую структуру сильных секторов, экономическая сложность оказывает влияние на степень статистической взаимосвязи траекторий.

Методология исследований

Для описания структуры сильных секторов экономики региона используется авторское обобщение подхода к оценке экономической сложности, основанное на использовании данных о налоговых поступлениях по секторам экономики. Эти данные учитывают объемы производства каждого сектора экономики для экспорта и для внутреннего потребления.

Предпосылка 1. Данные о налоговых поступлениях отражают пропорции объемов производства секторов экономики в стоимостном выражении.

Показатель RCA_{cp} выявленных сравнительных преимуществ определяется по формуле

$$RCA_{cp} = \left(y_{cp} / \sum_p y_{cp} \right) / \left(\sum_c y_{cp} / \sum_{cp} y_{cp} \right), \quad (1)$$

где y_{cp} — объем налоговых поступлений от сектора p экономики региона c . Соответственно, RCA_{cp} представляет собой отношение доли налоговых поступлений от сектора p в общем объеме налоговых поступлений от всех секторов экономики региона c к доле налоговых поступлений от сектора p по всем регионам в объеме налоговых поступлений от всех секторов экономики всех регионов. В соответствии с работами, в которых показатель RCA_{cp} используется для оценки выявленных сравнительных преимуществ в экономиках (Hausmann, Klinger, 2006), на него накладывается ограничение снизу. Если значение RCA_{cp} превышает единицу³, то с учетом предпосылки 1 можно считать, что экономика региона c обладает выявленными сравнительными преимуществами в выпуске продукции сектора p . В противном случае считается, что выявленных сравнительных преимуществ не существует. При помощи RCA определяется матрица M , содержащая данные о секторах экономики, которые в разных регионах развиты на уровне выявленных сравнительных преимуществ, определенных при помощи выражения (1). Строки этой матрицы соответствуют регионам, столбцы — секторам экономики. Элемент $x_{c,p}$ матрица M равен 0, если у региона c отсутствуют выявленные сравнительные преимущества в производстве продукции сектора p , определяемые при помощи выражений (1), и 1 — в противном случае. То есть, выполняется условие

$$x_{cp} = \begin{cases} 1, & \text{если } RCA_{cp} > 1 \\ 0, & \text{если } RCA_{cp} \leq 1 \end{cases}. \quad (2)$$

При помощи матрицы M могут быть получены характеристики уровня диверсификации экономики региона, идентифицирующие сильные сектора, продукцию которых регион производит на уровне выявленных сравнительных преимуществ, а также рассчитаны индексы, позволяющие проводить сравнительный анализ экономической сложности разных регионов.

² Данные о налоговых поступлениях

https://www.nalog.ru/rn77/related_activities/statistics_and_analytics/forms/8826515/

³ Могут использоваться и другие пороговые значения, превышающие единицу.

Для формирования групп регионов, близких по структуре сильных секторов, использован подход, основанный на теории графов. На основе матрицы M , описывающей структуру сильных секторов субъектов РФ, мы построим иерархию взаимосвязей структур сильных секторов в виде так называемого «минимального покрывающего дерева» и изучим его топологические свойства. Следует отметить работы, в которых «минимальные покрывающие деревья» использовались для корреляционных сетей:

- цен акций компаний, торгуемых на рынках США (Onnela et al., 2002; Onnela, 2006), Великобритании (Coelho et al., 2007) и Японии (Jung et al., 2008)). Один из важных результатов, полученных в этих работах, состоит в обнаружении группирования акции компаний из одного сектора на «ветке минимального покрывающего дерева»;

- данных магнитоэнцефалографии различных участков головного мозга человека. Выявление и изучение функциональных модулей головного мозга с использованием магнитоэнцефалографических метрик позволяет более точно определять целевые участки головного мозга в случае необходимости хирургии. В результате применения минимальных покрывающих деревьев получены функциональные модули головного мозга, состоящие из участков, выполняющих единые функции и расположенных по «веткам» дерева (Lee et al., 2006; Stam et al., 2014);

- показателей при построении индикаторов социально-экономического развития (Aivazian, Afanasiev, Kudrov, 2019).

Обозначим неориентированный граф взаимосвязей для структур экономической сложности регионов, каждая из которых описывается строкой матрицы M , через $G = (V, E)$, где V – набор узлов, каждому из которых соответствует регион из совокупности m рассматриваемых регионов; E – совокупность ребер. При помощи ребер E соединяются узлы V . Каждое ребро характеризуется силой взаимосвязи или расстоянием между соответствующими узлами.

Более формально, пусть в фиксированный момент времени для каждого региона $c \in \{1, \dots, m\}$, где m – число рассматриваемых регионов, имеется вектор-строка $X_c = (x_{c,1}, \dots, x_{c,n})$ матрицы M , описывающая структуру сильных секторов региона c (здесь n – число секторов экономики). Определим расстояние между векторами X_i и X_j , $i, j \in \{1, \dots, m\}$ как

$$d(X_i, X_j) = \sqrt{1 - \left(\frac{(X_i, X_j)}{|X_i| + |X_j|} \right)^2} \quad (3)$$

Величина $\frac{(X_i, X_j)}{|X_i| + |X_j|}$ – доля общих сильных секторов в суммарном числе сильных секторов двух

регионов. Если структуры сильных секторов двух регионов совпадают, то X_i, X_j и $d(X_i, X_j) = 0$. В этом случае регионы не отличаются по структуре сильных секторов и будут отнесены к одной группе с общей структурой экономической сложности. Если регионы не имеют общих сильных секторов, то $d(X_i, X_j) = 1$ и «расстояние» между структурами сильных секторов максимально, регионы попадают в разные группы.

Определение (покрывающее дерево). Подграф $G' = (V, E')$ графа G называется покрывающим деревом, если в нем все узлы V соединены при помощи $|V| - 1$ ребра.

Можно показать, что граф G будет связным тогда и только тогда, когда для него найдется покрывающее дерево. Предположим, что граф G является связным. Тогда существует хотя бы одно покрывающее дерево графа G . Среди всех покрывающих деревьев графа G нас будут интересовать в некотором смысле минимальные:

Определение (минимальное покрывающее дерево). Покрывающее дерево \tilde{G}' для графа G называется минимальным покрывающим деревом, если

$$\tilde{G}' = \operatorname{argmin}_{G' \in H} \sum_{(X_i, X_j) \in E'} d(X_i, X_j)$$

где H – множество всех покрывающих деревьев графа G .

Использование минимальных покрывающих деревьев позволяет выявить группы близких узлов графа G , извлекая из матрицы M наиболее сильные связи в структуре сильных секторов. В результате близкие узлы графа G выстраиваются в форме «ветки» минимального покрывающего дерева. И хотя переход к минимальному покрывающему дереву сопровождается потерей довольно многих связей между показателями, он позволяет идентифицировать «ветки» показателей, характеризуемых единой спецификой.

Существует ряд алгоритмов построения минимального покрывающего дерева графа G . В данном исследовании для построения минимального покрывающего дерева использован алгоритм Крускала (Kruskal, 1956).

Понятие экономической сложности региона рассматривается как характеристика, отражающая уровень технологического развития региона, который, в свою очередь, определяется сильными секторами в структуре его экономики. Аналогично, экономическая сложность сектора зависит от уровня технологического развития тех регионов, в которых этот сектор присутствует в структуре в качестве сильного. Дадим более формальное определение экономической сложности, соответствующее процедуре ее вычисления, представленной в работе (Hausmann, Hidalgo et al., 2011):

- a) экономическая сложность региона (ECI_c) или сектора (ECI_p) – это латентная характеристика;
 b) экономическая сложность региона пропорциональна среднему уровню экономической сложности сильных секторов в структуре его экономики. А именно:

$$c) \quad ECI_c = a_1 \sum_p w_{c,p} ECI_p, \text{ где } w_{c,p} = \frac{M_{c,p}}{k_{c,0}}, k_{c,0} = \sum_p x_{c,p}, a_1 - \text{положительная константа.}$$

- d) экономическая сложность сектора пропорциональна среднему уровню экономической сложности регионов, в структуре экономик которых этот сектор является сильным:

$$ECI_p = a_2 \sum_c w_{p,c}^* ECI_c, \text{ где } w_{p,c}^* = \frac{M_{c,p}}{k_{d,0}}, k_{d,0} = \sum_c x_{c,p}, a_2 - \text{положительная константа.}$$

Введем некоторые дополнительные обозначения:

$\mathbf{c} = (ECI_{c_1}, ECI_{c_2}, \dots)$ - вектор значений экономической сложности для регионов;

$\mathbf{p} = (ECI_{p_1}, ECI_{p_2}, \dots)$ - вектор значений экономической сложности для секторов;

$\mathbf{W}_1 = (w_{c,p})$, $\mathbf{W}_2 = (w_{p,c}^*)$ — матрицы весов.

Запишем свойства b) и c) в матричном виде: $\mathbf{c} = a_1 \mathbf{W}_1 \mathbf{p}$, $\mathbf{p} = a_2 \mathbf{W}_2 \mathbf{c}$. Откуда следует, что:

$$\mathbf{c} = a_1 a_2 \mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2 \mathbf{c},$$

$$\mathbf{p} = a_1 a_2 \mathbf{W}_2 \mathbf{W}_1 \mathbf{p}.$$

Таким образом, экономическая сложность региона определяется как собственный вектор матрицы $\mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2$, а экономическая сложность сектора — собственный вектор матрицы $\mathbf{W}_2 \mathbf{W}_1$. В работе (Hausmann, Hidalgo et al., 2011) в качестве значений оценок экономической сложности предлагается использовать стандартизированную вторую главную компоненту матриц $\mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2$ и $\mathbf{W}_2 \mathbf{W}_1$. Следует отметить, что координаты первой главной компоненты для этих матриц состоят из одинаковых значений, поскольку они являются стохастическими (Hidalgo, Hausmann, 2009), (Kemp-Benedict, 2014)). Также напомним, что если \mathbf{x} является собственным вектором для матрицы \mathbf{A} , отвечающим собственному значению λ , то вектор $r\mathbf{x}$, где r – любое ненулевое действительное число, также является собственным вектором матрицы \mathbf{A} , отвечающим такому же собственному значению λ .

Коротко опишем процедуру вычисления экономической сложности:

1. По данным матрицы $M = (x_{c,p})$ вычислим характеристики диверсификации ($k_{c,0}$) и уникальности сектора ($k_{p,0}$):

$$k_{c,0} = \sum_p x_{c,p} \text{ и } k_{p,0} = \sum_c x_{c,p}.$$

2. Вычислим матрицу $\mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2$, элементы которой характеризуют степень сходства наборов сильных секторов в структуре экономик соответствующей пары рассматриваемых регионов. Используемая метрика сходства представляет собой взвешенную сумму по всем общим секторам, где веса обеспечивают больший вклад тех секторов, которым соответствует более высокий уровень уникальности ($k_{p,0}$). Легко заметить, что элемент матрицы $\mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2$ на пересечении строки c и столбца c' вычисляется по формуле:

$$\frac{1}{k_{c,0}} \sum_p \frac{x_{c,p} x_{c',p}}{k_{p,0}}, \text{ где } c, c' - \text{номера регионов.}$$

Отметим, что если $k_{p,0}$ принимает одно и то же значение для всех p , то $\tilde{M}_{c,c'}$ равняется доле общих секторов от числа сильных секторов региона c .

Аналогично, вычислим матрицу $\mathbf{W}_2 \mathbf{W}_1$, в которой (p, p') -элемент вычисляется по формуле:

$$\frac{1}{k_{p,0}} \sum_c \frac{x_{c,p} x_{c,p'}}{k_{c,0}}, \text{ где } p, p' - \text{номера секторов.}$$

3. Наконец, индекс экономической сложности региона вычисляется как стандартизированное значение второй главной компоненты матрицы $\mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2$. А именно:

$$\mathbf{c} = \begin{pmatrix} \frac{f_1 - \bar{f}}{d} \\ \frac{f_2 - \bar{f}}{d} \\ \dots \end{pmatrix}, \text{ где вектор } \mathbf{f} = (f_1, \dots) - \text{собственный вектор, отвечающий второй главной компоненте}$$

матрицы $\mathbf{W}_1 \mathbf{W}_2$, \bar{f} – среднее значение координат вектора \mathbf{f} , d — стандартное отклонение, рассчитанное для координат вектора \mathbf{f} .

Также индекс экономической сложности секторов экономики вычисляется как стандартизированное значение второй главной компоненты матрицы $\mathbf{W}_2 \mathbf{W}_1$. А именно:

$$\mathbf{p} = \begin{pmatrix} \frac{g_1 - \bar{g}}{e} \\ \frac{g_2 - \bar{g}}{e} \\ \dots \end{pmatrix}, \text{ где вектор } \mathbf{g} = (g_1, \dots) - \text{собственный вектор, отвечающий второй главной компоненте}$$

матрицы $\mathbf{W}_2 \mathbf{W}_1$, \bar{g} – среднее значение координат вектора \mathbf{g} , e — стандартное отклонение, рассчитанное для координат вектора \mathbf{g} .

Предпосылка 1. Статистическая взаимосвязь траекторий ВРП и траекторий технической эффективности устойчива относительно группы регионов, для которой рассчитаны оценки технической эффективности.

Для построения траекторий технической эффективности использована степенная производственная функция с логарифмически линейно зависящими от времени коэффициентами вида:

$$\ln R_{it} = \beta_0 + \alpha_0 t + (\beta_1 + \alpha_1 t) \ln K_{it} + (\beta_2 + \alpha_2 t) \ln L_{it} + v_{it} - u_{it}, \quad (1)$$

где R_{it} — ВРП региона i в момент времени t ; K_{it} — объем затрат капитала региона i в момент времени t , L_{it} — объем трудозатрат региона i в момент времени t , $v_{it} \in N(0, \sigma_v^2)$; $u_{it} \in N^+(0, \sigma_u^2)$. Случайная составляющая $\varepsilon_{it} = v_{it} - u_{it}$ отражает результаты воздействия факторов неопределенности и факторов эффективности. В соответствии с концепцией стохастической границы, оценкой технической эффективности производства региона i в момент t является условное математическое ожидание $TE_{it} = E(\exp\{u_{it}\} | \varepsilon_{it})$ (Kumbhakar, Lovell, 2004). Преимущества использования степенной производственной функции и методология ее спецификации представлены в работе (Aivazian, Afanasiev, Rudenko, 2017).

Чтобы проверить гипотезу, для каждой группы регионов с близкой структурой сильных секторов получены две оценки: групповая оценка экономической сложности и групповая оценка статистической взаимосвязи траекторий. Групповая оценка экономической сложности получена на основе индекса экономической сложности, сформированного в соответствии с (Afanasiev, Kudrov, 2020) и приведенного в столбце 4 таблицы 3. Эта оценка рассчитана как среднее значение индексов экономической сложности регионов, входящих в группу. Для устойчивости оценок исключались минимальное и максимальное значение индексов в группе. Следует отметить, что упорядочение групп сохраняется, если оценки экономической сложности рассчитывать как среднее значение рангов регионов, входящих в группу.

Для всех регионов получены оценки коэффициентов корреляции траекторий ВРП и траекторий технической эффективности. Для каждой группы регионов, близких по структуре сильных секторов, построены групповые оценки взаимосвязи траекторий как средние значения коэффициентов корреляции этих траекторий для регионов, входящих в группу. Выявлены группы регионов, имеющих достаточно высокие групповые оценки экономической сложности и групповые оценки взаимосвязи траекторий ВРП и траекторий технической эффективности. Для этих групп проведен корреляционный анализ оценок экономической сложности и оценок взаимосвязи траекторий ВРП и траекторий технической эффективности.

Результаты исследований

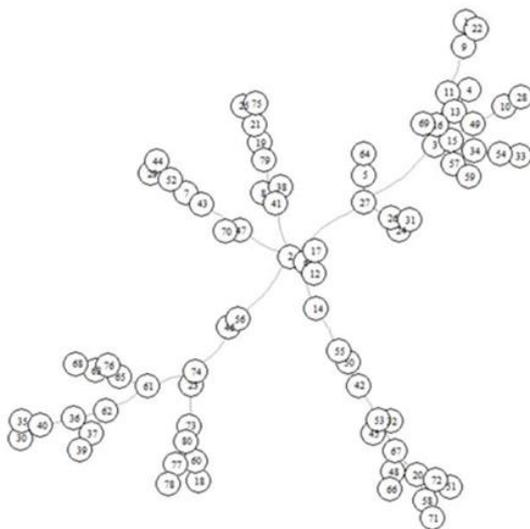


Рис. 1. Минимальное покрывающее дерево для группирования регионов по структуре сильных секторов

роvanы в порядке, используемом в столбце 1 таблицы 1. Длина дуги – близость двух регионов по структуре сильных секторов в метрике (3). На каждой ветви дерева наблюдается одна или несколько групп

Для формирования матрицы M структуры сильных секторов использованы данные о налоговых поступлениях по 82 секторам экономики субъектов РФ.⁴ Количество сильных секторов в экономике каждого региона указано в столбце 4 таблицы 1. Регионы с наиболее диверсифицированной экономикой (с большим числом сильных секторов): Тверская область (42), Чувашская Республика (40), Московская область (39), Новосибирская область (39), Владимирская область (37), Липецкая область (36). Наименее диверсифицированную экономику имеют регионы: Оренбургская область (6), Тюменская область (8), Астраханская область (9), Томская область (10), Республика Саха (Якутия) (11). Минимальное покрывающее дерево для корреляционного графа $G = (V, E)$, построенное при помощи алгоритма Крускала на основе матрицы M , характеризующей структуру сильных секторов регионов, представлено на рис. 1

На рисунке 1 каждая вершина дерева характеризует субъект РФ. Вершины пронумерованы

4

регионов, близких по структуре экономической сложности. На основе визуализации минимального покрывающего дерева и экспертного анализа матрицы M сильных секторов выявлено тринадцать групп регионов, представленных в таблице 1. В столбце 8 этой таблицы указан номер группы регионов, близких в метрике (3) по структуре сильных секторов. Выявленные группы обладают двумя свойствами: каждая группа соответствует структуре минимального покрывающего дерева; для каждой группы выявлены один, два или три сектора, сильные в структуре экономической сложности для всех регионов только этой группы. Таким образом, каждой группе регионов поставлены в соответствие характерные для всех регионов только для этой группы сильные сектора экономики. Коды⁵ и названия секторов указаны в столбце

9 таблицы 1. Эти сектора являются отличительной особенностью соответствующей группы регионов. В столбце 9 таблицы 1 приведены также коды секторов, сильных для всех регионов группы, которые в то же время являются сильными секторами для всех регионов какой-то другой группы. А также коды (выделены курсивом) секторов, сильных для всех регионов группы, за исключением одного, которые также могут быть сильными секторами для регионов, входящих в другие группы. Эта информация достаточно полно характеризует структуру экономической сложности регионов, входящих в каждую группу.

Индекс экономической сложности представлен в столбце 5 матрицы 1. Для каждой группы регионов получены оценки экономической сложности как среднее значение индексов регионов, входящих в группу. При этом для устойчивости групповых оценок в каждой группе не учитывались самая высокая и самая низкая оценки. В таблице 1 группы регионов, близких по структуре сильных секторов, упорядочены по убыванию оценок экономической сложности. Следует отметить, что упорядочение групп сохраняется, если оценки экономической сложности рассчитывать как среднее значение рангов регионов, входящих в группу.

Таблица 1. Оценки параметров производственной функции.

	β_0	α_0	β_1	α_1	β_2	α_2	σ_v	σ_u
Coef.	-0.135	0.118	0.853	-0.017	0.180	0.019	0.215	0.005
Std. Err.	0.245	0.052	0.029	0.007	0.036	0.008	0.006	0.139
Z	-0.55	2.28	29.27	-2.51	5.00	2.39		

При расчете параметров производственной функции (1) и оценок технической эффективности использованы данные Росстата за период с 2010 по 2017гг. по следующим показателям: ВРП; стоимость основных фондов как оценка затрат капитала; численность экономически активного населения как объем затрат.

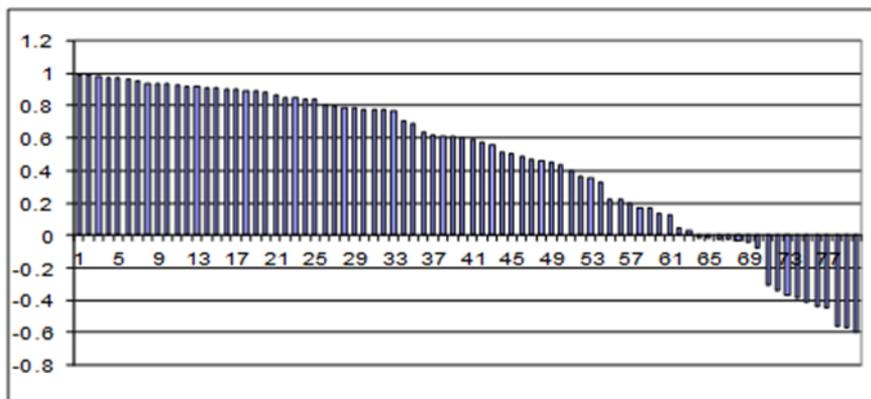


Рис. 2. По оси абсцисс – порядковый номер региона. По оси ординат – упорядоченные по убыванию значения коэффициентов корреляции траекторий ВРП и траекторий технической эффективности

что нормированные оценки имеют среднее значение 0 и стандартное отклонение 1. При такой нормировке оценки технической эффективности сопоставимы для разных лет рассматриваемого периода.

Number of obs = 640, Log likelihood = 76.152

Рассчитаны нормированные значения ВРП 80 регионов за период с 2010 по 2017гг. и сформированы траектории ВРП для рассматриваемого периода времени. Коэффициенты корреляции траекторий ВРП и траекторий технической эффективности приведены в столбце (6) таблицы 1. На рис.2 эти значе-

⁵ Классификатор секторов

https://www.nalog.ru/rn77/related_activities/statistics_and_analytics/forms/8826515/

ния коэффициентов корреляции упорядочены по убыванию. Для 63 регионов из 80 коэффициенты корреляции положительны. Для 54 регионов — выше 0.3. Для большинства регионов наблюдается значимая статистическая взаимосвязь траекторий ВРП и траекторий технической эффективности/

Групповые оценки экономической сложности и взаимосвязи траекторий для тринадцати групп регионов приведены в столбцах 3 и 4 таблицы 2.

Таблица 2. Характеристики экономической сложности и взаимосвязи траекторий для групп регионов, близких по структуре сильных секторов.

№ группы	Число регионов в группе	Групповая оценка сложности	Групповая оценка взаимосвязи траекторий	№ группы	Число регионов в группе	Групповая оценка сложности	Групповая оценка взаимосвязи траекторий
(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
1	3	0.786	0.825	8	7	0.260	-0.073
2	10	0.609	0.661	9	5	0.212	0.416
3	7	0.593	0.534	10	5	0.211	0.318
4	7	0.466	0.101	11	5	-0.025	0.468
5	4	0.439	0.492	12	11	1.064	0.695
6	4	0.292	0.632	13	6	-1.313	0.367
7	6	0.292	-0.073				

Для проверки гипотезы исключены из рассмотрения 4 и 7 группы с низкими оценками взаимосвязи траекторий, а также 12 и 13 группы с низкими оценками экономической сложности. Характеристики оставшихся девяти групп с относительно высокими групповыми оценками взаимосвязи траекторий и экономической сложности представлены на рис. 3.

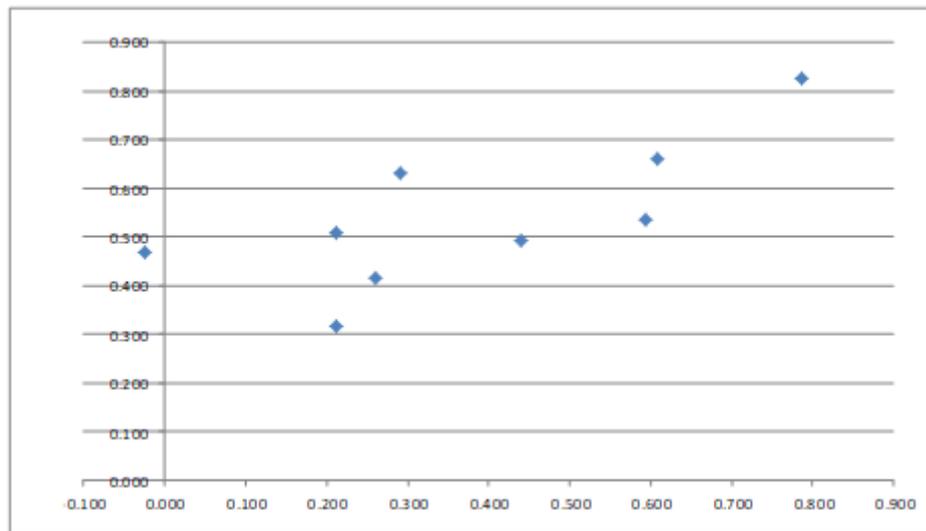


Рис.3. По оси абсцисс- оценка экономической сложности группы, по оси ординат – оценка взаимосвязи траекторий

Коэффициент корреляции Пирсона оценок экономической сложности девяти групп регионов и оценок взаимосвязи траекторий равен 0.725. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен 0.817.

Коэффициент корреляции Пирсона оценок экономической сложности девяти групп регионов и оценок взаимосвязи траекторий равен 0.725. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен 0.817.

Обсуждение результатов

При описании специфики групп регионов, близких в метрике (3) по структуре сильных секторов, мы будем проводить их сопоставление с кластерами регионов, представленными в работе (Aivazian, Afanasyev, Kudrov, 2016). На основе авторского подхода по данным об отраслевой структуре ВРП регионы были разделены на пять кластеров: 1) «равномерно развитые», 2) «добывающие», 3) «обрабатывающие», 4) «сельскохозяйственные», 5) «развивающиеся». Номер кластера указан для каждого региона в столбце 3 таблицы 3. Взаимосвязь состава групп экономической сложности и состава кластеров можно проследить, сравнивая данные о принадлежности к ним регионов, указанные в столбцах 3 и 8 таблицы 3. Практически все (11 из 12) «обрабатывающие» регионы вошли в первые 5 групп с наибольшими оценками экономической сложности. Почти все (9 из 11) «добывающие» регионы вошли в последние три группы с наименьшими оценками экономической сложности. Большинство (6 из 8) «развивающихся» регионов вошли в восьмую группу. Еще два «развивающихся» региона – в группах с меньшими оценками экономической сложности. Большинство (6 из 11) «сельскохозяйственных» регионов находятся в 2,3,4 и 5 группах сложности.

Таблица 3. Структуры сильных секторов и оценки экономической сложности

Наименование столбцов:

- (1) - № региона в упорядочении, используемом Росстатом,
- (2) – название региона,

- (3) – номер кластера региона по структуре ВРП,
 (4) – число сильных секторов региона,
 (5) – индекс экономической сложности,
 (6) – коэффициенты корреляции траектории ВРП и технической эффективности,
 (7) – коэффициенты корреляции для контрольной группы.
 (8) – номер группы региона по структуре сильных секторов,
 (9) – коды и названия сложных секторов всех регионов только этой группы, коды секторов всех регионов группы, коды (курсивом) секторов всех кроме одного регионов группы.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Белгородская область	1	24	0.920	0.774		1	1170 производство металлургическое и производство готовых металлических изделий; 1175 производство чугуна, стали и ферросплавов; 1135 производство бумаги и бумажных изделий; 1020, 1100, 1110, 1165, 1250; 1090. 1255, 1261, 1420.
22	Вологодская область	3	25	0.786	0.768			
9	Липецкая область	3	36	0.662	0.932			
33	Волгоградская область	1	17	0.707	0.968		2	1160 производство резиновых и пластмассовых изделий; 1200 литье металлов; 1020, 1165, 1261, 1305; 1400, 1410, 1420.
13	Смоленская область	1	31	0.388	0.79			
11	Орловская область	1	30	0.608	0.198	0.367		
54	Саратовская область	1	21	0.329	-0.017	0.072		
16	Тульская область	3	34	0.409	0.985			
59	Челябинская область	3	35	0.727	0.912			
57	Свердловская область	3	30	0.674	0.032	-0.053		
3	Владимирская область	3	37	0.771	0.936		3	1125 производство кожи и изделий из кожи; 1095, 1203, 1250; 1100, 1110, 1255, 1261, 1400.
4	Воронежская область	4	34	0.652	0.896			
34	Ростовская область	4	33	0.708	0.914			
12	Рязанская область	1	16	0.776	0.502			
38	Карачаево-Черкесская Республика	1	27	0.414	0.839			
2	Брянская область	1	31	0.542	0.514			
8	Курская область	1	22	0.686	0.167	0.144		
17	Ярославская область	3	25	0.453	0.603	0.554	4	1100 производство молочной продукции; 1020, 1130; 1400, 1410, 1420, 1430, 1440.
6	Калужская область	3	29	0.732	0.891			
41	Ставропольский край	4	23	0.553	0.221	0.084		
44	Республика Мордовия	1	20	0.599	-0.039	0.043		
43	Республика Марий Эл	1	31	0.507	0.17	0.303		
47	Чувашская Республика	1	40	0.569	0.633			
7	Костромская область	1	33	0.284	-0.303	-0.26		
70	Омская область	3	17	0.372	0.69			
52	Пензенская область	4	26	0.646	0.125	0.058		
29	Республика Адыгея	4	22	0.222	-0.566	-0.426		

55	Ульяновская область	1	25	0.324	-0.364	-0.309	5	1205 производство машин и оборудования; 1220; 1165.
42	Республика Башкортостан	3	17	-0.305	0.976			
50	Нижегородская область	3	24	0.739	0.454			
14	Тамбовская область	4	28	0.554	0.901			
76	Амурская область	1	17	0.095	0.848		6	1046 добыча и обогащение угля и антрацита; 1047 добыча и обогащение бурого угля; 1245 производство, передача и распределение электроэнергии; 1090, 1255, 1270, 1290, 1305, 1315, 1400, 1410.
65	Забайкальский край	1	19	0.113	0.711			
63	Республика Хакасия	1	22	0.470	-0.021	0.008		
68	Кемеровская область	2	20	0.630	0.989			
26	Новгородская область	3	32	0.092	0.614		7	1090 производство пищевых продуктов; 1020, 1315; 1025, 1100, 1250, 1261, 1263, 1280, 1285, 1290.
24	Ленинградская область	1	14	0.214	0.473			
5	Ивановская область	1	28	0.437	-0.015	-0.1		
31	Краснодарский край	4	27	-0.165	-0.599	-0.623		
64	Алтайский край	4	33	0.523	-0.57	-0.623		
27	Псковская область	4	35	0.423	-0.34	-0.216		
37	Кабардино-Балкарская Республика	1	17	0.452	0.779	0.757	8	1345 деятельность почтовой связи и курьерская деятельность; 1261, 1400, 1410, 1420; 1250, 1430, 1440.
62	Республика Тыва	5	17	0.130	0.917			
35	Республика Дагестан	5	19	0.286	0.137	-0.101		
39	Республика Северная Осетия — Алания	5	14	0.087	0.483			
30	Республика Калмыкия	5	14	0.442	0.05	0.049		
36	Республика Ингушетия	5	15	0.192	0.576	0.594		
40	Чеченская Республика	5	13	0.249	-0.029	-0.117	9	1030 рыболовство, рыбоводство; 1081 добыча полезных ископаемых (кроме угля, нефти, газа, железных руд и руд цветных металлов); 1305, 1315, 1340; 1255, 1261, 1400, 1410, 1420.
25	Мурманская область	1	17	0.216	0.933			
75	Хабаровский край	1	21	-0.341	0.553			
19	Республика Карелия	1	26	0.377	-0.075	0.012		
21	Архангельская область	2	20	0.043	0.326	0.371		
79	Еврейская автономная область	5	21	0.570	0.806	0.798	10	1120 производство текстильных изделий, одежды; 1140 деятельность полиграфическая
28	г. Санкт-Петербург	1	23	-1.497	-0.022	0.082		
10	Московская область	1	39	0.037	0.852			
69	Новосибирская область	1	39	0.358	0.925			
15	Тверская область	1	42	0.238	0.219	0.173		

49	Кировская область	1	35	0.638	-0.385	-0.308	и копирование носителей информации; 1110, 1203, 1220, 1430;
74	Приморский край	1	26	-0.094	0.868		
23	Калининградская область	1	15	-0.221	0.351	0.437	11 1215 производство автотранспортных средств, и прицепов; 1025; 1090, 1095, 1130, 1261, 1290.
46	Удмуртская Республика	2	15	-0.197	0.78		
56	Курганская область	4	26	0.542	-0.443	-0.472	
61	Республика Бурятия	4	25	0.215	0.783	0.735	
48	Пермский край	1	20	0.340	0.842		
32	Астраханская область	1	9	-2.436	0.899		12 1055 добыча сырой нефти и природного газа; 1084 предоставление услуг в области добычи нефти и природного газа.
51	Оренбургская область	2	6	-3.332	0.96		
67	Иркутская область	1	15	-0.053	0.953		
66	Красноярский край	1	15	-0.469	0.887		
53	Самарская область	1	15	-0.010	0.912		
20	Республика Коми	2	14	-0.749	0.973		
58	Тюменская область	2	8	-2.719	0.799		
71	Томская область	2	10	-1.384	-0.415	-0.439	
72	Республика Саха (Якутия)	2	11	-1.234	0.397		
45	Республика Татарстан	2	13	-0.524	0.434	0.367	
18	г. Москва	1	24	-4.510	0.361	-0.029	13 1398 деятельность административная и сопутствующие услуги; 1330 деятельность воздушного и космического транспорта; 1270 строительство; 1340; 1284, 1400.
73	Камчатский край	1	23	-0.231	0.463	0.437	
77	Магаданская область	1	23	-0.565	0.61	0.6	
80	Чукотский автономный округ	2	13	-0.620	-0.451	-0.353	
78	Сахалинская область	2	18	-3.403	0.596	0.571	
60	Республика Алтай	5	30	-0.663	0.623	0.659	

Можно сделать вывод, что результаты проверки не противоречат гипотезе. Однако, высокая корреляция оценок экономической сложности и взаимосвязи траекторий наблюдается только для девяти из тринадцати групп. В основном это группы регионов с сильными секторами машиностроения и обрабатывающей промышленности, а также добычи угля и руд металлов. Для двух групп: 4 и 7 при достаточно высоких оценках экономической сложности, оценки статистической взаимосвязи траекторий ВРП и траекторий технической эффективности малы. Как показано в (Aivazian, Afanasiev, 2020), регионы группы 4 специализируются в производстве молочной продукции. Регионы группы 7 — в производстве пищевых продуктов. Для двух групп 12 и 13 при низких оценках экономической сложности наблюдается сильная взаимосвязь траекторий. Регионы группы 12 специализируются в добыче нефти и природного газа. Регионы группы 13 — в административной деятельности, деятельности воздушного транспорта и строительстве. Таким образом, оценка уровня взаимосвязи траекторий определяется не только экономической сложностью, но и структурой сильных секторов группы.

Для обоснования корректности использования предпосылки 1, характеристики взаимосвязи траекторий проверены на устойчивость. Из всей совокупности регионов выбраны 26, у которых незначима взаимосвязь траектории ВРП и технической эффективности (эти оценки показаны курсивом в столбце 5 таблицы 3). К ним случайным образом добавлено 13 регионов, для которых коэффициенты корреляции траекторий выше 0.3. В результате сформирована контрольная группа из 39 регионов. Для этой контрольной группы построена производственная функция вида (1), получены оценки технической эффективности и построены соответствующие контрольные траектории технической эффективности. Постро-

ена линейная регрессия ранее рассчитанных коэффициентов корреляции траекторий 39 регионов контрольной группы из столбца 6 таблицы 3 приложения на новые коэффициенты корреляции из столбца 7 таблицы 3. В этой регрессии коэффициент при переменной равен 0.997 (стандартная ошибка 0.043, $R^2 = 0.935$). Можно сделать вывод, что слабая статистическая взаимосвязь траекторий ВРП и траекторий технической эффективности устойчива для контрольной группы регионов. Этот результат подтверждает правомерность предпосылки 1 и вывод о результатах проверки гипотезы 1.

Заключение

Результаты группирования регионов по структуре сильных секторов не противоречит ранее полученным авторами результатам кластеризации регионов по отраслевой структуре ВРП. Причем, «обрабатывающие» регионы входят в группы с наиболее высокими оценками экономической сложности. Экономическая сложность структуры сильных секторов «обрабатывающих» регионов выше, чем «сельскохозяйственных». Экономическая сложность структуры сильных секторов «сельскохозяйственных» регионов выше, чем «развивающихся». Экономическая сложность структуры сильных секторов «развивающихся» регионов выше экономической сложности структуры сильных секторов «добывающих» регионов. Группирование регионов по структуре сильных секторов позволяет уточнить особенности экономики регионов, ранее включенных в кластер «равномерно развитых». Структуры сильных секторов, характеризующие представленные в работе группы регионов, можно рассматривать как базисные при выборе приоритетных направлений и прогнозировании развития региональной экономики.

Выполнено группирование регионов РФ по структуре сильных секторов. Оценена статистическая взаимосвязь траекторий ВРП и траекторий технической эффективности производства для субъектов РФ. Для каждой группы регионов получена оценка взаимосвязи траекторий и оценка экономической сложности группы.

Получены результаты, не противоречащие гипотезе о том, что при достаточно высоких групповых оценках взаимосвязи траекторий и экономической сложности имеет место сильная корреляционная взаимосвязь этих оценок. При низких групповых оценках взаимосвязи траекторий, или низких групповых оценках экономической сложности, уровень взаимосвязи траекторий ВРП и траекторий технической эффективности зависит от структуры сильных секторов, определяющей специфику группы. Подтверждена устойчивость результатов для регионов контрольной группы.

Полученные результаты конкретизируют роль концепции экономической сложности в неоклассической экономической теории и теории производства. Прикладное значение результатов определяется возможностями их использования при решении задач проектного управления. Изменение структуры экономически сильных секторов региона, приводящее к усилению взаимосвязи траектории ВРП и траектории технической эффективности, может способствовать повышению темпов экономического роста и обеспечению устойчивого развития.

Литература:

1. Aivazian S. A., Afanasyev M. Yu., Kudrov A. A. (2016). Models of production potential and evaluation technological efficiency for the Russian Federation regions with account of production structure. *Economics and Mathematical Methods*, 52 (1), 28–44 (in Russian).
2. Aivazian S. A., Afanasyev M. Yu., Kudrov A. A. (2019). Integral indicator for quality of life conditions // *Digital-Economy*, 1(5). 43-56. (in Russian).
3. Aivazian S.A., Afanasiev M.Y., Rudenko V.A. (2017). Specification of a stochastic production function model in the extended class of stochastic frontier models // *Modeling of artificial Intelligence*, Vol. 4, №1, pp. 21-28.
4. Balassa B. (1965). Lafayrade Liberalization and “Revealed” Comparative Advantage // *The Manchester School*. Vol. 33. P. 99—123.
5. Coelho R., Hutzler S., Repetowicz P., Richmond, P. (2007): Sector analysis for a FTSE portfolio of stocks. *Physica A* 373, 615–626.
6. Hartmann D. (2017) Linking Economic Complexity, Institutions, and Income Inequality // *World Development* Vol. 93, pp. 75–93/
7. Hausmann R., Hidalgo C., Bustos S., Coscia M., Simoes A., Yildirim M.A. (2011). *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Pathsto Prosperity*. Cambridge: Center for International Development, Harvard University, MIT.
8. Hausmann R., Hwang J., & Rodrik D. (2006). What you export matters. *Journal of Economic Growth*, 12(1), 1–25.
9. Hausmann R., Klinger B. (2006). Structural Transformation and Patterns of Comparative Advantage in the Product Space. Ricardo Hausmann and Bailey Klinger CID Working Paper No. 128.
10. Hausmann R., & Rodrik D. (2003). Economic development as selfdiscovery. *Journal of Development Economics*, 72(2), 603–633
11. Hidalgo C. A., & Hausmann R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(26), 10570–10575.
12. Jung W.-S., Kwon O., Wang F., Kaizoji T., Moon H.-T., Stanley H. (2008): Group dynamics of the Japanese market. *Physica A*, 387, 537–542.

13. Kemp-Benedict E. (2014): An interpretation and critique of the method of reflections. MPRA Paper No. 60705, https://mpra.ub.uni-muenchen.de/60705/1/MPRA_paper_60705.pdf
14. Kruskal J. B. (1956): On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 7(1).
15. Kumbhakar S., Lovell K. (2004). *Stochastic frontier analysis*. Cambridge University Press.
16. Lee U., Kim S., Jung K.Y. (2006): Classification of epilepsy types through global network analysis of scalp electroencephalograms. *Phys. Rev. E, Stat. Nonlinear Soft Matter Phys.*, Issue 73, Vol. 4, 19-20.
17. Lyubimov I.L., Gvozdeva M.A., Kazakova M.V., K.V. Nesterova (2017). Economic Complexity of Russian Regions and their Potential to Diversify// *NEA Journal*, № 2 (34), с. 94–122 (in Russian).
18. Makarov V. L. (2010). *Social'nyj klasterizm. Rossijskij vyzov*. M.: Biznes Atlas (in Russian).
19. Meeusen W., van den Broeck, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions With Composed Error. *International Economic Review*, 18, 435-444.
20. Onnela J.-P.(2006): *Complex Networks in the Study of Financial and Social Systems*. Helsinki: Helsinki University of Technology.
21. Onnela J.-P., Chakraborti A., Kaski K., Kertesz J.(2002): Dynamic asset trees and portfolio analysis. *Eur.Phys.J.,B* 30, 285.
22. Stam C.J., Tewarie P., Van Dellen E., van Straaten E.C., Hillebrand A., Van Mieghem P. (2014): The trees and the forest: characterization of complex brain networks with minimum spanning trees. *Int. J. Psychophysiol.*, 92, 129–138.

Афанасьев Михаил Юрьевич — ЦЭМИ РАН, Москва; miafan@cemi.rssi.ru.

Кудров Александр Владимирович — ЦЭМИ РАН, Москва; kovlal@inbox.ru

Mikhail Afanasiev Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow; miafan@cemi.rssi.ru

Alexander Kudrov Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow; kovlal@inbox.ru

Ключевые слова

экономика региона, экономическая сложность, техническая эффективность

Mikhail Afanasiev, Alexander Kudrov, Analysis of the relationship between GRP trajectories and technical efficiency of regions, taking into account the concept of economic complexity and the structure of strong economic sectors

Keywords

mental model, or collective mental model, the mechanism of the coordination of the activities of digital and post-digital economy

DOI: 10.34706/DE-2020-03-02

JEL classification: C12; C51; R15.

Abstract

The problem of grouping regions according to the structure of strong sectors, identifying the features of the formed groups and assessing their economic complexity is considered. As an element of the structure of the region's economy, a strong sector is considered, the share of production is higher than for the Russian Federation as a whole. We used a metric that allows us to determine the proximity of any two regions by the structure of strong sectors. Using this metric, minimal covering trees are constructed that allow you to identify groups of regions with a similar structure of strong sectors. The structures identified in this way can be considered as the basic ones when choosing the directions of development of the RF subjects. The results obtained do not contradict the hypothesis that economic complexity affects the degree of statistical relationship between GRP trajectories and technical efficiency trajectories. This effect is observed for groups of regions that have fairly high group estimates of economic complexity and the relationship of trajectories. With low group estimates, the level of correlation between GRP trajectories and technical efficiency trajectories depends on the structure of strong sectors that determine the specifics of the group.