

УДК 338.24

## АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ КАК ФАКТОРА УСТОЙЧИВОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ НА ОСНОВЕ ЭКОСИСТЕМНОГО ПОДХОДА

**Евсеева М.В., Раменская Л.А.***Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург,  
e-mail: m.evseeva@inbox.ru, ramen\_lu@mail.ru*

В статье показано, что для сохранения динамической устойчивости экономическая система любого уровня должна стремиться к наращиванию своей структурной и функциональной сложности. Представлен оригинальный методический подход анализа функциональной сложности региональной экономической системы на основе оценки двух параметров – разнообразия технологий и локализации компаний – системных интеграторов. Методический подход базируется на использовании базовых количественных инструментов экосистемного подхода и иерархического представления технологий (системные, компонентные и базисные). Апробация методического подхода была проведена на примере двух субъектов Уральского федерального округа – Свердловской и Курганской областей. Период наблюдений 2007–2019 г. Информационная база исследования была сформирована на основе данных «СПАРК-Интерфакс» и включала 1305 предприятий обрабатывающей промышленности. Для каждого предприятия была выявлена основная реализуемая технология на основе развертки ОКВЭД-2. Курганская и Свердловская области характеризуются индустриальным типом экономики, но имеют существенную разницу в уровнях социально-экономического развития. Результаты апробации показали, что для Курганской области характерно незначительное разнообразие технологий, присутствует доминирование одной системной технологии, но при этом она не обеспечена компонентными технологиями, что означает слабую связность региональной промышленной экосистемы. Эти факты указывают на невысокий уровень устойчивости экономики субъекта, угрозу траекторной зависимости. Для Свердловской области наблюдается иная картина. Существенное разнообразие технологий, незначительное доминирование во всех группах технологий. Локализация системных интеграторов на территории региона создает существенный эффект в показателях выручки по сектору обрабатывающих производств. Наблюдается удовлетворительная связность экосистемы. Все это создает потенциал для сохранения устойчивости экономики региона.

**Ключевые слова:** устойчивость, функциональная сложность, экосистемный подход, технологии, промышленность

## ANALYSIS OF FUNCTIONAL COMPLEXITY AS A FACTOR OF SUSTAINABILITY OF THE REGIONAL ECONOMY BASED ON THE ECOSYSTEM APPROACH

**Evseeva M.V., Ramenskaya L.A.***Ural State University of Economic, Yekaterinburg, e-mail: m.evseeva@inbox.ru, ramen\_lu@mail.ru*

The article is devoted that in order to maintain dynamic stability, an economic system of any level must strive to increase its structural and functional complexity. An original methodological approach to analyzing the functional complexity of a regional economic system is presented based on an assessment of two parameters – a variety of technologies and localization of system integrators. The methodological approach is based on the use of basic quantitative tools of the ecosystem approach and the hierarchical representation of technologies (systemic, component and basic). Approbation of the methodological approach was carried out on the example of two subjects of the Ural Federal District – Sverdlovsk and Kurgan regions. The observation period is 2007-2019. The research information base was formed on the basis of SPARK-Interfax data and included 1305 industry enterprises. For each enterprise, the main implemented technology was identified based on the OKVED-2 disaggregation. Kurgan and Sverdlovsk regions are characterized by an industrial type of economy, but they have a significant difference in the levels of socio-economic development. The testing results is devoted that the Kurgan region is characterized by an insignificant variety of technologies, there is a dominance of one system technology, but at the same time it is not provided with component technologies, which means a weak connectivity of the regional industrial ecosystem. These facts indicate a low level of stability of the subject's economy, the threat of trajectory dependence. A different picture is observed for the Sverdlovsk region. A significant variety of technologies, insignificant dominance in all groups of technologies. The localization of system integrators in the region creates a significant effect in terms of revenue in the manufacturing sector. Satisfactory ecosystem connectivity is observed. All this creates the potential for maintaining the stability of the region's economy.

**Keywords:** sustainability, functional complexity, ecosystem approach, technology, industry

Современная ситуация такова, что на первый план выходят вопросы устойчивости экономических систем всех уровней – от мирового до локального. Устойчивость – это способность системы возвращаться в исходное состояние после внешних воздействий без изменения функ-

циональных характеристик. В основе динамической устойчивости любой системы лежит наращивание ее структурной сложности [1]. В работах Р. Хаусманна и К. Идальго структурная сложность рассматривается в двух направлениях – организационном и функциональном [2]. Функциональное

усложнение современных экономических систем обусловлено *усложнением технологий* производства товаров и услуг, их активной конвергенцией и высокой скоростью обновления. Организационное усложнение ассоциировано с развитием *сетевых взаимодействий* разнородных экономических агентов. По словам С.Г. Кирдиной-Чендлер, «в современной экономической практике возникает все больше явлений и феноменов, которые не вписываются ни в стандартную классификацию «рынков и иерархий», ни в дихотомию «микро-макро». Мы видим пространство институтов, сетевые структуры (блокчейны, технологические платформы и т.д.), гибридные формы, агломерации и т.д., взаимодействия между которыми все более усложняются» [3, с. 8].

Действительно, в современной бизнес-среде взаимодействия экономических агентов выходят за рамки горизонтальных отраслевых связей и вертикальных связей внутри технологической цепочки производства продукта. Этому способствует усложнение и конвергенция технологий, когда затраты на их разработку и поддержку настолько велики, что компании вынуждены объединять ресурсы, образуя тем самым многоуровневую сетевую структуру. Активная кастомизация производства, ставшая возможной благодаря расширению онлайн-каналов взаимодействия в цепочке «поставщик – производитель – потребитель» и развитию гибких производств (аддитивные технологии, интернет вещей), выводит потребителя из внешнего окружения компании и отдает ему роль ключевого участника производственного процесса. В наивысшей степени это реализовано в платформенных компаниях (Uber, Airbnb, Amazon и проч.). Потребитель становится одним из узлов сети создания ценности, активно воздействуя на все процессы производства и сервиса продуктов.

Таким образом, проблема сохранения устойчивости в современном мире усугубляется усложнением экономических систем. В ответ на это экономический анализ все больше склонен выделять в качестве первичного элемента анализа не отдельные предприятия, отраслевые рынки и регионы, а так называемые сложные адаптивные системы (complex adaptive systems, CAS). CAS – это сетевые сообщества, которые состоят из обособленных, но функционально связанных агентов. Для них характерны способность к самоорганизации и самообновлению без участия управляющего агента, адаптация друг под друга и под окружающую среду через сигналы обратной связи, эмерджентность поведения [4]. Естественно предположить, что для исследования

этих сложных систем необходим инструментарий, отличный от применяемого в неоклассическом анализе.

В статье мы обращаемся к вопросу функционального усложнения экономической региональной системы как фактора ее динамической устойчивости. Мы рассматриваем регион как сложную экосистему, состоящую из совершенно разнородных элементов, но функционирующих согласованно в едином пространстве, формируемом природными, ресурсными и институциональными факторами. Цель статьи – обоснование и развитие методического инструментария анализа функциональной сложности региональной системы на основе экосистемного подхода.

### Материалы и методы исследования

Функциональное усложнение экономической системы, как было указано выше, связано с объективными тенденциями возрастающей сложности технологий, их активной конвергенцией и быстрым обновлением.

Все технологии можно условно разделить на три группы: базисные, компонентные и системные. Базисные технологии – это технологии производства материалов и иных веществ. Компонентные технологии – это технологии производства комплектующих, отдельных узлов агрегатов и механизмов, которые сами по себе не являются продуктом конечного потребления. Системная технология интегрирует компонентные технологии для производства конечного для использования потребителями продукта путем создания конструктивно сложных механизмов, машин, аппаратов. Примером реализации системной технологии может служить пассажирский самолет, компонентной технологии – авиационный турбинный двигатель, базисной технологии – сплав для изготовления лопатки турбины авиационного двигателя [5].

С учетом этого можно предположить, что функциональная сложность региональной экономики определяется локализацией на ее территории компаний – носителей системных технологий, так называемых системных интеграторов.

Именно на этой предпосылке построен гарвардский индекс экономической сложности стран мира [6], расчет которого основан на оценке экспортной корзины, отражающей то, какие ресурсы и технологии используются для производства товаров. Высокое значение индекса сложности показывает, что экономика производит большое количество технологически сложных продуктов.

Компании – системные интеграторы, как правило, создают наибольшую по промыш-

ленному сектору добавленную стоимость и во многом определяют производственную специализацию территории, поскольку для обеспечения реализуемой системной технологии мультипликативно развиваются компонентные технологии. Развитие же базисных технологий, в первую очередь, обусловлено наличием и характером минерально-ресурсной базы территории.

Однако зачастую территории, имеющие узкую технологическую специализацию, попадают в так называемую траекторную зависимость развития от сочетания ранее сложившихся условий (path dependence). В чрезвычайно турбулентной среде этот факт может стать основным дестабилизирующим фактором и спровоцировать выход системы из устойчивого состояния. Многими исследователями отмечается необходимость поддержания баланса между технологической специализацией территории и разнообразием применяемых промышленными производствами технологий [7; 8].

Исходя из этого, мы делаем вывод, что *функциональная сложность региональной экономики есть функция двух аргументов – разнообразия технологий, реализуемых региональными компаниями, и локализации на территории региона компаний – носителей системных технологий (системных интеграторов)*. Устойчивость экономики территории обусловлена возможностью встраивания в большее число глобальных технологических цепочек, проявлением эффекта диверсификации (территория сохраняет устойчивость в условиях, если продукция отдельной технологии оказывается невостребованной) и снижением вероятности траекторной зависимости.

Для конструирования методического инструментария исследования функциональной сложности региональной экономики мы используем экосистемный подход.

Методология экосистемного подхода базируется на идее, что ни один экономический агент, институт или структура не развиваются изолированно от среды, формируемой ими и другими участниками. Рост популярности экосистемного подхода обусловлен углублением взаимосвязей и взаимозависимости между отдельными организациями, которое явилось следствием следующих предпосылок:

- появление и широкое развитие ряда цифровых технологий привело к тому, что данные становятся ключевым активом бизнеса [9];
- рост турбулентности окружения компании, сделавший неэффективными индивидуальными конкурентными стратегиями [10];
- увеличение требований к окружающей организации. Например, появление

«умной» фабрики – центрального объекта инфраструктуры четвертой промышленной революции (Industry 4.0) невозможно без наличия «умного» окружения – инфраструктурных сетей, логистики, зданий, оснащенных датчиками и обменивающимися друг с другом данными посредством интернета вещей) [11];

– трансформация рынков по причине изменения клиентских предпочтений в направлении замены владения товаром покупкой услуги, удовлетворяющей ту же потребность. Это проявляется в появлении различных сервисных концепций, например «инфраструктура как сервис» (IaaS), «программное обеспечение как сервис» (SaaS). Эта тенденция требует высокой степени согласованности между отдельными организациями на всех этапах создания ценности для клиента: от создания продукта до его обслуживания в течение всего срока эксплуатации, что может проявляться в унификации и стандартизации ряда бизнес-процессов компании.

Дж. Тис убежден, что в ландшафте современной бизнес-среды концепция экосистем в скором времени заменит отрасль в качестве основного объекта анализа на мезоуровне [12].

В качестве базового для нашего исследования мы используем определение экосистемы как устойчивой популяции взаимодействующих предприятий, инвестиционных проектов и процессов, инфраструктурных образований и т.п., обеспечивающих неограниченное функционирование экосистемы в условиях данной пространственно-временной локализации [13, с. 240].

Инструменты экосистемного подхода включают качественные и количественные методы. Первая группа охватывает анализ таких характеристик экосистемы, как локализация, возможность входа, институциональная инфраструктура, участники и их роли, степень центричности, стадия жизненного цикла. В группе количественных методов выделяют два направления анализа экосистем. В рамках первого направления изучаются свойства экосистем, реплицированные из биоэкологии – разнообразие, изменчивость, связность [14; 15]. Второе направление связано с сетевой природой экосистем и представлено такими свойствами экосистем, как плотность и теснота связей [8].

Мера разнообразия считается фактором устойчивости экосистемы. Сетевые структуры постоянно трансформируются [16], разнообразие и изменчивость являются основными факторами, элиминирующими проявление эффекта колеи (path dependence).

Для целей нашего исследования мы применили наиболее распространенные показатели меры разнообразия – индекс Шеннона и индекс Симпсона. Индекс Шеннона характеризует разнообразие и выравненность сообщества, индекс Симпсона является мерой доминирования, чувствительной к наиболее распространенным видам. Считается, что сочетание этих индексов наиболее полно характеризует меру разнообразия.

Индекс Шеннона:

$$H = - \sum_{i=1}^n \left( \frac{p_i}{P} * \ln \frac{p_i}{P} \right). \quad (1)$$

Индекс Симпсона:

$$D = \frac{\sum p_i(p_i - 1)}{P(P - 1)}, \quad (2)$$

где  $p_i$  – количество фирм-носителей  $i$ -й технологии,  $P$  – общее количество фирм,  $n$  – количество технологий.

Полагаем, что чем больше в промышленном секторе региона технологий и чем меньше различаются количества фирм-носителей этих технологий, тем выше индекс Шеннона. При незначительном разнообразии технологий индекс Шеннона стремится к 0. Чем сильнее выражено доминирование какой-либо технологии, что отражается в количестве фирм-носителей, тем выше индекс Симпсона. При равномерном распределении количеств фирм-носителей технологий индекс Симпсона стремится к 0.

Методический подход к анализу функциональной сложности региональной экономики состоит из следующих этапов.

1. Сбор данных о технологиях, реализуемых на территории региона. В рамках данного этапа предполагается сформировать выборку компаний – носителей технологий. Это возможно осуществить путем дезагре-

гации видов экономической деятельности по ОКВЭД-2 на обособленные технологии. Например, вид деятельности «Производство металлургическое» (код 24 по ОКВЭД-2) делится на 5 обособленных технологий, три из которых («Производство чугуна, стали и ферросплавов», «Производство основных драгоценных металлов и прочих цветных металлов, производство ядерного топлива», «Литье металлов») относятся к группе базисных технологий, а две («Производство стальных труб, полых профилей и фитингов», «Производство прочих стальных изделий первичной обработкой») – к группе компонентных технологий. Далее с использованием базы «СПАРК-Интерфакс» необходимо сформировать выборку компаний, основная деятельность которых связана с реализацией той или иной технологии. Таким образом, генеральная выборка компаний для исследования функциональной сложности региональной экономики структурируется по трем уровням технологий – системные, компонентные и базисные.

2. Расчет показателей разнообразия по формулам 1 и 2. Оценка количества компаний – системных интеграторов.

3. Интерпретация данных может быть проведена путем матрицирования соотношений индексов разнообразия (рис. 1).

### Результаты исследования и их обсуждение

Апробация представленного методического подхода была проведена в двух субъектах Уральского федерального округа – в Свердловской и Курганской областях. Природно-климатические условия, близость к минерально-ресурсной базе, казалось бы, формируют идентичные векторы развития. Но рейтинг социально-экономического развития свидетельствует об обратном: Свердловская область занимает 7-е место, а Курганская – 75-е [17].

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
| Индекс Симпсона (1/D) | Разнообразие слабо выражено. Угроза неустойчивости. | Разнообразие хорошо выражено. Устойчивая система.                                       |
|                       | Разнообразие не выражено. Угроза неустойчивости.    | Разнообразие хорошо выражено, но есть доминирование технологий. Угроза path dependence. |
|                       | 0   | ∞   |
|                       | Индекс Шеннона (H)                                  |   |

Рис. 1. Матрица разнообразия технологий региональных экономических систем



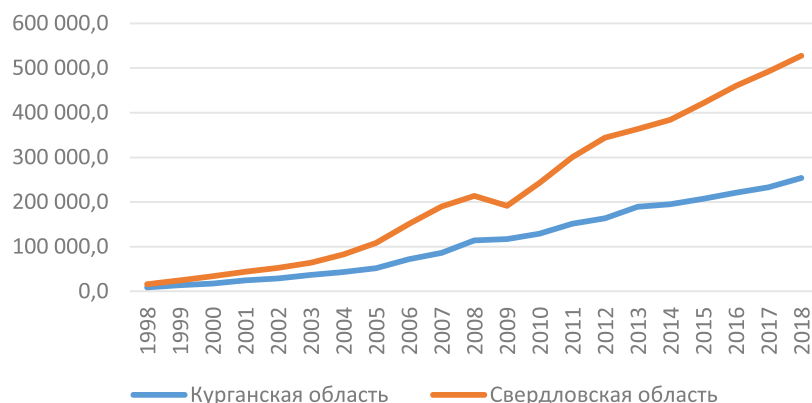


Рис. 2. Валовая добавленная стоимость на душу населения Свердловской и Курганской областей, руб. (в основных текущих ценах)

Таблица 1

Параметры выборки

| Показатель  | Курганская область | Свердловская область |
|---|--------------------|----------------------|
| Генеральная совокупность компаний, шт.                | 290                | 1673                 |
| Количество компаний в выборке, шт.                    | 182                | 1123                 |
| Доля по выручке на агрегированном отраслевом рынке, % | 81,5               | 83,0                 |
| Количество выявленных базисных технологий             | 8                  | 37                   |
| Количество выявленных компонентных технологий         | 26                 | 101                  |
| Количество выявленных системных технологий            | 8                  | 18                   |
| Всего технологий                                      | 42                 | 152                  |

Таблица 2

Показатели разнообразия технологий Свердловской и Курганской областей

| Год  | Свердловская область |                 | Курганская область |                 |
|------|----------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
|      | Индекс Шеннона       | Индекс Симпсона | Индекс Шеннона     | Индекс Симпсона |
| 2007 | 5,01                 | 0,112           | 3,58               | 0,21            |
| 2010 | 4,89                 | 0,110           | 3,57               | 0,25            |
| 2013 | 5,16                 | 0,110           | 3,51               | 0,24            |
| 2016 | 5,37                 | 0,092           | 3,39               | 0,27            |
| 2019 | 5,81                 | 0,084           | 3,33               | 0,28            |

Мы предприняли попытку посмотреть на различия в демонстрируемых уровнях развития в контексте функциональной сложности экономик этих субъектов.

Источником формирования выборки компаний для исследования послужила система «СПАРК-Интерфакс». В выборку включались действующие компании обрабатывающей промышленности со среднесписочной численностью не менее 10 человек (табл. 1). Период наблюдений – 2007–2019 гг. Также были получены показатели выручки компаний за исследуемый период.

Результаты измерения показателей разнообразия технологий представлены в табл. 2.

Результаты расчетов демонстрируют в целом ожидаемые результаты. Свердловская область характеризуется более высоким разнообразием технологий. Динамика функционального усложнения разнонаправленна: в Курганской области наблюдается сужение разнообразия и усиление доминирования технологий, в Свердловской области наблюдаем противоположную картину.

Расположив результаты расчетов на матрице (рис. 1), видим, что Курганская область попала в левый нижний квадрант, а Свердловская область – в верхний правый квадрант. Таким образом, для Курганской области можно констатировать угрозу неу-

стойчивости из-за низкой функциональной сложности экономики.

По второму аргументу – локализации компаний – системных интеграторов, можно наблюдать следующую картину.

В Курганской области в группе системных технологий наибольший вес имеет «Производство военных боевых машин», носителем которой является крупнейшее предприятие региона ПАО «Курганмашзавод». В группе компонентных технологий доминирующими являются технологии «Производство арматуры трубопроводной», «Обработка металлических изделий механическая», «Производство строительных металлических конструкций и изделий». В данном случае гипотеза о том, что наличие системной технологии стимулирует развитие релевантных ей компонентных технологий, не подтверждается. Это является косвенным признаком того, что региональная экосистема Курганской области не обладает достаточным уровнем связности, что указывает на возможные проблемы с сохранением устойчивости.

На территории Свердловской области реализуется 18 системных технологий, при этом системные интеграторы формируют более 40% выручки генеральной совокупности компаний обрабатывающей промышленности. Во всех группах технологий практически нет доминирующих, что говорит о незначительной угрозе траекторной зависимости. Связность региональной экосистемы Свердловской области находится на удовлетворительном уровне – региональные системные интеграторы на 70% обеспечены комплектующими, произведенными на региональных предприятиях. Эти факты позволяют говорить о достаточно высоком потенциале сохранения устойчивости региональной экономики.

### Заключение

В статье представлен оригинальный авторский метод оценки функциональной сложности региональной экономики, позволяющий выявлять потенциал неустойчивости системы. Для реализации метода был использован экосистемный подход, в частности показатели разнообразия. Показано, что индикаторами функциональной сложности могут выступить разнообразие технологий и локализация компаний – системных интеграторов на территории региона. Оценка доминирования технологий позволяет выявить риск траекторной зависимости региональной экономической системы, что также является фактором неустойчивости.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Свердловской*

*области в рамках научного проекта № 20-410-660032 п.а. «Инновационно-технологическое развитие промышленности региона в контексте трансформации архитектуры бизнеса и управленческих технологий, продуцирующих знания и общие ценности: институциональный и стейкхолдерский аспекты».*

### Список литературы

1. Arthur W.B. Complexity and the Economy. Science. 1999. No. 284 (5411). P. 107–109.
2. Hidalgo C.A., Hausmann R. The building blocks of economic complexity. CID Working Paper. 2009. No. 186. P. 10570–10575. Harvard Kennedy School, Harvard University.
3. Кирдина-Чэндлер С.Г. Мезоэкономика и экономика сложности: актуальный выход за пределы ортодоксии // Journal of institutional studies. 2018. Т. 10. № 3. С. 6–17. DOI: 10.17835/2076-6297.2018.10.3.006-017.
4. Смородинская Н.В., Катуков Д.Д. Когда и почему региональные кластеры становятся базовым звеном современной экономики // Балтийский регион. 2019. Т. 11. № 3. С. 61–91. DOI: 10.5922/2079-8555-2019-3-4.
5. Zhang G., Allaire D., Shankar V., McAdams D.A. A case against the trickle-down effect in technology ecosystems. PLoS ONE. 2019. No. 14(6): e0218370. DOI: 10.1371/journal.pone.0218370.
6. Atlas of Economic Complexity. [Electronic resource]. URL: <https://atlas.cid.harvard.edu/rankings/> (date of access: 10.08.2020).
7. Бойко И.В. Пространственная и технологическая диверсификация российской экономики // Управленческое консультирование. 2018. № 6. С. 68–76. DOI: 10.22394/1726-1139-2018-5-68-76.
8. Crespo J., Balland P.-A., Boschma R., Rigby D. Regional Diversification Opportunities and Smart Specialization Strategies. Publications Office of the European Union. 2017. 28 p.
9. Срничек Н. Капитализм платформ. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. 128 с.
10. D'Aveni R.A., Dagnino G.B., Smith K.G. The age of temporary advantage. Strategic Management Journal. 2010. Vol. 31(13). P. 1371–1385.
11. Kagermann H., Helbig J., Hellinger A., Wahlster W. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. [Electronic resource]. URL: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> (date of access: 10.08.2020).
12. Teece D.J. Dynamic capabilities and (digital) platform lifecycles. Entrepreneurship, Innovation, and Platforms, Advances in Strategic Management. 2017. Vol. 37. P. 227–297.
13. Клейнер Г.Б. Гуманистический менеджмент, социальный менеджмент, системный менеджмент – путь к менеджменту XXI века // Российский журнал менеджмента. 2018. № 16 (2). С. 231–252.
14. Harrington K. Entrepreneurial ecosystem momentum and maturity the important role of entrepreneur development organizations and their activities. Kauffman Foundation. 2017. 34 p.
15. Stangler D., Bell-Masterson J. Measuring an entrepreneurial ecosystems. Kauffman Foundation. 2015. 67 p.
16. Антропов В.А., Мезенцев Е.М. Развитие понятийно-терминологического аппарата функционирования сетевых структур // Известия Уральского государственного экономического университета. 2015. № 2(58). С. 23–29.
17. Рейтинг социально-экономического положения субъектов РФ. Итоги 2019 года [Электронный ресурс]. URL: [http://vid1.rian.ru/ig/ratings/rating\\_regions\\_2020.pdf](http://vid1.rian.ru/ig/ratings/rating_regions_2020.pdf) (дата обращения: 10.08.2020).