

# Синергия и цикличность региональных инновационных систем: пример Норвегии

**Инга Иванова**

Научный сотрудник, Институт статистических исследований и экономики знаний, inga.ivanova@hse.ru

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),  
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20

**Ойвинд Стрэнд**

Профессор, Департамент международного бизнеса (Department of International Business), oivind.strand@ntnu.no

Норвежский университет естественных и технических наук (Norwegian University of Science and Technology, NTNU  
Ålesund), Олесунн, Норвегия, PO Box 1517, 6025 Aalesund, Norway

**Лут Лейдесдорфф**

Профессор, Амстердамская школа исследований коммуникаций (Amsterdam School of Communications  
Research, ASCoR), loet@leydesdorff.net

Университет Амстердама (University of Amsterdam), Нидерланды,  
PO Box 15793, 1001 NG Amsterdam, The Netherlands

## Аннотация

**И**нновационный потенциал любой системы может быть описан как синергетический эффект, возникающий из взаимодействия ее компонентов. Синергию можно считать следствием отрицательной энтропии трех частей системы. В статье анализируется динамика величины этого эффекта применительно к инновационной системе Норвегии в терминах взаимной информации в географическом и отраслевом измерениях, а также в зависимости от размеров компаний. Для измерений применены три методики: анализ временных рядов с использованием показателя Хёрста (R/S-анализ), дискретное преобразование Фурье и географическое

разложение синергии. В расчетах использовались данные Статистической службы Норвегии обо всех зарегистрированных норвежских фирмах за период 2002–2014 гг. Результаты показывают, что синергетический эффект как на общенациональном уровне, так и в каждом из семи регионов страны носит нехаотический колебательный характер, резонирующий в пределах естественного диапазона частот. Выявление набора таких частот демонстрирует сложную структуру тройной спирали, которая включает в себя множество элементарных тройных спиралей, теоретически описываемых в терминах фрактального многообразия.

### Ключевые слова:

тройная спираль; база знаний; инновации; синергия; циклы; региональная инновационная система; регионы Норвегии

**Цитирование:** Ivanova I., Strand Ø., Leydesdorff L. (2019) The Synergy and Cycle Values in Regional Innovation Systems: The Case of Norway. *Foresight and STI Governance*, vol. 13, no 1, pp. 48–61. DOI: 10.17323/2500-2597.2019.1.48.61

С о времен Йозефа Шумпетера (Joseph Schumpeter) [Schumpeter, 1939], Саймона Кузнецца (Simon Kuznets) [Kuznets, 1930] и Николая Кондратьева [Kondratieff, 1935] циклическое поведение экономических переменных пользуется повышенным вниманием исследователей. Шраван Лукраз (Shravan Luckraz) [Luckraz, 2013], проанализировавший инновационные циклы в конечной дискретной игре, симулирующей процесс исследований и разработок, пришел к выводу, что цикличность возникает из стратегического взаимодействия фирм. Базовые инновационные [de Groot, Franses, 2008, 2009] и более общие циклы изучались в работах голландских исследователей Берта де Гроота (Bert de Groot) и Филип-Ханса Франсеса (Philip Hans Franses) [de Groot, Franses, 2012], констатиовавших существование набора универсальных циклов, которым подчинены многие социально-экономические переменные.

Региональные аспекты бизнес-циклов были исследованы Робертом Диксоном (Robert Dixon) и Дэвидом Шепардом (David Shepherd) [Dixon, Shepherd, 2001, 2013]. Распределив данные по трендам, циклам и шумам, они смогли объяснить сходные характеристики циклов спецификой региональных отраслевых структур и размерами территорий. Для анализа использовались различные методы, в частности авторегрессионные модели роста [Hodrick-Prescott, 1997] и частотные фильтры [Dixon, Shepherd, 2013]. К рассмотрению цикличности природных процессов применялись методы фрактальной статистики и анализа временных рядов (*rescaled range analysis*, R/S-анализ) [Feder, 1988; Frøyland, 1992], разработанные для измерения экономических колебаний под влиянием различных региональных факторов. В статье проверяется гипотеза о совпадении динамики синергетического эффекта с бизнес-циклами; другими словами, рассматривается вопрос о том, могут ли бизнес-циклы включать синергетическую компоненту?

Существующие исследования не учитывают синергетического эффекта экономических взаимодействий, однако если его динамика окажется циклической, то его можно будет признать одним из факторов колебаний в экономике. В настоящей статье рассматриваются следующие вопросы: как возникает и какие изменения претерпевает синергетический эффект? Можно ли анализировать его с точки зрения трендов, хаотичной, колебательной и иных функциональных зависимостей? Влияет ли величина синергического эффекта на его динамику? Что отличает сильный синергический эффект от слабого? Можно ли предложить способы его измерения?

## Синергетический эффект в инновационных системах

В нескольких предпринятых нами ранее исследованиях мы определили синергию системы тройной спирали

(*triple helix*, TH) как снижение неопределенности с использованием взаимной информации по трем измерениям — размер фирм, их технологические базы знаний и географическое местоположение<sup>1</sup> — и построили карты ее территориального распределения. Однако на основе одних только статистических данных невозможно оценить динамику синергетического эффекта во времени или его величину в рамках системы. Кроме того, системы тройной спирали не могут быть статическими [Etzkowicz, Leydesdorff, 2000], поскольку находятся в постоянном развитии, которое может способствовать как росту, так и снижению неопределенности. Но меняется ли сама возникающая в таких системах синергия?

Инновационный потенциал системы можно представить как синергетический эффект, возникающий в результате взаимодействия ее компонентов. Снижение неопределенности взаимосвязи между ними предположительно способствует процветанию и даже росту социальных и биологических экосистем [Ulanowicz, 1986]. С этой точки зрения модель тройной спирали — взаимодействие университетов, промышленности и государства — служит специфическим примером инновационной системы.

Синергия представляет собой взаимодействие двух и более сторон, совокупный эффект которого превышает сумму индивидуальных вкладов. Условием возникновения этого эффекта выступают четкие и целенаправленные (взаимосвязанные) действия компонентов системы, что в терминах статистической механики означает рост уровня ее организованности и упорядоченности. Чем более упорядочена система, тем лучше организовано взаимодействие ее компонентов.

В качестве показателя упорядоченности системы по отношению к иным возможным ее состояниям (как фактически реализованным, так и потенциальным, или виртуальным) может выступать энтропия. Мерой упорядоченности может служить разница между актуальной и максимально возможной энтропией системы. Эту разницу можно увеличить либо путем снижения первой при сохранении последней в неизменном виде, либо через увеличение последней (расширение спектра виртуальных состояний системы) при неизменности фактической энтропии. Так, разработка машиностроительных технологий в XIX в. поглощала примерно 20% финансовых ресурсов. В XXI в. эта доля осталась неизменной, однако расширился спектр виртуальных вариантов: наряду с машиностроительными появились компьютерные, био-, нано- и другие технологии, что привело к росту упорядоченности экономики, ее гибкости, адаптивности и появлению новых конкурентных преимуществ.

В математической теории коммуникаций Шеннона [Shannon, 1948] информационно-теоретическая вероятностная энтропия определяется в соответствии с дефиницией, предложенной Больцманом [Boltzmann,

<sup>1</sup> Исследованиями были охвачены следующие страны: Нидерланды [Leydesdorff et al., 2006], Германия [Leydesdorff, Fritsch, 2006], Венгрия [Lengyel, Leydesdorff, 2011], Норвегия [Strand, Leydesdorff, 2013], Швеция [Leydesdorff, Strand, 2013], Япония [Leydesdorff, Yan Sun, 2009], Южная Корея [Kwon et al., 2012], Западная Африка [Mègnigbèto, 2013], Китай [Ye et al., 2013; Leydesdorff, Zhou, 2014] и Россия [Leydesdorff et al., 2015].

1974]. Коммуникация подсистем порождает новые варианты их взаимодействия (они могут быть измерены как взаимная информация) и способствует снижению неопределенности во всей системе, чем и измеряется величина синергетического эффекта<sup>2</sup>, которая может быть представлена в виде числа отрицательных битов информации с помощью формулы Шеннона [Abramson, 1963; Theil, 1972; Leydesdorff, 1995]<sup>3</sup>.

В нашей статье энтропийный подход служит для измерения инновационной системы Норвегии за период 2004–2014 гг. Использование данных за десять лет позволяет получить представление о временной динамике синергии. Универсальность подхода позволяет приложить применяемый метод к любой системе, удовлетворяющей критерию наличия трех и более аналитически независимых компонентов.

## Методология и исходные данные

### Методология

Взаимодействие двух компонентов системы можно количественно описать с помощью математической теории коммуникаций Шеннона через измерение взаимной информации как меры снижения неопределенности на системном уровне. В случае взаимодействия трех компонентов взаимная информация в конфигурации по аналогии с двумя компонентами может быть определена следующим образом [Abramson, 1963; McGill, 1954]:

$$T_{\Sigma} = H_1 + H_2 + H_3 - H_{12} - H_{13} - H_{23} + H_{123}, \quad (1)$$

где:  $H_i, H_{ij}, H_{ijk}$  — показатели вероятностной энтропии в одном, двух и трех измерениях:

$$\begin{aligned} H_i &= -\sum_i p_i \log_2 p_i, \\ H_{ij} &= -\sum_{ij} p_{ij} \log_2 p_{ij}, \\ H_{ijk} &= -\sum_{ijk} p_{ijk} \log_2 p_{ijk}. \end{aligned} \quad (2)$$

Значения  $p$  представляют вероятности, которые можно определить как соответствующие частотные распределения:

$$p_i = n_i/N; p_{ij} = n_{ij}/N; p_{ijk} = n_{ijk}/N, \quad (3)$$

где:  $N$  — общее число событий;  $n_i, n_{ij}, n_{ijk}$  — число событий в соответствующих компонентах. Например, если  $N$  — общее число фирм, то  $n_{ijk}$  — число фирм в  $i$ -ом округе  $j$ -го организационного уровня (в зависимости от

численности персонала), относящихся к  $k$ -й технологической группе. В этом случае  $n_i$  и  $n_{ij}$  могут быть рассчитаны по формуле:

$$n_i = \sum_{jk} n_{ijk}; n_{ij} = \sum_k n_{ijk}. \quad (4)$$

Множество значений взаимной информации за определенный период (принятый за конечный временной интервал) можно проанализировать с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ) [Analog Devices, 2000]:

$$T_{\Sigma} = \sum_{l=0}^{L/2} F_l(w), \quad (5)$$

где:

$$F_0 = A; F_l(w) = B_l \cos(2\pi lw/L) + D_l \sin(2\pi lw/L). \quad (6)$$

Само по себе разложение Фурье не дает информации о динамике синергии за исключением значений спектральных коэффициентов  $A, B_l$  и  $D_l$ . Поскольку агрегированный (национальный) синергетический эффект  $T_{\Sigma}$  определяется аддитивными показателями энтропии (формула (1)), его можно представить в виде суммы частных (региональных) синергетических эффектов  $T_1, \dots, T_n$ <sup>4</sup>:

$$T_{\Sigma} = T_1 + T_2 + \dots T_n. \quad (7)$$

Таким образом, каждый частичный синергетический эффект может быть также представлен в сходном с формулой (5) виде:

$$T_1 = \sum_{l=0}^{L/2} f_{1l}(w); T_2 = \sum_{l=0}^{L/2} f_{2l}(w) \dots T_L = \sum_{l=0}^{L/2} f_{Ll}(w), \quad (8)$$

где:

$$f_{0l} = a_{0l}; f_{nl}(w) = b_{nl} \cos(2\pi lw/L) + d_{nl} \sin(2\pi lw/L).$$

Подставив формулы (5) и (8) в (7) и перегруппировав члены, получаем:

$$F_l(w) = f_{1l}(w) + f_{2l}(w) + \dots + f_{nl}(w). \quad (9)$$

В работе [Ivanova, Leydesdorff, 2014a] показано, что взаимная информация в трех измерениях равна взаимной избыточности ( $T_{123} = R_{123}$ ). Суммарную избыточность можно представить в виде суммы частных избыточностей, соответствующих географическому, структурному или технологическому измерению изучаемой инновационной системы. Взаимная избыточность информации меняется во времени, поэтому может быть описана так:

$$R_{123}(t) = R_1(t) + R_2(t) + \dots + R_n(t). \quad (10)$$

<sup>2</sup> Речь идет о показателе упорядоченности системы и эффекте, возникающем в результате взаимодействия ее компонентов.

<sup>3</sup> Проблема с применением формулы Шеннона к взаимодействию трех и более сторон связана с тем, что взаимная информация в этом случае становится конечно-аддитивной мерой [Yeung, 2008; Leydesdorff, 2010]. Отрицательный показатель информации не соответствует определению Шеннона [Krippendorff, 2009a, b]. Это противоречие снимается различением взаимной информации и взаимной избыточности информации [Leydesdorff, Ivanova, 2014]. Поскольку в трехмерной системе взаимная информация равна взаимной избыточности информации, первая может служить показателем синергетического эффекта систем тройной спирали (взаимодействия университетов, промышленности и государства) [Leydesdorff et al., 2014].

<sup>4</sup> Это разложение отличается от тех, которые мы использовали в предшествующих исследованиях [Leydesdorff, Strand, 2013; Strand, Leydesdorff, 2013].

Применительно к другому контексту [Ivanova, Leydesdorff, 2014b] рассматриваемая избыточность может быть выражена следующим образом ( $i = 1, 2 \dots n$ ):

$$R_i = a'_i + b'_i \cos(r_i t) + d'_i \cos(r_i t). \quad (11)$$

Осциллирующую функцию в формуле (11) можно считать собственной частотой системы тройной спирали. Однако эта собственная частота не соответствует наблюдаемым значениям избыточности для  $R_{123}$ . Полученные данные за определенный период времени можно проанализировать с помощью ДПФ, вычислив конечное множество частот. Каждую частоту в наборе, описываемым формулой (10), можно считать собственной частотой системы тройной спирали:

$$R_{123} = A + \sum_{k=1}^n (B_k \cos(kt) + D_k \sin(kt)). \quad (12)$$

Сопоставив формулы (12) и (11), трехмерную избыточность  $R_{123}$  можно эмпирически представить как сумму частичных избыточностей  $R_p$ , которые соответствуют частотам, кратным основной частоте:  $w, 2w, 3w \dots$  и т. п.

$$R_{123} = R_1 + R_2 + \dots + R_N. \quad (13)$$

Иными словами, система тройной спирали может быть описана как струна, резонирующая в наборе собственных частот с разными амплитудами. Соответствующие амплитуды  $C_i$ , определяемые как модули соответствующих коэффициентов Фурье, представляют спектральную структуру системы тройной спирали:

$$C_i = \sqrt{(B_i^2 + D_i^2)}. \quad (14)$$

Эти коэффициенты определяют относительный вклад гармонических функций с соответствующими частотами в совокупную избыточность ( $R_{123}$  в формуле (12)).

### Мощность передачи и эффективность

Мощность передачи синергии можно рассчитать по следующей формуле [Mégnybêto, 2014, p. 287]:

$$\tau = \begin{cases} \tau_1 = \frac{T_{GOT}}{H_{GOT} - H_G - H_O - H_T} & \text{if } T_{GOT} < 0, \\ \tau_2 = \frac{T_{GOT}}{H_{GOT}} & \text{if } T_{GOT} > 0, \\ 0 & \text{if } T_{GOT} = 0. \end{cases} \quad (15)$$

Этот показатель предназначен для измерения эффективности взаимной информации. Если под передачей понимается совокупный объем конфигурационной информации, то ее мощность отражает долю синергии в системе относительно ее размера. Для положительных значений речь идет о простом соотношении площади пересечения и общей площади на соответствующей диаграмме Венна. Отмечается, что «с помощью таких индикаторов можно отслеживать динамику одной системы и сравнивать разные системы друг с другом» [Mégnybêto, 2014, p. 290].

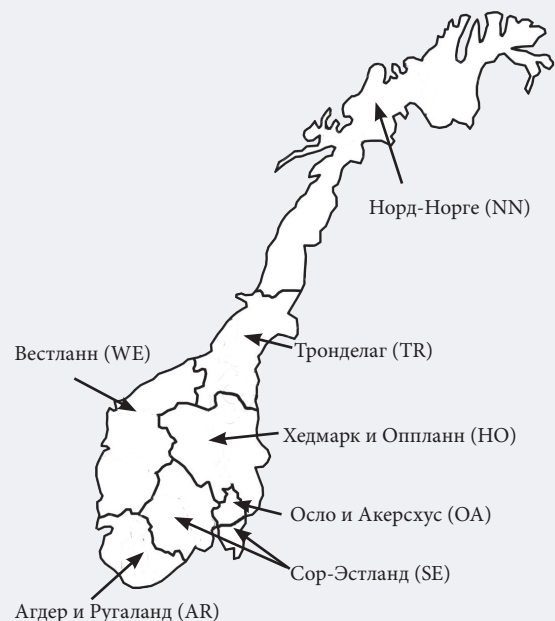
### Характеристика регионов Норвегии

В соответствии с Номенклатурой территориальных единиц для целей статистики (*Nomenclature des unites territoriales statistiques*, NUTS) Норвегия подразделена на 19 округов 3-го уровня (NUTS-3) и 7 регионов 2-го уровня (NUTS-2), представленных на рис. 1. В ходе нашего анализа мы оперировали ими как географическими частями страны.

Характеристики семи указанных регионов приведены в табл. 1. Данные о численности населения и количестве фирм предоставлены Статистической службой Норвегии (Statistics Norway) [Statistics Norway, 2015]. Наиболее населенным является столичный регион Осло и Акерсхус (ОА); население внутренних (Хедмарк и Оппланд (НО)) и северных (Норд-Норге (NN)) областей малочисленно, в них преобладают первичные отрасли промышленности. Нефтегазовая отрасль сосредоточена в Агдере и Ругаланде (АР) на юго-западе Норвегии с центром в Ставангере. В городе Тронхейме региона Тронделаг (ТР) расположены главный технический университет и несколько научно-исследовательских институтов, а также сельскохозяйственные районы — на севере. Регион Сор-Эстланд (СЕ) включает несколько округов с разнообразной отраслевой структурой. Вестланн (ВЕ) — центр судоходства и смежных отраслей промышленности.

В Региональном рейтинге инновационного развития (Regional Innovation Scoreboard) за 2015 г. [European Commission, 2015], ОА, ВЕ, ТР и NN определены как имитаторы инноваций (*innovation followers*), тогда как НО, СЕ и АР характеризуются как умеренные иннова-

Рис. 1. Норвежские регионы (уровень NUTS 2)



Источник: [https://en.wikipedia.org/wiki/Counties\\_of\\_Norway](https://en.wikipedia.org/wiki/Counties_of_Norway).

**Табл. 1. Характеристики норвежских регионов**

Регион	Статус в Региональном рейтинге инновационного развития за 2015 г.	Число фирм	Численность населения (чел.)	Синергический эффект тройной спирали (Мбит информации)
	(1)	(2)	(3)	(4)
Осло и Акерсхус (ОА)	Follower	132 262	1 232 575	-7.88
Хедмарк и Оппланн (НО)	Moderate	44 847	383 960	-9.58
Сор-Эстланд (СЕ)	Moderate	99 157	976 550	-18.06
Агдер и Ругаланд (АР)	Moderate	72 437	761 946	-14.05
Вестланн (ВЕ)	Follower	85 754	884 246	-22.10
Тронделаг (ТР)	Follower	45 131	445 785	-9.84
Норд-Норге (НН)	Follower	47 114	480 740	-15.94

*Источник:* составлено авторами по материалам [European Commission, 2015] (колонка 1), [Statistics Norway, 2015] (колонки 2 и 3), [Strand, Leydesdorff, 2013] (колонка 4).

торы. В табл. 1 отражен также синергический эффект тройной спирали, проанализированный на основе данных реестра за 2008 г. Максимальных значений он достигает в регионах WE и SE. Низкий уровень синергии отмечен в регионах OA, NO и TR. В AR и NN синергический эффект оценен как умеренный.

**Данные**

Отраслевая структура регионов сравнивалась с использованием специальной версии индекса несходства Кругмана (*Krugman index of dissimilarity*), адаптированной для расчетов показателей фирм [Krugman, 1991, 1993; Dixon, Shepherd, 2013].

Для каждого сектора промышленности *i* приводятся число фирм  $X_{Ai}$  в регионе A и  $X_{Bi}$  в регионе B, совокупные значения представлены показателями  $X_A$  и  $X_B$ . Различие промышленных секторов в этих двух регионах можно рассчитать следующим образом:

$$KID_{AB} = \sum_i \left( \left( \frac{X_{iA}}{X_A} \right) - \left( \frac{X_{iB}}{X_B} \right) \right). \tag{16}$$

Значение 0 показывает, что отраслевые структуры регионов одинаковы. Если структуры полностью несопадают, то индекс принимает значение 2.

Данные о норвежских фирмах, полученные из базы национальной статистической службы [Statistics Norway, 2015], представляют собой динамический ряд за период 2002–2014 гг. и охватывают порядка 400 тыс. фирм

в год. В частности, они содержат сведения о числе фирм по трем интересующим нас измерениям: географическому (G), организационному (O) и технологическому (T). Предприятия семи выделенных географических регионов (G) были организационно (O) разделены на восемь групп в зависимости от численности персонала: нет наемных работников; 1–4; 5–9; 10–19; 20–49; 50–99; 100–249; 250 и более работников. Предполагается, что штат работников отражает организационную структуру предприятия.

Технологическое измерение (T) характеризует сферу деятельности предприятия. Данные за период 2002–2008 гг. приведены в соответствии со Статистической классификацией видов экономической деятельности Европейского сообщества в версии 1.1 (*Nomenclature Statistique des activités économiques dans la Communauté européenne, NACE*) (NACE Rev. 1.1) [Eurostat, 2002], а за период 2009–2014 гг. — в соответствии с версией 2 (NACE Rev. 2) [Eurostat, 2008]. Некоторые критерии в новой классификации были скорректированы, однако полного совпадения между NACE Rev. 1.1 (17 разделов, 62 группы) и NACE Rev. 2 (21 раздел, 88 групп) нет [Eurostat, 2008]. Для того чтобы корректно объединить данные NACE Rev. 1.1 и NACE Rev. 2, необходимо использовать более высокий уровень агрегирования (табл. 2), включающий 10 классов [Eurostat, 2007].

**Результаты**

**Описательная статистика**

Региональная синергия рассчитывается как сумма соответствующих синергий на уровне округов с помощью уравнения (7). Оценки для национального уровня за период 2002–2014 гг. (в битах информации) представлены на рис. 2, для регионального — на рис. 3.

**Рис. 2. Сводная динамика синергии тройной спирали национального уровня в Норвегии (в битах информации)**



Табл. 2. Соответствие верхних уровней агрегирования в версиях 1.1 и 2.0 классификации NACE и версии 4 классификации ISIC\*

ISIC, Rev. 4*	NACE, Rev. 2	NACE, Rev. 1.1
1 1–5; 74.14; 92.72	A 1, 2, 5 Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство 1; 2; 5; 74.14; 92.72;	A 01 Сельское хозяйство, охота и предоставление услуг в этих областях 02 Лесное хозяйство, лесозаготовки и предоставление услуг в этих областях
		B 05 Рыболовство, рыбоводство и предоставление услуг в этих областях
2 10–41; 01.13; 01.41; 02.01; 51.31; 51.34; 52.74; 72.50; 90.01; 90.02; 90.03	B 10–14 Горнодобывающая промышленность и разработка карьеров 10–14	C CA 10 Добыча каменного угля, бурого угля и торфа CA 11 Добыча сырой нефти и природного газа; предоставление услуг в этих областях CA 12 Добыча урановой и ториевой руд CB 13 Добыча металлических руд CB 14 Добыча прочих полезных ископаемых
		D DA 15 Производство пищевых продуктов, включая напитки DA 16 Производство табачных изделий DB 17 Текстильное производство DB 18 Производство одежды; выделка и крашение меха DC 19 Производство кожи, изделий из кожи и производство обуви DD 20 Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели DE 21 Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них DE 22 Издательская и полиграфическая деятельность, тиражирование записанных носителей информации DF 23 Производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов DG 24 Химическое производство DH 25 Производство резиновых и пластмассовых изделий DI 26 Производство прочих неметаллических минеральных продуктов DJ 27 Металлургическое производство DJ 28 Производство готовых металлических изделий DK 29 Производство машин и оборудования DL 30 Производство офисного оборудования и вычислительной техники DL 31 Производство электрических машин и электрооборудования DL 32 Производство электронных компонентов, аппаратуры для радио, телевидения и связи DL 33 Производство медицинских изделий; средств измерений, контроля, управления и испытаний; оптических приборов, фото- и кинооборудования; часов DM 34 Производство автомобилей, прицепов и полуприцепов DM 35 Производство судов, летательных и космических аппаратов и прочих транспортных средств DN 36 Производство мебели и прочей продукции, не включенной в другие группировки DN 37 Обработка вторичного сырья
		D 40 Снабжение электроэнергией, газом, паром и кондиционирование воздуха 40;
		E (+4) 41 Водоснабжение, канализация, удаление отходов и ремедиація 41; 37; 90 14.40; 23.30; 24.15; 37.10; 37.20; 40.11; 90.01; 90.02; 90.03
3 45; 20.30; 25.23; 28.11; 28.12; 29.22; 70.11;	F 45 Строительство 45; 20.30; 25.23; 28.11; 28.12; 29.22; 70.11;	F 45 Строительство

Продолжение табл. 2

ISIC, Rev. 4*	NACE, Rev. 2	NACE, Rev. 1.1
4 50–63; 11.10; 64.11; 64.12;	G 50–52 Оптовая и розничная торговля; ремонт автомобилей и мотоциклов 50–52;	G 50 Торговля автотранспортными средствами и мотоциклами, их техническое обслуживание и ремонт 51 Оптовая торговля, включая торговлю через агентов, кроме торговли автотранспортными средствами и мотоциклами 52 Розничная торговля, кроме торговли автотранспортными средствами и мотоциклами; ремонт бытовых изделий и предметов личного пользования
	I 55 Деятельность по предоставлению услуг проживания и питания 55;	H 55 Деятельность гостиниц и ресторанов
	H 60–63 Перевозка и хранение 60–63; 11.10; 50.20; 64.11; 64.12;	I 60 Деятельность сухопутного транспорта 61 Деятельность водного транспорта 62 Деятельность воздушного и космического транспорта 63 Вспомогательная и дополнительная транспортная деятельность 64 Связь
5 64, 72; 22.11; 22.12; 22.13; 22.15; 22.22; 30.02; 92.11; 92.12; 92.13; 92.20;	J 64, 72 Информация и связь 64; 72; 22.11; 22.12; 22.13; 22.15; 22.22; 30.02; 92.11; 92.12; 92.13; 92.20;	J 65 Финансовое посредничество 66 Страхование 67 Вспомогательная деятельность в сфере финансового посредничества и страхования
6 65–67; 74.15;	K 65–67 Финансовая деятельность и страхование 65–67; 74.15;	K 70 Операции с недвижимым имуществом 70; 71 Аренда машин и оборудования без оператора; прокат бытовых изделий и предметов личного пользования 72 Деятельность, связанная с использованием вычислительной техники и информационных технологий 73 Научные исследования и разработки 74 Предоставление прочих видов услуг
7 70;	L 70 Операции с недвижимым имуществом 70;	L 75 Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование 75;
8 71–74; 01.41; 05.01; 45.31; 63.30; 63.40; 64.11; 70.32; 75.12; 75.13; 85.20; 90.03; 92.32; 92.34; 92.40; 92.62; 92.72;	M (+10) 71, 73 Профессиональная, научная и техническая деятельность 73; 74; 05.01; 63.40; 85.20; 92.40;	M 80 Образование
	N (-2) 74 Деятельность по управлению и предоставлению вспомогательных услуг 71; 01.41; 45.31; 63.30; 64.11; 70.32; 74.50; 74.87; 75.12; 75.13; 90.03; 92.32; 92.34; 92.62; 92.72;	N 85, 90, 91 Здравоохранение для людей и предоставление социальных услуг 85; 75.21;
9 75–85; 63.22; 63.23; 74.14; 92.34; 92.62; 93.65;	O 75 Государственное управление и оборона; обязательное социальное страхование 75;	O 90 Сбор сточных вод, отходов и аналогичная деятельность 91 Деятельность общественных объединений 92 Деятельность по организации отдыха и развлечений, культуры и спорта 93 Другие услуги
	P 80 Образование 80; 63.22; 63.23; 74.14; 92.34; 92.62; 93.65;	P 95 Деятельность домашних хозяйств с наемными работниками 95;
	Q 85, 90, 91 Здравоохранение для людей и предоставление социальных услуг 85; 75.21;	Q 99 Деятельность экстерриториальных организаций и органов 99
10 92–99; 01.50; 29.32; 32.20; 36.11; 36.12; 36.14; 52.71; 52.72; 52.73; 52.74; 72.50; 75.14; 91;	R 92 Деятельность в области искусства, организации развлечений и отдыха 92; 75.14;	P 95 Деятельность домашних хозяйств с наемными работниками
	S (+2) 93 Другие услуги 93; 91; 01.50; 29.32; 32.20; 36.11; 36.12; 36.14; 52.71; 52.72; 52.73; 52.74; 72.50;	Q 99 Деятельность экстерриториальных организаций
	T 95 Деятельность домашних хозяйств с наемными работниками 95;	
	U 99 Деятельность экстерриториальных организаций и органов 99	

Примечание: \* ISIC — Международная стандартная отраслевая классификация всех видов экономической деятельности (МСОК; International Standard Industrial Classification of All Economic Activities).

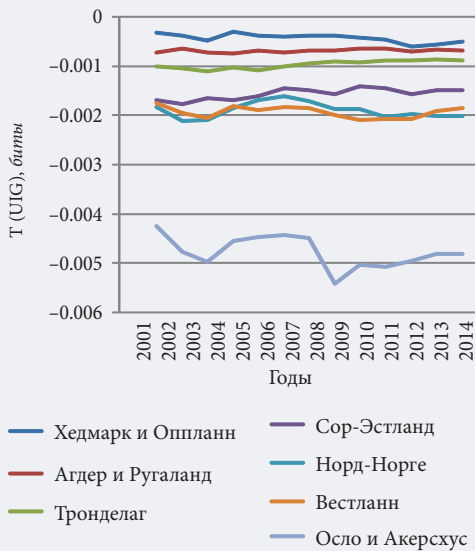
Легенда 92 Arts, entertainment and recreation — включаемые целиком разделы из NACE Rev. 2 и название;

92; — включаемые целиком разделы из NACE Rev.1.1;

75.14; — включаемые подразделы из NACE Rev.1.1

Источник: составлено авторами по материалам [Eurostat, 2007, 2008].

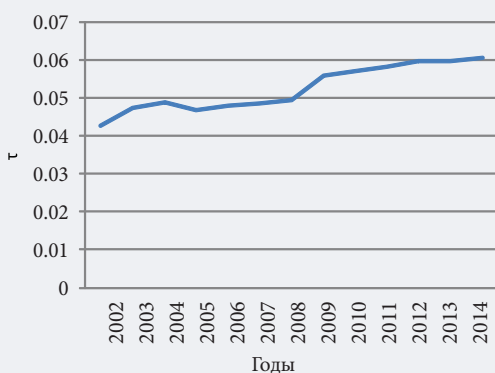
Рис. 3. Динамика частичного синергетического эффекта тройной спирали в семи норвежских регионах за период 2002–2014 гг. (в битах информации)



Источник: расчеты авторов.

Динамика синергии на национальном уровне в целом следует боковому тренду с чередованием областей роста и падения в разных периодах. До 2004 г. отмечено более негативное значение  $T(uig)$ ; затем снижение синергии продолжалось до экономического кризиса 2008 г., после чего произошло восстановление данного показателя (восходящий тренд). Как видно на рис. 3, величина общенациональной синергии в значительной степени определяется столичным регионом ОА<sup>5</sup>.

Рис. 4. Динамика сводной мощности передачи  $\tau$  (в относительных единицах) в Норвегии



Источник: расчеты авторов.

Рис. 5. Динамика мощности передачи  $\tau$  (в относительных единицах) в норвежских регионах



Источник: расчеты авторов.

Остальные регионы демонстрируют относительно стабильную динамику. По рассматриваемому показателю норвежские регионы разделились на две заметно различающиеся группы: НО, АР, ТР и ВЕ, СЕ, НН.

Колебания величины синергии можно интерпретировать как синергетические циклы. Подобно экономическим циклам, циклы синергии указывают на эндогенные характеристики инновационной системы, такие как циклические колебания рынков [Morgan, 1992]. Другой подход позволяет рассматривать эти колебания как не более чем «шум» в данных. Мы вернемся к этому вопросу в следующем разделе.

### Мощность передачи и эффективность

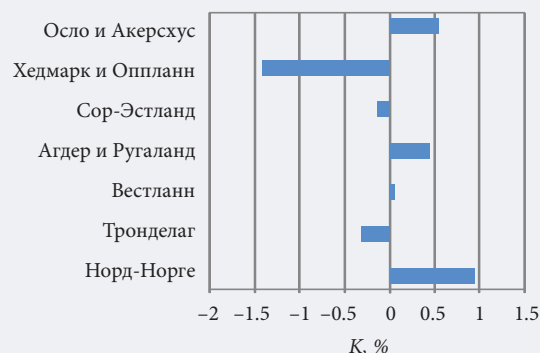
Мощности передачи синергии на национальном и региональном уровнях графически отражены на рис. 4 и 5.

Как видно на рис. 4, показатель оставался стабильным до 2008 г., когда произошел сдвиг. Линейный тренд свидетельствовал бы о низких темпах роста эффективности национальной инновационной системы Норвегии. Рис. 5 показывает, что максимальный рост эффективности отмечен в НН и НО. В столичном ОА, лидирующем по уровню синергетического эффекта, мощность передачи оказалась средней. Сравнение показателей синергии и мощности ее передачи на региональном уровне свидетельствует, что значительный эффект от взаимодействия университетов, промышленности и государства не обязательно означает максимальную эффективность организации соответствующей инновационной системы.

<sup>5</sup> В исследовании [Strand, Leydesdorff, 2013] синергетический эффект рассчитывался на основе муниципальных данных, в силу чего столица страны (Осло) оказалась обособлена. Наши расчеты описывают вклад в общенациональный показатель всех округов, в том числе и столичного.



**Рис. 6. Величина среднего отклонения эффективности для семи норвежских регионов за период 2002–2014 гг. (%)**



Источник: расчеты авторов.

Сопоставление значения мощности передачи синергии на национальном уровне (рис. 4) с величиной этого эффекта (рис. 2) показывает, что вслед за ростом первого показателя возрастал и второй. Падение 2008 г. наиболее отчетливо отразилось в статических данных по синергии, а не в динамических показателях мощности ее передачи. Географически аналогичные тенденции ярко проявляются в NN, HO, WE, отчасти в SE. В TR отмечено снижение мощности передачи, тогда как в OA и NN динамика более неравномерна.

Процент среднего отклонения эффективности рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\tau_{iav} - \bar{\tau}_{iav}}{\bar{\tau}_{iav}} \times 100\%, \quad (17)$$

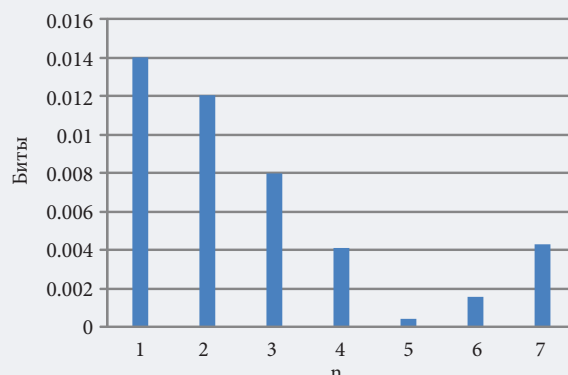
где:  $\tau_{iav}$  — среднее значение эффективности  $i$ -го региона за период 2002–2014 гг.;  $\bar{\tau}_{iav}$  — сводное среднее значение эффективности для всех регионов (рис. 6).

**Рис. 7. Величина среднего отклонения синергического эффекта в норвежских регионах в период 2002–2014 гг. (%)**



Источник: расчеты авторов.

**Рис. 8. Модули коэффициентов С серии Фурье и частота колебаний сводного синергического эффекта тройной спирали национального уровня (в битах информации)**



Источник: расчеты авторов.

Среднее отклонение синергии в процентном выражении имеет вид:

$$P = \frac{T_{iav} - \bar{T}_{iav}}{\bar{T}_{iav}} \times 100\%, \quad (18)$$

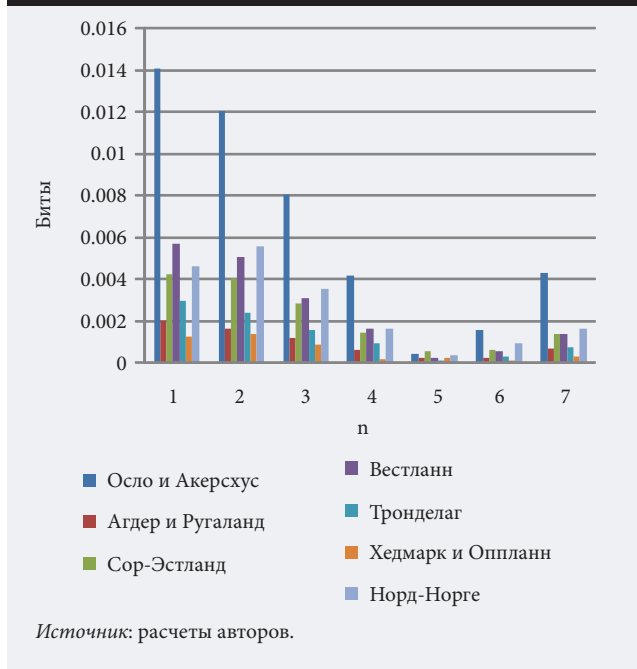
где:  $T_{iav}$  — среднее значение синергического эффекта  $i$ -го округа за период 2002–2014 гг.;  $\bar{T}_{iav}$  — сводное среднее значение синергического эффекта для всех регионов (рис. 8).

В регионах OA, NN и AR эффективность превышает средний показатель по стране. Синергический эффект выше среднего отмечен в OA, NN и WE. Сравнение индикаторов показывает, что пиковые значения эффективности и синергии не совпадают: регионы с максимальной синергией не всегда оказываются наиболее эффективными. Если в случае OA это можно объяснить ростом мощности передачи, то в NN, напротив, максимальный уровень эффективности достигается на фоне сравнительно низкого синергического эффекта. Значение коэффициента корреляции Спирмена для показателей синергии и эффективности составляет 0.64 ( $n.s.$ ), что говорит о наличии монотонной зависимости между двумя переменными и необходимости глубже исследовать параметры инновационных систем, включая соотношение синергия/эффективность.

В качестве следующего шага был проведен углубленный анализ структуры колебаний динамического ряда суммарных показателей избыточности информации. Дискретное преобразование Фурье было выполнено с помощью формулы (5). Вклад различных частотных режимов ( $w, 2w, 3w, 4w, 5w, 6w, 7w$ ) в суммарную синергию Норвегии, рассчитанную в соответствии с формулой (14), показан на рис. 8.

Синергию каждого региона можно представить в виде колебаний вокруг усредненного значения, а сами средние значения можно использовать как первые постоянные члены соответствующего разложения Фурье ( $f_{0i}$  в формуле (8)). Средние значения формируют линейный спектр синергии. Рассчитав модули коэффи-

**Рис. 9. Модули коэффициентов С серии Фурье и частота колебаний для семи норвежских регионов (в битах информации)**



циентов серии Фурье, характеризующие различные частотные режимы, а также значения синергии в рамках линейного спектра, можно сопоставить эти модули со значениями синергии. Поскольку значения за период 2002–2014 гг. выражены в действительных числах, с учетом симметрии коэффициентов ДПФ можно точно определить лишь половину исходных данных для компонентов с разными частотами (первые шесть). С1 соответствует двенадцатилетнему циклу, С2 — шестилетнему и т. д. Таким образом, седьмой компонент (С7) соответствует одногодичному циклу, и это максимальная частота, которую можно рассчитать с помощью данного метода.

На рис. 9 значения синергии (в битах информации) сопоставлены с частотными амплитудами для семи регионов. Как видим, значения некоторых компонентов преобразования Фурье очень высоки в ОА, т. е. в диа-

**Табл. 3. Корреляция Спирмена между процентом среднего отклонения синергетического эффекта и модулями коэффициентов Фурье**

	Корреляция ранговых порядков Спирмена						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
rho	1	0.964	0.964	0.964	0.321	0.893	0.964
2-sided p-values	0.0004	0.003	0.003	0.003	0.498	0.012	0.003
S	1.243	2.0	2.0	2.0	38	6.0	2.0

Источник: расчеты авторов.

пазоне наблюдаемых частот синергетический эффект не имеет сильных циклических компонентов. В регионе WE отмечены вторые по величине амплитуды компонентов преобразования Фурье. Аналогичная картина с высокими значениями компонентов была выявлена также в SE, WE и NN. В регионах NO, AR и TR колебательное поведение оказалось наименее выраженным. В NN, в отличие от шести остальных регионов, продемонстрировано максимальное значение второго компонента. Поскольку в экономике этого региона доминируют рыболовство и смежные отрасли, он подвержен значительным колебаниям высокочастотного компонента.

Была выявлена монотонная зависимость между модулями коэффициентов Фурье и процентом среднего отклонения синергии в норвежских регионах. Значения корреляции Спирмена между двумя этими показателями представлены в табл. 3. Можно заключить, что чем выше синергия системы, тем сильнее выражены ее колебания.

Предшествующие исследования показывают, что региональные вариации бизнес-циклов можно объяснить с помощью индекса несходства Кругмана [Dixon, Shepherd, 2013]. Регионы со сходными отраслевыми структурами (низкое значение индекса Кругмана) демонстрируют общие циклические закономерности. Индекс Кругмана (в соответствии с определением, приведенным в формуле (15)) был рассчитан на основе двузначных кодов NACE и статистики предприятий за 2015 г. Данные, при-

**Табл. 4. Индекс несходства Кругмана для отраслевой структуры норвежских регионов**

Регион	№	Осло и Акерсхус	Хедмарк и Оппланд	Сор-Эстланд	Агдер и Ругаланд	Вестланн	Тронделаг	Норд-Норге
		1	2	3	4	5	6	7
Осло и Акерсхус (ОА)	1	0	0.634	0.410	0.427	0.443	0.469	0.520
Хедмарк и Оппланд (НО)	2	0.634	0	0.333	0.333	0.370	0.231	0.397
Сор-Эстланд (СЕ)	3	0.410	0.333	0	0.147	0.200	0.247	0.313
Агдер и Ругаланд (АР)	4	0.427	0.370	0.147	0	0.124	0.216	0.284
Вестланн (ВЕ)	5	0.443	0.346	0.200	0.124	0	0.189	0.222
Тронделаг (ТР)	6	0.469	0.231	0.247	0.216	0.189	0	0.275
Норд-Норге (НН)	7	0.520	0.397	0.313	0.284	0.222	0.275	0

Источник: расчеты авторов.

веденные в табл. 4. показывают, что столичный регион ОА обнаруживает наименьшие сходства с другими регионами. Максимально близки (т. е. значения индекса минимальны) WE и AR, а также SE и AR.

Хаотичность колебаний синергии можно оценить также с помощью R/S-анализа [Hurst, 1951; Feder, 1988]. Стандартный алгоритм и результаты вычислений представлены в боксе 1. Значение статистического коэффициента Хёрста (H) для масштабированного диапазона  $0.5 < H < 1$  свидетельствует о персистентном («трендовом») поведении, описываемом монотонной функцией.

ей. Значение  $H=0.5$  соответствует полностью хаотическому (броуновскому) поведению динамического ряда. Значения в диапазоне  $0 < H < 0.5$  указывают на антиперсистентное (или колебательное) поведение. Полученное экспоненциальное значение коэффициента Хёрста, в нашем случае  $H=0.31$ , значительно ниже 0.5, что свидетельствует о ярко выраженном колебательном поведении динамического ряда. Иными словами, создаваемый системой синергетический эффект развивается во времени в форме нехаотических циклов (подобно долгосрочным и бизнес-циклам).

### Бокс 1. Метод Хёрста

Метод Хёрста используется для оценки автокорреляции динамических рядов. Впервые метод предложен Гарольдом Эдвином Хёрстом (Harold Edwin Hurst) [Hurst, 1951] и впоследствии широко использовался во фрактальной геометрии [Feder, 1988]. Суть метода заключается в следующем [Quan, Rasheed, 2004].

Применительно к динамическому ряду ( $T_1, T_2, \dots, T_N$ ), в нашем случае речь идет о годовой трехмерной передаче в течение указанного периода, последовательно выполняются следующие шаги:

а) рассчитывается медианное значение  $m$ :

$$m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i; \quad (A1)$$

б) рассчитывается скорректированное среднее значение динамического ряда:

$$Y_t = T_t - m; \quad (A2)$$

в) формируется кумулятивное отклонение динамического ряда:

$$Z_t = \sum_{i=1}^t Y_i; \quad (A3)$$

г) рассчитывается диапазон динамического ряда:

$$R_t = \max(Z_1, Z_2, \dots, Z_t) - \min(Z_1, Z_2, \dots, Z_t); \quad (A4)$$

е) рассчитывается стандартное отклонение динамического ряда:

$$S_t = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (T_i - \bar{T}_t)^2}, \quad (A5)$$

где  $\bar{T}_t = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t T_i. \quad (A6)$

ф) рассчитывается масштабированный диапазон динамического ряда:

$$\left(\frac{R}{S}\right)_t = \frac{R_t}{S_t}. \quad (A7)$$

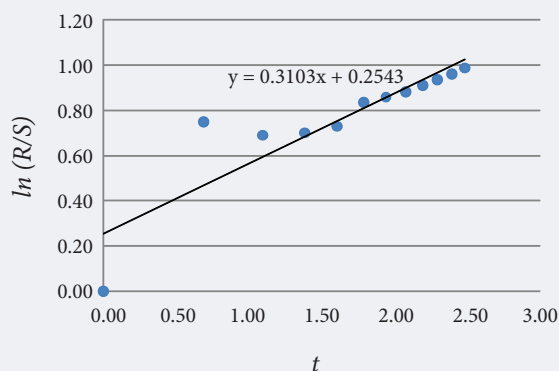
В выражениях (A2)–(A7)  $t = 1, 2, \dots, N$ . При допущении, что:

$$\left(\frac{R}{S}\right)_t = Ct^H. \quad (A8)$$

H-коэффициент можно рассчитать с помощью R/S-анализа и определить как наклон линейной регрессии R/S по отношению к  $t$  в двойном логарифмическом масштабе. В нашем случае  $H=0.0655$  (рис. A1).

Значение  $H=0.5$  свидетельствует о хаотичности (наподобие броуновской) динамического ряда. Значения в диапазоне  $0 < H < 0.5$  указывают на антиперсистентный характер динамического ряда, в котором высокие значения с большой вероятностью чередуются с низкими. Эта тенденция проявляется тем очевиднее, чем ближе к 0 становится значение H. В подобном случае можно ожидать колебательного поведения. Значения в диапазоне  $0.5 < H < 1$  указывают на персистентный характер динамического ряда, т. е. величины последующих членов ряда будут монотонно возрастать или уменьшаться. Полученное значение  $H=0.0655$  соответствует колебательному поведению динамического ряда.

Рис. A1. R/S-анализ синергии в Норвегии в 2002–2014 гг.



Источник: расчеты авторов.

## Заключение

Проведенный нами анализ динамики синергии в системе тройной спирали позволяет прийти к следующим выводам. Во-первых, синергия тройной спирали носит нехаотический колебательный характер, а значит, можно говорить о «синергетических циклах» — по аналогии с экономическими и технологическими. Во-вторых, существуют несколько режимов колебаний в зависимости от их частоты, хотя теория системы тройной спирали предполагает лишь один такой режим. Множественность режимов свидетельствует о сложной структуре подобных систем, которые включают в себя «элементарные» спирали, принимающие форму фракталов [Carayannis, Campbell, 2009; Ivanova, Leydesdorff, 2014a; Leydesdorff, Ivanova, 2016]. В-третьих, амплитуды колебаний пропорциональны средним значениям синергии. Таким образом, колебания уровней синергии можно масштабировать относительно средних для компонентов системы тройной спирали синергетических эффектов. В целом подобные структуры оказались сложнее, чем предполагалось ранее, как в региональном, так и в национальном разрезе.

Методы количественной оценки динамики синергетического эффекта трехмерной системы, такие как R/S-анализ, ДПФ и географическое разложение синергии, примененные к норвежской инновационной системе, позволили заключить, что динамический ряд синергетических эффектов имеет нехаотический циклический характер. Амплитуда синергетических колебаний частично может определяться внутренне присущими системе факторами, а частично — внешними системными факторами, что следует учитывать при разработке мер стимулирования инновационной активности в соответствующих сферах, поскольку эффективность этих усилий зависит не только от локальных, но и от глобальных аспектов. Результаты анализа показывают, что представлять динамику синергии можно с помощью различных методов. Предпочтительными оказываются более длинные динамические ряды в сочетании с более короткими выборочными интервалами, даже если это значительно увеличивает объем обрабатываемых данных. Подобная интеграция динамических рядов позволяет связать синергетические циклы с бизнес-циклами, которые изучены гораздо лучше, и по-новому взглянуть на механизмы управления синергией инновационных систем тройной спирали.

Концептуально синергию инновационных систем тройной спирали (на уровне системы) можно рассматривать как множество гармоник, тогда как аналитически «чистая» система предполагает только одну гармонику [Ivanova, Leydesdorff, 2014b]. Множественность режимов колебания свидетельствует о том, что система тройной спирали имеет более сложную самоорганизующуюся структуру, чем считалось ранее. Так, национальную инновационную систему Норвегии можно представить как географически распределенную сеть, узлами которой служат регионы. Впрочем, инноваци-

онными системами национального уровня вопрос не исчерпывается [Strand et al., 2016].

Величина синергетического эффекта выступает монотонной функцией частоты. Поскольку частота производна от скорости изменения соответствующих частей процесса передачи, т. е. от волатильности, рост или сокращение которой пропорционально величине синергии, в более когерентных системах синергия растет быстрее, чем в менее когерентных. Однако в случае ее снижения изначально более когерентные системы деградируют быстрее. Другими словами, процессы увеличения и уменьшения синергии являются самонарастающими.

## Политические следствия

Относительный вклад длинных частот возрастает с увеличением синергии, что ведет к изменению ее поведения. По мере роста синергии усиливается и волатильность, что означает большую частоту колебания синергии для регионов с высоким уровнем и меньшую — для регионов с низким уровнем синергии, особенно в периоды ее роста или падения. Используемые нами методы позволяют сконструировать индикаторы для мониторинга реакции инновационных систем на внешние шоки, такие как падение цен на нефть 2015 г., и для отслеживания структурных эффектов различных политических инициатив, например интервенции норвежского правительства в экономику нефтезависимого региона AR в 2016 г. Подобные индикаторы могли бы помочь правительству в разработке соответствующих инициатив с учетом локальных условий и горизонта планирования. Правительственные интервенции национального уровня могут как усиливать, так и ослаблять колебания синергии в зависимости от ситуации в конкретном регионе. Если в экономике последнего превалирует единственный сектор, эффект может оказаться нежелательным — и совсем иным, нежели для страны в целом или для промышленно развитых регионов. Во временном отношении политические инициативы следует нацеливать на долгосрочные (низкая частота колебаний) позитивные экономические эффекты, а не краткосрочные политические выгоды (высокая частота колебаний).

## Направления дальнейших исследований

Некоторые результаты были достигнуты в вопросе разграничения синергии системы тройной спирали и эффективности самой этой системы. Была доказана статистическая зависимость этих двух показателей, хотя измеряемая ими информация принадлежит к разным типам. Анализ факторов, оказывающих влияние на эти две характеристики инновационной системы, представляет собой тему для дальнейших исследований.

Продуктивным может оказаться уменьшение масштаба при исследовании инновационной деятельности, такое как переход с регионального уровня на уровень отдельных фирм. Если подобный подход даст сходные

результаты, то могут открыться новые перспективы для исследования динамики развития фирм. Вместе с тем, согласно закону Гибрата (Gibrat's Law) темпы роста компаний определенного сектора никак не связаны с их текущим размером [Gibrat, 1931], что подтверждается рядом исследований [Samuels, 1965]. Можно, однако, предположить наличие связи между темпами роста фирмы и ее инновационным потенциалом. Последний пропорционален синергии взаимодействия участников. Фактическая функциональная связь между размером

бизнеса, его инновационным потенциалом и потенциалом роста требует дальнейших исследований и дополнения данных, отраженных в существующей литературе по экономике инноваций.

*Инга Иванова выражает признательность за поддержку, полученную в рамках Программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (ВШЭ) и Проекта повышения конкурентоспособности ведущих университетов Российской Федерации (5–100). Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

## Библиография

- Abramson N. (1963) Information theory and coding. New York: McGraw-Hill.
- Analog Devices (2000) Mixed-Signal and DSP Design Techniques / Ed. W. Kester. Burlington, MA: Analog Devices, Inc.
- Boltzmann L. (1974) The second law of thermodynamics. Populare Schriften, Essay 3, address to a formal meeting of the Imperial Academy of Science, 29 May 1886. Reprinted in Ludwig Boltzmann, Theoretical physics and philosophical problem (translated by S.G. Brush). Boston: Reidel (Original work published in 1886).
- Carayannis E.G., Campbell D.F. (2009) 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': Toward a 21st Century Fractal Innovation Ecosystem // International Journal of Technology Management. Vol. 46. № 3–4. P. 201–234.
- de Groot B., Franses P.H. (2008) Stability through cycles // Technological Forecasting & Social Change. Vol. 75. P. 301–311.
- de Groot B., Franses P.H. (2009) Cycles in basic innovations // Technological Forecasting & Social Change. Vol. 76. P. 1021–1025.
- de Groot B., Franses P.H. (2012) Common socio-economic cycle periods cycles // Technological Forecasting & Social Change. Vol. 79. P. 56–68.
- Dixon R., Shepherd D. (2001) Trends and Cycles in Australian State and Territory Unemployment Rates // The Economic Record. Vol. 77. № 238. P. 252–269.
- Dixon R., Shepherd D. (2013) Regional Dimensions of the Australian Business Cycle // Regional Studies. Vol. 47. № 2. P. 264–281.
- Etzkowitz H., Leydesdorff L. (2000) The Dynamics of Innovation: From National Systems and 'Mode 2' to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations (Introduction to the special "Triple Helix" issue) // Research Policy. Vol. 29. № 2. P. 109–123.
- Eurostat (2002) Statistical Classification of Economic Activities in the European Community, Rev. 1.1 (NACE Rev. 1.1). Режим доступа: [http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST\\_CLS\\_DLD&StrNom=NACE\\_1\\_1](http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST_CLS_DLD&StrNom=NACE_1_1), дата обращения 14.04.2018.
- Eurostat (2007) NACE Rev. 2 structure and correspondences with NACE Rev 1.1 and ISIC Rev. 4. Режим доступа: [http://www.ine.es/daco/daco42/clasificaciones/cnae09/estructura\\_en.pdf](http://www.ine.es/daco/daco42/clasificaciones/cnae09/estructura_en.pdf), дата обращения 25.08.2014.
- Eurostat (2008) Statistical classification of economic activities in the European Community (NACE Rev. 2). Режим доступа: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF>, дата обращения 14.04.2018.
- Feder J. (1988) Fractals. New York: Plenum Press.
- Froyland J. (1992) Fractals // Introduction to Chaos and Coherence / Ed. J. Froyland. Bristol: Institute of Physics Publishing. P. 3–8.
- Gibrat R. (1931) Les inégalités économiques. Paris: Sirey.
- Hodrick R., Prescott E. (1997) Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation // Journal of Money, Credit, and Banking. Vol. 29. № 1. P. 1–16.
- Hurst H.E. (1951) Long term storage capacity of reservoirs // Transactions of the American Society of Civil Engineers. Vol. 116. P. 770–799.
- Ivanova I., Leydesdorff L. (2014a) Rotational Symmetry and the Transformation of Innovation Systems in a Triple Helix of University-Industry-Government Relations // Technological Forecasting and Social Change. Vol. 86. P. 143–156.
- Ivanova I., Leydesdorff L. (2014b) A simulation model of the Triple Helix of university-industry-government relations and decomposition of redundancy // Scientometrics. Vol. 99. № 3. P. 927–948.
- Kondratiev N. (1935) The Long Waves in Economic Life // Review of Economics and Statistics. Vol. 17. P. 105–115.
- Krippendorff K. (2009a) W. Ross Ashby's information theory: A bit of history, some solutions to problems, and what we face today // International Journal of General Systems. Vol. 38. № 2. P. 189–212.
- Krippendorff K. (2009b) Information of interactions in complex systems // International Journal of General Systems. Vol. 38. № 6. P. 669–680.
- Krugman P. (1991) Geography and Trade. Leuven: Leuven University Press.
- Krugman P. (1993) Lessons of Massachusetts for EMU // Adjustment and Growth in the European Monetary Union / Eds. F. Torres, F. Giavazzi. Cambridge (UK): Cambridge University Press. P. 241–261.
- Kuznets S. (1930) Secular Movements in Production and Prices. Their Nature and Their Bearing Upon Cyclical Fluctuations. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Kwon K.S., Park H.W., So M., Leydesdorff L. (2012) Has Globalization Strengthened South Korea's National Research System? National and International Dynamics of the Triple Helix of Scientific Co-authorship Relationships in South Korea // Scientometrics. Vol. 90. № 1. P. 163–176.

- Lengyel B., Leydesdorff L. (2011) Regional Innovation Systems in Hungary: The Failing Synergy at the National Level // *Regional Studies*. Vol. 45. № 5. P. 677–693.
- Leydesdorff L. (1995) *The Challenge of Scientometrics: The Development, Measurement, and Self-organization of Scientific Communications*. Leiden: DSWO Press; Leiden University.
- Leydesdorff L. (2010) Redundancy in systems which entertain a model of themselves: Interaction information and the self-organization of anticipation // *Entropy*. Vol. 12. № 1. P. 63–79.
- Leydesdorff L., Dolfsma W., van der Panne G. (2006) Measuring the Knowledge Base of an Economy in terms of Triple-Helix Relations among 'Technology, Organization, and Territory' // *Research Policy*. Vol. 35. № 2. P. 181–199.
- Leydesdorff L., Fritsch M. (2006) Measuring the Knowledge Base of Regional Innovation Systems in Germany in Terms of a Triple Helix Dynamics // *Research Policy*. Vol. 35. № 10. P. 1538–1553.
- Leydesdorff L., Ivanova I. (2014) Mutual Redundancies in Inter-Human Communication Systems: Steps Towards a Calculus of Processing Meaning // *Journal of the Association for Information Science and Technology*. Vol. 65. № 2. P. 386–399.
- Leydesdorff L., Ivanova I. (2016) 'Open innovation' and 'triple helix' models of innovation: Can synergy in innovation systems be measured? // *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* (December 2016). Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40852-016-0039-7>, дата обращения 16.08.2018.
- Leydesdorff L., Park H.W., Lengyel B. (2014) A Routine for Measuring Synergy in University-Industry-Government Relations: Mutual Information as a Triple-Helix and Quadruple-Helix Indicator // *Scientometrics*. Vol. 99. № 1. P. 27–35.
- Leydesdorff L., Perevodchikov E., Uvarov A. (2015) Measuring Triple-Helix Synergy in the Russian Innovation System at Regional, Provincial, and National Levels // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. Vol. 66. № 6. P. 1229–1238.
- Leydesdorff L., Strand Ø. (2013) The Swedish System of Innovation: Regional Synergies in a Knowledge-Based Economy // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. Vol. 64. № 9. P. 1890–1902.
- Leydesdorff L., Sun Y. (2009) National and International Dimensions of the Triple Helix in Japan: University-Industry-Government versus International Co-Authorship Relations // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. Vol. 60. № 4. P. 778–788.
- Leydesdorff L., Zhou P. (2014) Measuring the Knowledge-Based Economy of China in Terms of Synergy among Technological, Organizational, and Geographic Attributes of Firms // *Scientometrics*. Vol. 98. № 3. P. 1703–1719.
- Luckraz S. (2013) On innovation cycles in a finite e discrete R&D game // *Economic Modelling*. Vol. 30. P. 510–513.
- McGill W.J. (1954) Multivariate information transmission // *Psychometrika*. Vol. 19. № 2. P. 97–116.
- Mégnigbêto E. (2013) Triple Helix of university-industry-government relationships in West Africa // *Journal of Scientometric Research*. Vol. 2. № 3. P. 214–222.
- Mégnigbêto E. (2014) Efficiency, unused capacity and transmission power as indicators of the Triple Helix of university-industry-government relationships // *Journal of Informetrics*. Vol. 8. P. 284–294.
- Morgan M. (1992) The History of Econometric Ideas // *Journal of Political Economy*. Vol. 100. № 1. P. 218–222.
- Qian B., Rasheed K. (2004) Hurst exponent and financial market predictability. Paper presented at the IASTED conference on Financial Engineering and Applications, November 8–10, 2004, Cambridge, Massachusetts, USA. Режим доступа: <https://bit.ly/2nKqx6W>, дата обращения 12.11.2017.
- Samuels J.M. (1965) Size and the Growth of Firms // *The Review of Economic Studies*. Vol. 32. № 2. P. 105–112.
- Schumpeter J. (1939) *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of Capitalist Process*. New York: McGraw-Hill.
- Shannon C.E. (1948) A mathematical theory of communication // *Bell System Technical Journal*. Vol. 27. № 3–4. P. 379–423, 623–656.
- Statistics Norway (2015) Establishments Data. Режим доступа: <https://www.ssb.no/statistikkbanken/selecttable/hovedtabellHjem.asp?KortNavnWeb=bedrifter&CMSSubjectArea=virksomheter-foretak-og-regnskap&PLanguage=1&checked=true>, дата обращения 18.04.2016.
- Strand Ø., Ivanova I., Leydesdorff L. (2016) Decomposing the Triple-Helix system into the regional innovation systems of Norway: Firm data and patent networks // *Quality & Quantity*. DOI 10.1007/s11135-016-0344-z.
- Strand Ø., Leydesdorff L. (2013) Where is Synergy in the Norwegian Innovation System Indicated? Triple Helix Relations among Technology, Organization, and Geography // *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 80. № 3. P. 471–484.
- Theil H. (1972) *Statistical Decomposition Analysis*. Amsterdam; London: North-Holland.
- Ulanowicz R.E. (1986) *Growth and development: Ecosystems phenomenology*. New-York: Springer-Verlag.
- Ye F., Yu S., Leydesdorff L. (2013) The Triple Helix of University-Industry-Government Relations at the Country Level, and Its Dynamic Evolution under the Pressures of Globalization // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. Vol. 64. № 11. P. 2317–2325.
- Yeung R.W. (2008) *Information theory and network coding*. New York: Springer.