

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СТРУКТУРЫ И ЭВОЛЮЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ¹

Б.Д. МАТРИЗАЕВ, кандидат экономических наук. E-mail: matrizaev@mail.ru
Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-6270-9002,
Web of Science Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/F-5364-2019>,
SPIN-код: 8331-2270, AuthorID: 380043

В статье рассматривается модель предложения инноваций и их дальнейшей диффузии в различных отраслях экономики путем исследования и сравнительного анализа эволюции инновационных систем и их взаимосвязи с отраслями экономики, основанных на кластерной (сетевой) системе инновационной политики в странах ЕС в 1970-2018 гг. Эмпирические результаты показывают, что свойства кластерной инновационной сети могут быть строго спрогнозированы благодаря сетевому стимулированию как прямых, так и обратных потоков, в то время как существуют несколько других элементов, которые оказывают значительное и более сложное влияние на формирование этих узловых связей – это прежде всего компетенции, знания и экономические взаимозависимости.

Ключевые слова: инновационная система, кластерная (сетевая) система, инновационные потоки, эволюция, коэволюция, динамика.

DOI: 10.47711/0868-6351-188-139-148

Введение. Как известно, необходимость новизны является центральным ядром эволюционных процессов, независимо от того, касаются ли они экономических, технологических или социальных систем. В частности, технологические инновации широко рассматриваются как один из важнейших факторов долгосрочного экономического развития. Таким образом, изучение того, как возникают инновации, является фундаментальной исследовательской задачей, которая может дать важную информацию не только для научного знания, но и для выработки практических мер устойчивого развития.

В последние годы ряд исследований [1-3] были направлены на объяснение процесса появления новизны в различных областях, в том числе в науке, информационных технологиях и т.д. В частности, привлекают пристальное внимание исследования Стивена Джонсона [4], в которых он широко интерпретировал и применил понятие «смежного возможного» для изучения того, каким образом новшества порождают другие новшества, предполагая существование статистических законов для скорости генерации новизны в широком наборе явлений.

Аналогичное по своей цели наше исследование предполагает, что модели технологических инноваций могут быть интерпретированы с точки зрения сетевого анализа. Технологии, как правило, это средства достижения цели в формировании технологических систем, а именно: сети агентов, участвующих в генерации и использовании технологий в различных секторах, которые при наличии инноваций становятся синергетическими кластерами. При этом принципиально важно помнить, что синергия и обратные связи в таких технологиче-

¹ Статья выполнена в рамках фундаментальной научно-исследовательской работы "Цикличность развития мирохозяйственных укладов" по государственному заданию Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

ских системах дают импульс инновациям, в то время как сами инновации порождают стимулы к дальнейшим инновациям и преобразованиям. Речь идет о сложных и многогранных взаимодействиях между электронными компонентами и системами в телекоммуникационном секторе или о взаимодействии между достижениями в области электронных систем и технологий скрининга, которые сформировали инновации в фармацевтической промышленности. В рамках этой простой концептуальной модели наше данное исследование ставит два основных вопроса: как инновационная деятельность в одной отрасли влияет на инновации в других отраслях экономики и какие механизмы формируют структуру и изменения таких технологических систем?

Эти вопросы ставят сетевые элементы в центр анализа. Несмотря на обширные исследования эволюции и структуры сложных экономических и социальных сетей [5; 6], наше общее эмпирическое понимание факторов, формирующих структуру и эволюцию инновационных сетей и технологических систем, остается частичным. И это не из-за отсутствия альтернативных механизмов. Широко известна точка зрения, что механизмы усиления и увеличения отдачи создают устойчивость в сетевых структурах. В ряде исследований [7; 8] предполагается, что эволюция технологических систем обусловлена побочными эффектами знаний и стимулированием инноваций в связи с технологическим прогрессом повышательной динамики. В противовес им в других исследованиях [9; 10] указывается, что инновация также обусловлена реакцией агентов на изменения спроса и дисбалансы, порождаемые инновациями, понижательной волны. В настоящее время ряд исследований [10; 11] настаивают на тезисе, что инновационным сетям необходимо сосуществование с экономической, социальной и когнитивной прокси-звеньями.

До сих пор большинство эмпирических исследований [12; 5] в области сетевых систем инновационных моделей преимущественно базировались на показателях расходов на НИОКР и патентной активности. Некоторые из их авторов представили убедительные аргументы в подтверждение возможности использования указанных индикаторов. Примечательно, что в своих исследованиях Д. Арчибуги [13] нашел убедительные доказательства той роли, которую играет повышательный сетевой стимул к патентной активности в американской сети патентного цитирования. Однако в ряде случаев НИОКР и патентные сети не обязательно захватывают инновации и, как отмечает Д. Арчибуги [13], могут быть приняты в качестве обычной научной практики. Это образует значительный пробел в исследованиях, поскольку эволюция технологических систем и более широкие социально-технические переходы широко рассматриваются как движимые развитием и распространением крупных или радикальных инноваций. Крупные инновации могут быть менее восприимчивы, чем инкрементальные инновации, которые могут быть предсказуемы сетевым стимулом инноваций повышательной или понижательной динамики. Крупные инновации также могут быть, как было предложено в некоторых исследованиях [14], обратно связаны с экономическими или иными прокси-звеньями. Это оставляет открытыми вопросы, касающиеся роли сетевого стимула к крупным инновациям и механизмам, ответственным за структуру и эволюцию технологических систем.

В данной статье эти проблемы исследуются через призму межотраслевых сетей крупных инноваций, а именно: коммерциализированные изобретения, которые имеют не инкрементальную степень новизны. На основе анализа уникальной сети выпуска инноваций, охватывающей кластерную (сетевую) систему инновационной модели в странах ЕС в период 1970-2018 гг., в настоящем исследовании рассматривается структура предложения и использования инноваций в различных отраслях промышленности и лежащие в ее основе механизмы, формирующие инновационные модели в средне- и долгосрочной перспективе. Наше исследование охватывает 44 отрасли, которые запускают, по крайней мере, одну инновацию раз

в два года, и 29 отраслей, которые запускают, по крайней мере, одну инновацию в год. В более ранних исследованиях [15] использовавших аналогичные статистические данные, нами было обнаружено, что инновационная деятельность, как правило, является ответом на конкретные проблемы и возможности, которые возникли в других частях технологической системы, и что эти проблемы и возможности концентрируют инновационную деятельность в отдельных сообществах. В настоящем исследовании мы исследуем управляемую динамику инновационных сетей, а также попытаемся ответить на вопрос о том, можно ли наблюдать общие механизмы, объясняющие структуру и эволюцию технологической системы.

Используя методологию, основанную на статистическом сетевом анализе, наше исследование представляет новые данные о механизмах, лежащих в основе генерации новшеств и эволюции технологических систем. Результаты настоящего исследования показывают, что сетевое стимулирование инноваций повышательной или понижательной динамики в странах с кластерной (сетевой) системой объясняет 30% вариаций инновационной активности внутри отраслей и между ними. Поскольку сеть охватывает только инновации, разработанные в отдельной стране, эти результаты следует рассматривать как нижнюю границу общего воздействия сетевого стимулирования, которая также включает международные потоки инноваций.

Второй ключевой результат состоит в том, что эволюция инновационной сети лучше всего описывается как процесс, в котором предыдущие связи и прокси-звенья в инновационной сети в значительной степени определяют появление новых взаимосвязей. Следовательно, существуют наблюдаемые механизмы усиления в эволюции технологических систем. Этот процесс управляется центрами, ключевыми поставщиками, которые соединяют различные отрасли пользователей в стабильные сообщества. Несмотря на имеющиеся доказательства того, что определенную роль играют лежащие в основе экономические прокси-звенья, включающие компетенции или знания, полученные результаты свидетельствуют о том, что крупные инновации часто являются результатом диверсификации, а не следствием существующих отраслевых взаимозависимостей. Таким образом, полученные результаты согласуются с интерпретацией об инновационной деятельности как о процессе коэволюции между отраслями, но при этом акцентируют внимание на том, что формирование технологических систем определяется технологическими требованиями, дисбалансами и возможностями, которые не могут быть прямо охвачены экономическими или иными прокси-звеньями.

Теоретические предпосылки эволюции инновационных сетей. Итак, прежде чем ответить на вопрос, касающийся роли сетевого стимула для крупных инноваций и механизмов, ответственных за структуру и эволюцию технологических систем, необходимо понять, какие механизмы определяют структуру и эволюцию инновационных сетей. Для этого, прежде всего, необходимо провести детальное различие между внутренними и внешними механизмами исследуемой сети. На основании основополагающих исследований [16; 17], экономическая наука предлагает несколько внутренних предполагаемых механизмов эволюции инновационных сетей.

С одной стороны, некоторые фундаментальные взгляды исходят из представления о том, что различные механизмы формирования связей отражаются в качественно различных распределениях степеней. Случайные графы, генерируемые моделью Эрдёша-Реньи² [18] с однородной вероятностью, предполагают биномиаль-

² Модель Эрдёша-Реньи об эволюции случайных графов позволяет решать две задачи – построить граф, сходный по свойствам с данными, полученными экспериментально, и изучить его свойства. Главное преимущество модели состоит в том, что она позволяет тестировать и сравнивать качество различных алгоритмов на целых семействах случайных графов и сравнивать полученные результаты с предсказанными теоретически. Теория случайных графов стала активно развиваться после публикации в конце 1950-х годов совместных статей П. Эрдёша и А. Реньи.

ное распределение степеней. Однако было показано, что многие крупные реальные сети имеют беспредельное распределение k в нарастающей степени вида:

$$P(k) \propto k^{-\gamma}, \quad (1)$$

где на практике часто оказывается, что $2 \leq \gamma \leq 3$. В контексте растущих сетей это объясняется преимущественным присоединением новых узлов к узлам, которые уже имеют множество соединений. Процесс «преференциальной привязки» хорошо согласуется в исследованиях по инновациям с представлением о том, что крупные технологические сдвиги характеризуются зависимостью от траектории, увеличением отдачи и возникновением устойчивой структуры «ядро – периферия», где технологии общего назначения обеспечивают большую часть инноваций по всем направлениям. Следовательно, эволюция инновационных сетей, как и многих других сетей, может быть процессом, определяемым в значительной степени топологией сети.

Однако ранее нами уже было высказано предположение, что другие механизмы, связанные с топологией сети, способны объяснить структуру сообщества в сложных сетях, в частности, на основе понятий триадического замыкания и сходства узлов. В обобщенном виде идея состоит в том, что вероятность того, что два узла будут соединены, может зависеть от соответствующего числа сопряженных узлов или косвенных путей между узлами. Например, интуитивно понятно, что двое исследователей могут с большей вероятностью сотрудничать в будущем, если у них имеется взаимный научный интерес. Аналогичным образом важной перспективой является то, что инновационные потоки управляются процессом коэволюции [10] между отраслями в том смысле, что инновации реагируют на возможности и проблемы, возникающие в тесно связанных технологических подсистемах. Считается, что коэволюция происходит не только с точки зрения возможностей, предоставляемых повышательной динамикой в цепочке создания стоимости, но и издержек и дисбалансов понижающей динамики, которые снижают инновационную активность [10].

В ряде исследований в области инновационных моделей [1] также выдвигают ряд причин, вследствие которых можно ожидать, что инновационные потоки будут развиваться вследствие внешних механизмов. Одна из выдвинутых гипотез заключается в том, что инновационные сети развиваются совместно с лежащими в их основе экономическими взаимозависимостями и различными видами прокси-звеньев когнитивной, организационной, социальной, институциональной и других систем. Например, вполне вероятно, что потоки инноваций следуют за предложением и использованием капитальных или промежуточных товаров. Когнитивная сходимость также может стимулировать инновации, например, в том смысле, что инновационное решение требует общей базы знаний между разрабатываемой технологией и пользовательским приложением. Точно так же пользователи инноваций нуждаются в дополнительном поглощающем потенциале для использования инноваций из других отраслей.

Предполагаемая необходимость экономической и когнитивной сходимости в инновационных процессах имеет, однако, некоторые оговорки, поскольку процессы радикальных и инкрементальных инноваций – это принципиально разные явления. Фирмы часто внедряют инновации для того, чтобы разветвляться в сферах, где они не являются экономически активными, а именно, через исследования и диверсификацию. Как бы то ни было, радикальные инновации могут быть связаны с исследованиями и выходом на новые рынки, в то время как более инкрементальные инновации с большей вероятностью будут следовать по устоявшейся траектории, например, как в случае с производственными сетями. Кроме того, слишком высокая сходимость (например, когнитивная) между отраслями может быть негативно связана с инновациями.

Объединяя эти точки зрения, можно сказать, что формирование сетевых связей можно рассматривать как процесс, в котором задействовано несколько потенциальных механизмов: преимущественная привязка, сходимость узлов и лежащие в их основе экономические, интеллектуальные (знания) и технологические прокси-звенья. Динамику можно смоделировать на двух уровнях. Прежде всего важно понять, в какой степени существующая сетевая структура предопределяет эффективность инноваций в разных секторах и во времени. Далее необходимо проанализировать процесс формирования связей между отраслями и структурами сети. В нашем случае узлы относятся к отраслям, а вес связей между узлами – это количество инноваций, поставляемых и используемых. Процесс моделирования эволюции сети можно начать с рассмотрения простой структуры формирования связей, в которой вероятность появления новой инновации между отраслью i и отраслью j зависит от совокупного потока инноваций f_{ij} . Межсекторальные инновационные сети – это взвешенные направленные сети с фиксированным числом узлов. Очевидно, что введение гетерогенности узлов приводит к процессу преимущественной привязки инноваций к отраслевым парам (звеньям), а не отдельным узлам [8]. В оставшейся части нашего исследования для обозначения этого типа процесса используем термин «преференциальная привязка» (ПП). Когда потребуется концептуальное отделение от классической модели, возможно, будет использоваться более точное обозначение «преференциальное распределение веса» (ПРВ).

Между тем «преференциальная привязка» в сети, где направление и вес отрасли определяют поток инноваций, связывает вероятность потоков с силой входа узлов, определяемой как $c_i^{BX} = \sum_j f_{ji}$ (2) и выхода узлов, определяемой как $c_i^{BYX} = \sum_j f_{ji}$ (3). Процесс определяется допущением, что вероятность того, что инновация будет поставлена отрасли i , зависит от выражения $\frac{c_i^{BYX}}{\sum f_{ij}}$ (4), а то, что инновация будет использована отраслью j зависит от $\frac{c_j^{BX}}{\sum f_{ij}}$ (5). Вероятность новой привязки отрасли i к отрасли j может быть выражена как пропорциональная к произведению двух слагаемых, т.е. $\Pi_w \propto \frac{c_i^{BYX} c_j^{BX}}{(\sum f_{ij})^2}$ (6).

Поскольку в самом начале ни одно звено не имеет инноваций, процесс соответствующим образом моделируется как смешанный процесс «преференциальной привязки» и методом случайного присвоения инноваций неиспользуемым звеньям. Компромиссное обобщение состоит в том, чтобы позволить процессу «преференциальной привязки» быть потенциально нелинейным через переменную λ , ведя нас к определению вероятности для звена с весом w как:

$$\Pi_w = (1-\alpha)\delta_{w,0} + \alpha \frac{w^\lambda}{\sum w^\lambda Q_w}, \quad (7)$$

где $\delta_{w,0} = 1$ при $w=0$ и Q_w – это количество звеньев с весом w . При $\alpha = 1$ модель сводится к процессу чисто «преференциальной привязки».

Данная линейная модель (с $\lambda = 1$) служит базовой моделью. Однако распределение, полученное из уравнения (7), зависит от параметра λ и от того, является ли число звеньев сети конечным или нарастающим. В нашем же случае размер сети фиксирован, но промежуток времени меньше, чем количество звеньев. При данной структуре сеть может рассматриваться как растущая, причем параметр α является исторически наблюдаемым.

Уравнение (3) описывает базовую модель, используемую для прогнозирования распределения веса. Однако также желательно проверить влияние экзогенных сетей z_{ij} , фиксирующих (возможно, эволюционирующих) сходимость между отраслями. Это дает следующее тестовое уравнение:

$$\Pi_w = \beta_0 + \alpha \frac{f_{ij}}{\sum f_{ij}} + \sum_l \beta_l z_{ij,l}, \quad (8)$$

где l индекс переменных, фиксирующих экзогенную сходимость.

Также желательно проверить другие механизмы формирования связей, такие как триадическое замыкание и эффект косвенных связей, используя измерение сходства узлов через s_{ij} .

Эмпирический анализ. Теория сетевых поставок и использования инновационных объектов раскрывает несколько структурных свойств, представляющих методологический интерес: устойчивость, иерархичность, асимметрия.

В целом сеть очень устойчива во времени: показатели корреляции Пирсона между пятилетними периодами колеблются от 0,48 до 0,64 (таблица).

Таблица

Показатели «преференциальной привязки»
в сети между секторами экономики стран ЕС в 1970-2018 гг.³

Индикатор	Периоды									
	1970-1974 г.	1975-1979 г.	1980-1984 г.	1985-1989 г.	1990-1994 г.	1995-1999 г.	2000-2004 г.	2005-2009 г.	2010-2014 г.	2015-2018 г.
(s)	0,753	0,918	1,012	0,654	0,517	0,603	0,651	0,828	0,890	0,91
(k)	2,520	2,131	1,455	1,510	1,290	2,008	2,200	2,000	1,800	2,00
R		0,640	0,620	0,620	0,500	0,520	0,600	0,640	0,480	0,63

Примечание: s – коэффициент устойчивости связи, k – степень иерархичности системы, R – коэффициент корреляции.

Что же касается иерархичности и асимметрии, то исследование показало неоднородность и асимметричность потоков инноваций между 30 совокупными секторами в странах ЕС. Общая асимметрия между производством и услугами проистекает из того факта, что база данных охватывает инновации только в сфере производства и ИКТ-услуг. Вместе с тем складывается четкая картина, показывающая, когда некоторые отрасли являются центральными поставщиками, а некоторые – центральными потребителями.

В частности, такие отрасли промышленности, как машиностроение, ИКТ и программное обеспечение, как правило, являются основными поставщиками продукции в широкий спектр отраслей. Другие отрасли (например, целлюлозно-бумажная, деревообрабатывающая, строительная и транспортная) служат важными потребителями для широкого круга отраслей-поставщиков. Большинство отраслей поставляют и используют только несколько инноваций за рассматриваемый период, в то время как менее 10% отраслей поставляют более 100 инноваций.

Здесь можно сделать два промежуточных вывода. Во-первых, эти результаты согласуются с процессом «преференциальной привязки». Во-вторых, результаты показывают, что сеть иерархична и имеет значительную структуру сообщества внутри сети. Сеть имеет модульную структуру, аналогичную иерархической модели, предложенной Е. Равашем и А. Барабашем [19]. Общая вероятность того, что два узла являются максимально близкими друг другу, составляет 0,607. Более того, локальный коэффициент кластеризации C , измеряющий среднюю вероятность того, что два узла являются максимально близкими, определяется как $C \sim k^{-1}$. Это указывает на иерархию, в которой узлы низкой степени принадлежат, как правило, к тесно взаимосвязанным сообществам (имеющим высокий коэффициент кластеризации). В нашем же случае крупные поставщики инноваций, такие как ИКТ, действуют как

³ Расчеты автора на основе данных *OECD Reviews of Innovation Policy: Austria 2018; OECD Reviews of Innovation Policy Paris. 2018. Pp. 58-67. <http://doi.org/10.1-787/9789264309470-en>*

центры, которые соединяют отрасли пользователей в более или менее звездообразную структуру. Точнее взаимозависимости в кластерной (сетевой) системе инноваций можно описать в виде десяти подгрупп, сосредоточенных в целлюлозно-бумажной промышленности, производстве пищевых товаров, ИКТ, автомобилестроении и наземном транспорте, производстве медицинского оборудования и услуг в сфере здравоохранения, лесном хозяйстве, строительстве, военно-промышленном комплексе, энергетике и текстильной промышленности.

Прогнозирование инновационной динамики и механизмы влияния сетевого стимула. Для начала рассмотрим, какую роль играет сетевая структура для эффективности инноваций во времени. Для прогнозирования инноваций на пятилетний период на основе прямых и обратных потоков, необходимо объединить ранее существовавшую отраслевую сеть с количеством инноваций, которые были запущены в предыдущем пятилетнем периоде.

Допустим, что $X_{i,T}$ – это количество инноваций в отрасли i в периоде T . Ожидаемые показатели инноваций на основе прямых потоков рассчитываются как:

$$\text{Инн}_{i,T}^{\text{прям}} = \sum_j \frac{f_{ij}}{c_j^{\text{вых}}} X_{j,T-1}, \quad (9)$$

и прогнозируемые инновации на основе обратных потоков

$$\text{Инн}_{i,T}^{\text{обр}} = \sum_j \frac{f_{ji}}{c_j^{\text{вх}}} X_{j,T-1}, \quad (10)$$

где f_{ij} – это кумулятивные потоки инноваций из отрасли i в отрасль j , а $c_j^{\text{вх}}$ и $c_j^{\text{вых}}$ вход и выход сети j .

Таким образом, ожидаемые инновации на основе прямых потоков определяются путем объединения инноваций за предыдущий пятилетний период с ожидаемыми прямыми потоками. Аналогично, ожидаемые инновации на основе обратных потоков определяются путем объединения инноваций в предыдущем пятилетнем периоде с ожидаемыми обратными потоками. Эти формулировки предполагают, что степень, в которой инновации реагируют на возможности повышательной волны или препятствия понижательной волны, связана с количеством инноваций в предыдущем пятилетнем периоде. Это объясняется тем, что отрасли с большим количеством инноваций будут создавать новые возможности, одновременно привлекая внимание к технологическим дисбалансам и критическим проблемам, возникающим в процессе технологических изменений.

Соответственно, наши результаты согласуются с сетевым стимулом как от возможностей повышательной волны, так и от препятствий понижательной волны. Как уже говорилось наше исследование охватывает 44 отрасли, которые запускают, по крайней мере, одну инновацию раз в два года, и 29 отраслей, которые запускают, по крайней мере, одну инновацию в год. В нашей объединенной регрессии 30% вариации инноваций объясняются прямыми и обратными потоками в предыдущем пятилетнем периоде. Коэффициенты показывают, что рост прогнозируемых инноваций на 1% увеличивает количество инноваций на основе прямых и обратных потоков на 0,38% и 0,34% соответственно. В целях учета необъяснимой доли дисперсии нами включены постоянные показатели высокотехнологичных отраслей промышленности и ИКТ. Эффект прямых и обратных потоков составляет 0,30 и 0,22% соответственно. Далее, используя 29 наиболее инновационных отраслей, наши модели объясняют 25% вариаций запуска инноваций в целом. Обратные потоки составляют 12,8% вариаций в форме фиксированных эффектов, в то время как прямые потоки не оказывают существенного влияния в двумерных регрессионных моделях. С учетом фактора времени оба эффекта сетевого стимула значимы и объясняют 27,9% вариаций в целом. Небольшой коэффициент прямых потоков в парной регрессии может быть

в некоторой степени объяснен умеренной отрицательной корреляцией между инновациями, ожидаемыми прямыми и обратными потоками, вследствие асимметричной структуры сети. Наконец, наша модель имеет тест на мультиколлинеарность ($VIF = 1,8$) и альтернативные расчеты, которые показывают, что прямые потоки ортогонализуются по отношению к обратным потокам, удаляя общую дисперсию прямых и обратных потоков. В этих альтернативных расчетах для 44 наиболее инновационных отраслей прямые потоки объясняют 3,9% вариаций внутри и 42,2% вариаций между отраслями. Для 29 наиболее инновационных отраслей прямые потоки объясняют 2,9% внутренних и 13,3% межотраслевых вариаций.

Заключение. Динамическая эволюция инновационных систем - это процесс, возникающий в результате нетривиального взаимодействия социальных, экономических и технологических стимулов и возможностей. Понимание того, как технологии совместно эволюционируют и обеспечивают повышательные и понижательные стимулы к инновациям в других частях технологической системы, требует как количественного, так и качественного анализа. Наше исследование ставило целью ответить на главный вопрос о том, имеют ли сетевые стимулы значение в количественном контексте для крупных инноваций и какие факторы определяют структуру и эволюцию сетей крупных инноваций.

В нашем исследовании предпринята попытка представить аргументы того, что крупные инновации находятся под негативным влиянием сетевого стимула, как прямых, так обратных потоков. Как уже показано выше, стимулы инновационной сети объясняют 30% вариаций инновационной активности в разных отраслях и во времени.

Эволюция самой инновационной сети определяется также статистически наблюдаемыми устойчивыми механизмами. Представленные результаты ясно свидетельствуют о том, что формирование связей инновационных сетей в первую очередь определяется исторической топологией сети. Инновационная сеть имеет иерархическую структуру с сильной устойчивостью и стабильностью в сетевых связях, сформированную с помощью «преференциального распределения веса». Основные отрасли-поставщики инноваций выступают в качестве хабов, соединяющих различные отрасли в сеть. Таким образом, наши результаты говорят в пользу наличия ключевых отраслей промышленности, некоторые из которых основаны на технологиях общего назначения, создавая устойчивую и локально звездообразную структуру сообщества. Многие из этих ключевых отраслей находятся в сфере ИКТ.

Наличие экзогенных факторов менее очевидно. В то время как вертикальная технологическая связь имеет последовательную объяснительную силу, экономические показатели и показатели квалификации демонстрируют более сложную связь с инновационными потоками. В моделях, которые анализируют наличие связи между отраслями, показатели взаимосвязанности имеют положительные результаты, устойчивые к различным расчетам модели.

В целом, эти результаты имеют следующие последствия для понимания того, как происходят технологические сдвиги. Во-первых, наши результаты подтверждают предположения о сетевом стимулировании, преференциальном распределении и исторической сходимости как о важных механизмах эволюции инновационных систем и формирования структуры сообщества. Однако эти результаты также означают, что некоторые поставщики инноваций, главным образом ИКТ, и пользователи инноваций, например, целлюлозно-бумажные, деревообрабатывающие, строительные отрасли и транспортные услуги, особенно важны для создания сетевых стимулов. Кроме того, наши результаты показывают, что преференциальное распределение создает небольшую долю каналов поставки и использования инноваций, на которые

приходится значительная доля инновационных потоков, примерами которых являются связи между медицинской промышленностью и услугами здравоохранения, производством пластмасс и пищевых продуктов, а также между измерительными приборами и целлюлозно-бумажной продукцией. Понимание таких ключевых секторов и ключевых связей может стать полезным инструментарием для регуляторов инновационной политики. Во-вторых, результаты нашего исследования свидетельствуют о том, что с точки зрения формирования сетевых связей, сети крупных инноваций существенно отличаются от сетей научно-исследовательской деятельности. В то время как имеющиеся результаты говорят о положительном влиянии показателей взаимосвязанности в базовых моделях, наличие отрицательных взаимосвязей с традиционными показателями экономических, научных и практических прокси-звеньев позволяет предположить, что сети радикальных инноваций движимы технологической диверсификацией. Другое частичное объяснение состоит, например, в том, что воплощенные потоки НИОКР отражают неинновационные связи или подхватывают традиционные отраслевые структуры, а не крупные инновации. Таким образом, в настоящем исследовании возник вопрос о том, можно ли рассматривать различные прокси-звенья инновационных сетей и технологических взаимозависимостей, например, построенные с помощью вмененных потоков НИОКР или сетей патентного цитирования, как отражающие все виды инновационной деятельности.

Известно, что деструктивные инновации, приводящие в движение технологические системы, не являются непредсказуемыми, поскольку предыдущие инновационные связи между отраслями являются сильными предвестниками будущих связей. Следовательно, понимание эволюции технологических систем требует постоянного исследования и анализа прямых показателей инновационных потоков или данных патентной сети, которые различают радикальные и инкрементальные инновации.

Литература / References

1. Gómez-Merino F.C., Trejo-Téllez L.I., Méndez-Cadena M.E. & Hernández-Cázares A.S. Education, Science and Technology in Mexico: Challenges for Innovation // *International Education Studies*. 2017. No 10 (5). Pp. 115-128.
2. Sveikauskas L. R&D and Productivity Growth: A Review of the Literature. U.S. Bureau of Labor Statistics, Office of Productivity and Technology // *Working paper*. 2007. P. 408. DOI:10.2139/ssrn.1025563
3. Ugur M., Trushin E., Solomon E. and Guidi F. R&D and productivity in OECD firms and industries: A hierarchical meta-regression analysis // *Research Policy*. 2016. No 45. Pp. 269-286. DOI:10.1016/j.respol.2016.08.001
4. Johnson S. The Genius of the Tinkerer // *The Wall Street Journal*. 2010. Sep. 28. <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052748703499604575512751348816216>
5. Freeman C. Networks of innovators: A synthesis of research issues // *Research Policy*. 1991. No 20(5). Pp. 499-514. <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:respol:v:20:y:1991:i:5:p:499-514>
6. Newman M.E.J. Networks: An Introduction // *Oxford University Press*. 2010. P. 394. DOI:10.1162/artl_r_00062
7. Cowan R. and Foray D. Evolutionary economics and the counterfactual threat: on the nature and role of counterfactual history as an empirical tool in economics // *Journal of Evolutionary Economics*. 2002. No 12(5). Pp. 539-562. DOI.org/10.1007/s00191-002-0134-8.
8. Malerba F., Nelson R., Orsenigo L., and Winter S. Innovation and the Evolution of Industries: History Friendly Models. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2016. P. 7-27. DOI:10.1017/CBO9781107280120
9. Mowery D.C. and Nelson R.R. Sources of Industrial Leadership: Studies of Seven Industries. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. P. viii; 2008. P. 401. DOI:10.1017/S0022050700430263
10. Solleiro J.L., Katya Luna R.C., Herrera A., Montiel M. A Comparative Analysis of Innovation Policy in Mexico, Spain, Chile and Korea. Conference Paper. September 2007. DOI:10.1109/PICMET.2007.4349353
11. Johansen S. Identifying restrictions of linear equations with applications to simultaneous equations and cointegration // *Journal of Econometrics*. 1995. No 69(1). Pp. 111-132. DOI:10.1016/0304-4076(94)01664-L
12. Capdevielle M. and Natera J.M. Innovation, absorptive capacity and growth heterogeneity: Development paths in Latin America 1970-2010 // *Structural Change and Economic Dynamics*. 2016. No 37. Pp. 27-42.
13. Archibugi D. and Coco A. A New indicator of technological capabilities for developed and developing countries (ArCo). *World Development*. 2004. No 32(4). Pp. 629-654.
14. Nelson R.R. National Innovation Systems: A Comparative Analysis. New York; Oxford: Oxford Univ. Press, 1993. P. 541. No 2. ISBN 0-19-507617-6.
15. Fagerberg J. Technology and international differences in growth rates // *Journal of Economic Literature*. 1994. No 32(3). Pp. 1147-1175.
16. Schumpeter J.A. Capitalism, Socialism and Democracy. London: Taylor & Francis e-Library, 2003. P. 460. ISBN 0-415-10762-8
17. Solow R.M. A contribution to the theory of economic growth // *The Quarterly Journal of Economics*. 1956. № 70(1). Pp. 65-94.

18. Erdős P., Rényi A. *On the evolution of random graphs* // *Magyar Tudományos Akadémia Matematikai Kutató Intézetének Közleményei [Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences]*. 1960. T. 5. DOI:10.1090/s0002-9947-1984-0756039-5
19. Ravasz E., Barabási A.L. *Hierarchical organization in complex networks* // *Phys. Rev. E Stat Nonlin Soft Matter Phys.* 2003. Feb. No 67(2 Pt 2). 026112. DOI: 10.1103/Phys. Rev. E. 67.026112. Epub 2003. Feb 14. 2003.



Статья поступила 01.02.2021. Статья принята к публикации 01.04.2021.

Для цитирования: Б.Д. Матризаев. Исследование механизмов определения структуры и эволюции инновационных систем // Проблемы прогнозирования. 2021. № 5(188). С. 139-148.

DOI: 10.47711/0868-6351-188-139-148

Summary

A STUDY OF WAYS FOR DETERMINING THE STRUCTURE AND EVOLUTION OF INNOVATION SYSTEMS

B.D. MATRIZAEV, Cand. Sci. (Econ.), Financial University under the Government of the RF, Moscow, Russia.

Abstract: The article examines the model of the supply of innovations and their further diffusion in various sectors of the economy through research and comparative analysis of the evolution of innovation systems and their relationship with the sectors of the economy, based on the cluster (network) system of innovation policy in the EU countries in 1970-2018. Empirical results show that the properties of a cluster innovation network can be strictly predicted due to the network stimulation of both forward and reverse flows, while there are several other elements that have a significant and more complex impact on the formation of these nodal connections: these are primarily competencies, knowledge, and economic interdependences.

Keywords: innovation system, cluster (network) system, innovation flows, evolution, coevolution, dynamics

Received 01.02.2021. Accepted 01.04.2021.

For citation: B.D. Matrizhev. A Study of Ways for Determining the Structure and Evolution of Innovation Systems // *Studies on Russian Economic Development*. 2021. Vol. 32. No. 5. Pp. 548-553.

DOI: 10.1134/S1075700721050087