

А. Пыка, П. Арвейлер, Н. Джилберт

ПОРОЖДЕНИЕ И ДИФФУЗИЯ ЗНАНИЯ В ИННОВАЦИОННЫХ СЕТЯХ: ИМИТАЦИОННАЯ АГЕНТСКАЯ МОДЕЛЬ

В статье описывается имитационная агентская модель, представляющая теорию динамических процессов в области инноваций в современных наукоемких отраслях. Агентский подход позволяет представить гетерогенных агентов, имеющих индивидуальные запасы знания. Имитация дает возможность смоделировать состояние неопределенности, исторические изменения, влияние неудач на популяцию агентов, а также обучение агента на основе собственного опыта, индивидуальных исследований, опыта партнеров и сотрудников. Моделирование демонстрирует, что искусственные инновационные сети обнаруживают некоторые характеристики, общие с инновационными сетями в наукоемких отраслях, которые трудно интегрировать в традиционные модели индустриальной экономики.

Ключевые слова: *инновационные сети, агентское моделирование, безмасштабные сети.*

A. Pyka, P. Ahrweiler, N. Gilbert

KNOWLEDGE GENERATION AND DIFFUSION PROCESSES IN INNOVATION NETWORKS — AN AGENT-BASED SIMULATION MODEL

An agent-based simulation model representing a theory of the dynamic processes involved in innovation in modern knowledge-based industries is described. The agent-based approach allows the representation of heterogeneous agents that have individual and varying stocks of knowledge. The simulation is able to model uncertainty, historical change, effect of failure on the agent population, and agent learning from experience, from individual research and from partners and collaborators. The aim of the simulation exercises is to show that the artificial innovation networks show certain characteristics they share with innovation networks in knowledge intensive industries and which are difficult to integrate into traditional models of industrial economics.

Keywords: *innovation networks, agent-based modelling, scale free networks.*

Введение

Современные наукоемкие рынки — не просто места покупки и продажи товаров: это арены, где возникают инновации, где знание порождается, передается, рекомбинируется и обменивается. В таких конкурентных средах с быстро меняющимися глобальными технологическими и экономическими требованиями (Bahlmann 1990) и разнообразием институциональных инфраструктур (Amable 2003) фирма может улучшить свое положение, только используя ресурсы более творчески и рационально, нежели ее конкуренты (Lam 2003). Чтобы сохранить конкурентные преимущества, фирмы должны постоянно учиться. С точки зрения организаций кооперативные исследования в так называемых инновационных сетях стали значимой альтернативой, дающей доступ к внешним источникам знания. В инновационных сетях, которые являются результатом различных видов горизонтального и вертикального двустороннего сотрудничества, акторы инновационного процесса разделяют и развивают новое знание совместно с другими акторами (Рука 2002).

Сети — основной способ координации, который особенно актуален в таких наукоемких секторах рынка, как биотехнологии и информационно-коммуникационные технологии. Необходимость создания и передачи знания внутри отраслей — одна из главных причин построения сетей. Пауэлл (Powell 1990: 304) предполагает, что такие качественные особенности, как инновационно-дружественная стратегия, особый стиль производства, технологический потенциал, ноу-хау или философия нулевого дефекта, невозможно оценить и продать на рынке. Совмещение ресурсов знания в сетях ведет к инновациям и обучению, которых трудно достичь другими средствами (Summerton 1999).

В теории промышленной организации совместные исследования и разработки (R&D) считались временным явлением, а, учитывая четко установленные антимонопольные принципы, соглашения о сотрудничестве в целом вызывали подозрение. Так, в теории транзакционных издержек инновационные сети рассматривались как гибридная форма промышленной организации между иерархией и рынками, которая в конечном итоге исчезнет. В качестве примера приводилось развитие биотехнологических отраслей, где с конца 1980-х гг. известные фармацевтические фирмы участвовали в совместных исследованиях со специализированными биотехнологическими стартап-компаниями (напр., Рука, Saviotti 2005). Предполагалось, что это сотрудничество направлено на принятие биотехнологической парадигмы теми фармацевтическими компаниями, которые до этого специализировались в области органической химии. Более того, данное сотрудничество считалось кратковременным: либо крупные фармацевтические компании сами станут компетентными в области биотехнологий (что предполагало приобретение стартапов) и, следовательно, не будут больше нуждаться в партнерах, либо биотехнологические стартап-компании вытеснят крупные фармацевтические фирмы и сами станут главными игроками в фармацевтике. Ни одна из этих крайних альтернатив не осуществилась. В начале XXI в. обе популяции акторов, фармацевтические компании и небольшие биотехнологические фирмы продолжают сосуществовать, а инновационные

сети по-прежнему формируют промышленную организацию R&D в этой отрасли.

Отсутствие интереса к R&D-сотрудничеству, сохранявшееся в теории промышленной организации до конца 1980-х гг., можно возвести к негативному взгляду на технологические внешние эффекты, характерному для неоклассической экономики промышленности. Технологический спилловер, т. е. ненамеренный и неконтролируемый поток знания, вызванный предполагаемой природой нового технологического знания как общественного блага, рассматривался в основном как сдерживающий R&D (напр., Levin, Reiss 1988) и, следовательно, неблагоприятный для экономического роста. Этот взгляд меняется только в конце 1980-х гг., когда R&D-сотрудничество начинает привлекать внимание. В 1988 г. Д'Аспремон и Жакмен показали, что сотрудничество в области R&D приводит к интенсификации R&D в отрасли в ситуации высокой степени технологического спилловера. Коэн и Левинталь (Cohen, Levinthal 1989) ввели понятие «потенциал поглощения», который необходим фирмам, чтобы получать выгоду от технологических спилловеров. Соответственно, технологические спилловеры скорее всего будут поддерживать инновационные процессы в промышленности.

Однако из-за своего статичного характера эти тяготеющие к равновесию модели неоклассически ориентированной промышленной организации не способны учесть процессы обучения. Процесс промышленного обучения впервые занял центральное место в новой литературе, посвященной промышленной динамике в неошумпетерианской традиции (Hanusch, Пыка 2006). Отмечая сдерживающий эффект спилловеров, направление промышленной динамики также всячески подчеркивает их способность порождать знание (см., напр., Cantner, Пыка 1999; Eliasson 1995) — именно эта способность генерировать знание и является главным мотивом промышленных акторов к сотрудничеству в области R&D. Для анализа влияния этих взаимных потоков знания в промышленных процессах обучения неприменимы традиционные рамки моделирования с их строгими предпосылками. Вместо этого для анализа динамики процессов обучения в промышленности, где задействованы разнородные акторы, используются количественные имитационные модели индустриальной динамики (см., напр., Windrum 2007). В последние несколько лет особенно часто применяется методология агентского моделирования (*agent-based modeling (ABM)*) (см., напр., Gilbert, Troitsch 1999; Tesfatsion 2001).

Агентское моделирование имеет определенные преимущества (Пыка 2006; Пыка, Fagiolo 2007). С его помощью описывается децентрализованная совокупность агентов, действующих автономно в различных контекстах. Параллельные и локальные взаимодействия в массе могут привести к зависимости от пройденного пути, динамическим возвратам и взаимодействию между ними. В этой среде можно смоделировать такие глобальные явления, как развитие и диффузия технологий, возникновение сетей, стадное поведение и др., — явления, которые могут вызвать трансформацию наблюдаемой системы. Этот подход к моделированию фокусируется на описании агентов, их отношений и процес-

сов, управляющих трансформацией. В целом, применение агентского моделирования имеет два преимущества в отношении знания и обучения.

Первое преимущество агентского моделирования состоит в том, что оно позволяет показать, как в процессе взаимодействия автономных и разнородных агентов возникают коллективные явления. Более того, оно позволяет выделить ключевое поведение агентов и идентифицировать тех из них, кто больше других участвует в создании коллективного результата системы. Оно также способствует определению момента времени, когда система обнаруживает не просто количественные, а качественные изменения. Второе преимущество состоит в возможности использовать агентское моделирование как лабораторию для изучения различных институциональных конфигураций и потенциальных путей развития, оказывая консультационную помощь фирмам, управленцам и политикам в процессе принятия решений.

Цель данной статьи, основанной на более ранней публикации, — описание имитационной агентской модели («Симуляция динамики знания в инновационных сетях» — *Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks (SKIN)*, которая позволяет изучать инновационные сети и их развитие)*. Агенты сконструированы таким образом, чтобы отражать основанное на знании понимание промышленной динамики, т. е. обладают неполным знанием, которое пытаются расширить, и действуют в неопределенной среде, которая постоянно меняется под их влиянием. Базовая структура модели описывается в разделе «Имитационная агентская модель». Раздел «Возникновение инновационных сетей в искусственном мире» посвящен различным симуляционным экспериментам, демонстрирующим работу модели. В частности, показывается, что инновационные сети могут быть постоянной, а не преходящей организационной формой промышленных R&D (параграф «Инновационные сети как постоянная форма промышленной организации R&D»), как утверждает традиционная теория промышленной организации. Феномен инновационных сетей тесно связан с возникновением в 1980-х гг. экономик, основанных на знании. И действительно, инновационные сети в своей архитектуре и динамике демонстрируют определенные характеристики, основанные на знании (напр., Powell et al. 2005), которые также обнаруживаются в наших искусственных инновационных сетях. В параграфе «Сценарный анализ сетевой архитектуры» мы анализируем эти черты, в особенности масштабно-инвариантные свойства инновационных сетей. В конце статьи подводятся некоторые итоги.

Имитационная агентская модель

SKIN — это мультиагентская модель, содержащая разнородных агентов, которые действуют и взаимодействуют в сложной и меняющейся среде. Агенты представляют инновационные фирмы, которые пытаются продать свои инновации другим агентам и конечным пользователям, но вынуждены покупать

* См.: Pyka, Gilbert, Ahrweiler 2007; более детальное описание архитектуры модели см.: Ahrweiler, Pyka, Gilbert 2004.

сырье или же более сложные продукты у других агентов (или поставщиков), чтобы произвести конечный продукт. Эта базовая модель рынка расширяется за счет представления динамики знания внутри и между фирмами. Каждая фирма пытается улучшить инновационные показатели и продажи, углубляя свои знания путем изучения потребностей пользователей, получения дополнительных или абсолютно новых знаний, сотрудничества и сетевого взаимодействия с другими агентами. Теперь перейдем к более детальному описанию самой модели.

Ключевое понятие модели — знание, которое проявляется в инновационном производстве или поставке товаров и услуг. Подход к представлению знания, использованный в модели, близок к эволюционной модели производства знания С. Тулмина (Toulmin 1967). Тулмин сравнивал понятия, верования и интерпретации с «генами» научно-технического развития, которые эволюционируют во времени в процессе отбора, изменчивости и закрепления. Р. Экерман (Askertmann 1970) проинтерпретировал работы Куна и Поппера в этой перспективе, допустив различные системы отбора. В модели SKIN для представления совокупного знания организации используется понятие «кен» (*kene*) (Gilbert 1997).

Агенты. Индивидуальное знание агента в модели SKIN состоит из некоторого числа «единиц знания». Каждая единица представлена в виде четверки: потенциал фирмы (С) (*capability*) в области науки, технологии или бизнеса (напр., в области биохимии), выраженный целым числом; ее способность (А) (*ability*) осуществлять прикладные задачи в этой области (напр., процедуру синтеза или фильтрации в биохимии), выраженная вещественным числом; уровень экспертного знания (Е) (*expertise level*), которым фирма располагает по отношению к этой способности (выраженный целым числом); направление исследований (RD) (*research direction*), которое описывается континуумом от 0 до 9 в зависимости от того, ориентирован ли актер на фундаментальные (0) или на прикладные (9) исследования. Направление исследований позволяет учитывать наряду с фирмами также университеты и научно-исследовательские институты. В случае, если изучаются только фирмы, мы убираем из кена RD и работаем только с тройкой С/А/Е. Кен фирмы — это совокупность ее четверок RD/С/А/Е, имеющих разный размер и представляющих искусственное пространство знания (рис. 1).

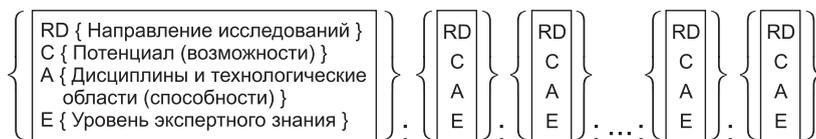


Рис. 1. Кен фирмы

Когда фирма создается, она обладает стартовым капиталом. Он нужен для рыночного производства и для расширения базы знания, и фирма может увели-

читать его, продавая товары. Размер фирмы определяется объемом капитала, которым она владеет. Капитал влияет на величину знания, которое он способен поддерживать, и выражается числом троек в кене фирмы. Большинство фирм с самого начала получают стартовый капитал, однако для моделирования различий в размере фирм одни случайно выбранные фирмы получают больший капитал, чем другие. Во многих наукоемких отраслях мы обнаруживаем сосуществование крупных и мелких акторов, например, крупных фармацевтических компаний и биотехнологических стартапов или бывших государственных монополистов и специалистов в области высоких технологий в сфере ИКТ. Распределение фирм в зависимости от размера заставляет различать крупных и мелких акторов в процессе имитации.

Рынок. Фирмы используют свое знание для создания инновационных продуктов, которые могут стать успешными на рынке. Особый фокус фирмы, ее инновационный потенциал мы будем называть инновационной гипотезой. В нашей модели инновационная гипотеза (ИН) вытекает из набора троек кена (рис. 2).

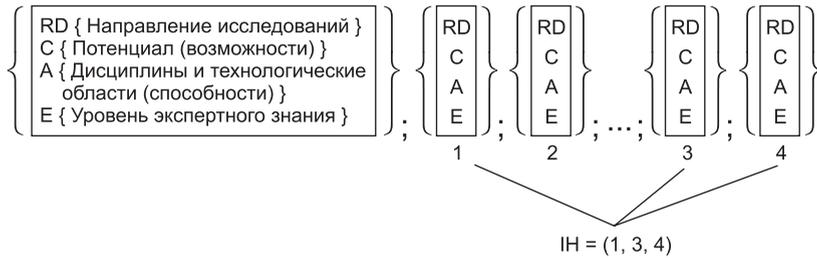


Рис. 2. Формирование инновационной гипотезы

Идея, лежащая в основе инновации, которая моделируется инновационной гипотезой, — это источник, который агент использует в своем стремлении получить прибыль на рынке. Превращение инновационной гипотезы в продукт делается с помощью картирования, когда возможности инновационной гипотезы используются для вычисления числового индекса, представляющего продукт. Применяемая процедура трансформации делает возможным сравнение сходных продуктов, основанных на разных кенах, что недалеко от реальности, где производственные технологии фирм значительно различаются между собой.

Продукт фирмы P генерируется из ее инновационной гипотезы как

$$(уравнение 1) \quad P = \sum_{ИН} C_i \quad \text{mod } N$$

(где N константа).

Продукт обладает неким качеством, которое также вычисляется из инновационной гипотезы сходным образом: путем умножения возможностей и уровня

экспертизы для каждой тройки в инновационной гипотезе и нормализации результата.

Для производства продукта агенту требуются материалы. Он может получать их вне сектора («сырье») либо у других фирм, которые произвели их как свои продукты. Инновационная гипотеза также определяет то, что именно необходимо агенту: вид материала, требующийся для производства, получается путем выбора наборов из инновационных гипотез и применения стандартной функции картирования (см.: уравнение (1)).

Материалы выбираются так, что каждый отличается от других и отличается от собственного продукта фирмы. Чтобы участвовать в производстве, все материалы должны быть доступны на рынке, т. е. поставляться другими агентами или быть доступными в качестве сырья. Если материалы отсутствуют, то агент не может производить продукт и отказывается от инновации. Если для определенного товара существует более одного поставщика, то агент выбирает самый дешевый товар, а если есть несколько сходных предложений, то самый качественный (рис. 3).

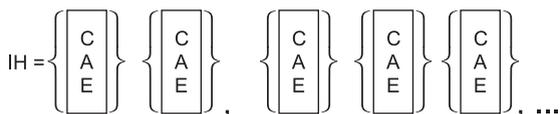


Рис. 3. Требования фирмы к сырьевому обеспечению

Сырьевое обеспечение 1: $(A1 + A2)$ модуль N

Сырьевое обеспечение 2: $(A3 + A4 + A5)$ модуль N

Если агент хочет производить, то он должен определить цену своего продукта с учетом цен на сырье и возможной прибыли. Имитация начинается со случайных цен на продукты, однако со временем механизм регулирования цен увеличивает продажную цену в случае большого спроса и снижает ее (но не ниже себестоимости), если покупателей нет. Ряд товаров считаются товарами для конечного потребителя и продаются потребителям за пределами сектора: спрос на такие товары существует всегда при условии, если они предлагаются по цене, равной фиксированной цене, установленной для конечного пользователя, или ниже. Итак, агент покупает нужные ему материалы у поставщиков, применяя свой капитал, производит продукт и выставляет его на рынок для продажи. Используя механизм регулирования цен, агенты адаптируют свои цены к спросу и обучаются в процессе благодаря механизму обратной связи.

Создавая продукт, агент применяет знание, лежащее в основе его инновационной гипотезы, тем самым он увеличивает свою компетентность в этой области. Так моделируется обучение посредством создания/использования. Уровень знания в тройках инновационной гипотезы увеличивается на 1, а уровень знания в других тройках снижается на 1. Неиспользуемые тройки в кене в ко-

нечном счете доходят до 0 и вычеркиваются из кена, а соответствующие способности «забываются» или «отклоняются».

Обучение и сотрудничество: *улучшая инновационные показатели.* Пытаясь достичь успеха на рынке, фирмы зависят от своих инновационных гипотез и, следовательно, от своего кена. Если продукт не встречает спроса, фирма должна адаптировать свое знание, чтобы произвести нечто другое, пользующееся спросом (см., напр.: Duncan 1974). В нашей модели у фирмы есть несколько способов улучшить свои показатели либо самостоятельно, либо в сотрудничестве с кем-либо и либо постепенно, либо более радикальным образом. Общим для всех стратегий является то, что они требуют затрат: фирма должна платить «налог» на применение стратегии повышения эффективности.

Получение дополнительных знаний. Если предыдущая инновация фирмы была успешной, т. е. ей удалось найти покупателей, фирма продолжит продавать тот же продукт. Однако если продукт не продается, фирма понимает, что пора меняться (оценка обратной связи). И если у фирмы достаточно капитала, она может проводить дополнительные исследования (R&D в лабораториях фирмы).

Дополнительные знания (см. Cohen, Levinthal 1989) означают, что фирма пытается улучшить свой продукт, изменяя одну из способностей, заложенных в тройках ее инновационной гипотезы, придерживаясь при этом своих ключевых способностей. Способность в каждой тройке оказывается моментом в соответствующем поле возможных действий. Двигаться в этом поле означает продвигаться вверх или вниз постепенно, создавая условия для двух возможных «исследовательских направлений».

Вначале исследовательское направление фирмы задается случайно. Затем она учится приспосабливаться к успеху или к неудаче: если движение в пространстве действия было удачным, фирма будет придерживаться того же направления исследований в той же тройке. Если же оно оказалось неудачным, то фирма случайно выберет другую тройку из инновационной гипотезы и предпримет другую попытку в случайном исследовательском направлении.

Получение абсолютно новых знаний. Если фирма находится под сильным давлением, например, если ей угрожает банкротство, она обращается к более радикальным мерам, изучая совершенно другую область рыночных возможностей. В нашей модели агент, находящийся под финансовым давлением, обращается к новой инновационной гипотезе после того, как вначале «изобретает» новую возможность для ее кена. Это делается с помощью случайной замены одной возможности в кене на другую и последующего порождения новой инновационной гипотезы.

Партнерства. В нашей модели агент может обратиться к партнерству (альянсы, совместные предприятия и пр.) для использования внешних источников знания. Решение о том, как и с кем сотрудничать, основано на взаимном наблюдении фирм, которые оценивают шансы и требования, исходящие от конкурентов, потенциальных и бывших партнеров и клиентов.

Информация, которую фирма может собрать о других агентах, обеспечивается с помощью рыночного механизма: для рекламы своего продукта

фирма заявляет о возможностях своей инновационной гипотезы. Возможности, не включенные в инновационную гипотезу и, следовательно, в продукт, не видны внешним наблюдателям и не могут быть использованы при выборе фирмы в качестве партнера. Реклама фирмы, таким образом, составляет основу для решений других фирм вступать или нет в отношения сотрудничества.

Экспериментируя с моделью, мы можем выбирать между двумя стратегиями поиска партнеров, в каждой из которых фирма сравнивает собственные возможности, заложенные в ее инновационной гипотезе, с возможностями потенциального партнера, заложенными в его рекламе. В консервативной стратегии фирму будет привлекать партнер с близкими возможностями, в прогрессивной стратегии притяжение основано на различиях в наборе возможностей.

Предыдущий успешный опыт взаимодействия обычно благоприятствует обновлению партнерства. Это отражается в модели: в поисках партнера фирма вначале обращает внимание на бывших партнеров, затем на своих поставщиков, клиентов и, наконец, на всех остальных. Если находится фирма, достаточно привлекательная с точки зрения выбранной стратегии (т. е. привлекательность выше «порога привлекательности»), то фирма прекращает поиски и предлагает партнерство. Если потенциальный партнер желает ответить на предложение, то партнерство завязывается.

Модель предполагает, что партнеры узнают только о том знании, которое активно используется другим агентом. Так, чтобы научиться у партнера, фирма добавляет тройки инновационной гипотезы партнера к своим собственным. В случае новых для фирмы возможностей уровень знания в тройках, взятых у партнера, сокращается на единицу, чтобы отразить трудности интеграции внешнего знания (ср. Cohen, Levinthal 1989). В случае уже известных возможностей партнера, если его уровень знания выше, фирма отдаст предпочтение его тройке перед своей, если же его уровень знания ниже, то она будет придерживаться своей тройки. После завершения трансфера знания каждая фирма продолжит производить свой продукт, возможно, на более высоком уровне в результате приобретения навыков партнера.

Сети. Если инновация фирмы была успешной, т. е. объем прибыли был больше порогового значения, и у фирмы есть партнеры, то она может начать формирование сети. Это может увеличить ее прибыль, поскольку сеть будет стремиться создавать инновации в качестве автономного агента в дополнение к тем, что создаются ее членами, и будет распределять вознаграждения своим членам, которые тем временем смогут продолжать собственные попытки увеличить прибыль.

Сети — это тоже агенты, они получают тот же объем капитала, что и другие фирмы, и могут участвовать во всех видах деятельности, доступных для других фирм. Кен сети — это объединение троек из инновационных гипотез всех участников. Если сеть успешна, весь заработок выше первоначального объема капитала будет распределяться между ее членами, если она неудачна и ее постигло банкротство, она распускается.

Стартапы. Если сектор успешен, то он будет привлекать новые фирмы. Это моделируется путем добавления новой фирмы к популяции, в которой любая существующая фирма получает значительную прибыль. Новая фирма — это клон успешной фирмы, причем тройки ее кена равны тройкам, заданным в рекламе успешной фирмы, и уровень экспертизы равен 1. Так моделируется новая фирма, копирующая характеристики успешных на рынке фирм. Как и в случае всех остальных фирм, кен также может быть ограничен, поскольку первоначальный капитал стартапа ограничен и его может не хватать для поддержки копирования инновационной гипотезы успешной фирмы в полном объеме.

Возникновение инновационных сетей в искусственном мире

Принимая стратегию эмпирически и исторически обоснованного моделирования (Malerba et al. 2001), модель следует за теоретическими концепциями и эмпирическими открытиями в области социально-экономического исследования инноваций. В целях проверки того, имеют ли результаты при заданных параметрах сходство с эмпирическими наблюдениями (из-за стохастической природы моделируемых процессов и наличия неизмеряемых факторов точных совпадений трудно ожидать — это детально обсуждается в: Gilbert, Troitzsch 1999), мы соотносим результаты моделирования с эмпирическими данными. Для этого мы используем наше собственное исследование инновационных сетей в британской и немецкой фармацевтической промышленности (см. Ahrweiler, Gilbert, Pyka 2006).

В реальном мире, как и в модели, мы наблюдаем первоначальный шейкаут и усиление сотрудничества на ранней стадии развития отрасли из-за отсутствия поглощающих возможностей и негибкости больших фирм, которые вынуждены полагаться на специализированные малые высокотехнологичные предприятия. Со своей стороны, малые фирмы нуждаются в крупных для коммерциализации своего технологического знания. В результате наблюдается изменение в платформе знания сектора по мере того, как акторы создают сети, чтобы использовать компетенции друг друга.

Позднее, по мере развития сектора, композиция, стратегии присоединения и структурные свойства сетей изменяются — как эмпирически, так и в симуляционной отрасли — в сторону усиления партнерства равных и роста финансов как связи между фирмами, в дополнение к R&D связям (описание сходной эволюции динамики сетей в американской биотехнологической отрасли см.: Powell et al. 2005). Риски и неопределенность, присущие созданию новых лекарств, выражаются в высокой степени отсева проектов и фирм. Наша модель способна воспроизвести эти наблюдаемые эмпирические черты.

Последующие разделы знакомят с развитием созданного нами искусственного мира и показывают широкие возможности анализа эволюции сетей, которые он предоставляет. Вначале мы покажем развитие по так называемому стандартному сценарию, а затем сосредоточимся на некоторых экспериментах, изменяя параметры и условия (параметры стартового распределения для стандартного сценария можно найти в Приложении 1). Следуя этому сценарию,

акторы применяют так называемую консервативную стратегию, т. е. ищут партнеров со сходной базой знаний и порогом привлекательности, при этом порог, который нужно преодолеть, чтобы создать новое партнерство, задается на уровне 0.3. Для иллюстрации надежности наших результатов в Приложении 2 задается макс-мин-коридор для одной из переменных в Монте-Карло-симуляции. В разделе 3.2 анализируются различные сценарии, в которых меняются стратегия сотрудничества, число крупных акторов в первоначальном распределении, а также привлекательность порога. Цель этого анализа — рассмотреть детерминанты эволюции сети, их структуру и влияние на эффективность искусственной отрасли.

Инновационные сети как постоянная форма промышленной организации R&D

Основная цель нашего аналитического моделирования — показать, что инновационные сети — это жизнеспособная форма организации промышленного R&D. Для этой цели мы разработали сценарий (так называемый стандартный сценарий). Он должен соответствовать реальным условиям, характерным для наукоемких отраслей, в которых феномен инновационных сетей встречается часто. Фирмы-акторы в нашем искусственном мире участвуют в инновационном процессе, чтобы выжить в среде, где кроме ценовой конкуренции ключевую роль играет конкуренция инноваций. Среди 500 акторов в первоначальном распределении стандартного сценария мы обнаруживаем 50 крупных акторов. Включение в модель крупных акторов отражает ситуацию, характерную для наукоемких отраслей, где несколько очень крупных компаний сосуществуют с большим числом мелких высокотехнологичных фирм.

Рис. 4 показывает увеличение числа акторов. Благодаря выравниванию в первых итерациях — продукты, востребованные клиентами, нужно разрабатывать, а соответствующие факторы производства нужно покупать — значительная доля мелких фирм не может пережить стартовый период по причине малого объема капитала. Однако когда после приблизительно 300 итераций появляются успешные рыночные транзакции, жизнь для мелких фирм становится легкой и процессы выхода стартапов на рынок, следующие за успешными нововведениями, приводят к повторному увеличению числа акторов. В процессе имитации эта ситуация повторяется несколько раз, описывая тем самым циклическое развитие, которое следует за открытием прибыльных областей в инновационном пространстве, использованием этих возможностей и последующим изучением новых областей инновационного пространства. Эти области обнаруживаются благодаря новым сочетаниям кенов акторов.

Рис. 4 показывает эволюцию сетей, измеряемую их числом. В периоды шейкаута, когда доля успешных инноваций снижается из-за ограничения возможностей и одновременно замедляются процессы выхода стартапов на рынок, некоторые сети временно исчезают. Вместе с подъемом инноваций и одновременным увеличением числа выходов на рынок число сетей вновь увеличивается. Циклическое развитие кооперативной деятельности, следовательно, тесно связано с открытием новых крупных технологий (прибыльной областью в ин-

новационном пространстве), ведущих к интенсивной деятельности по созданию сетей*.

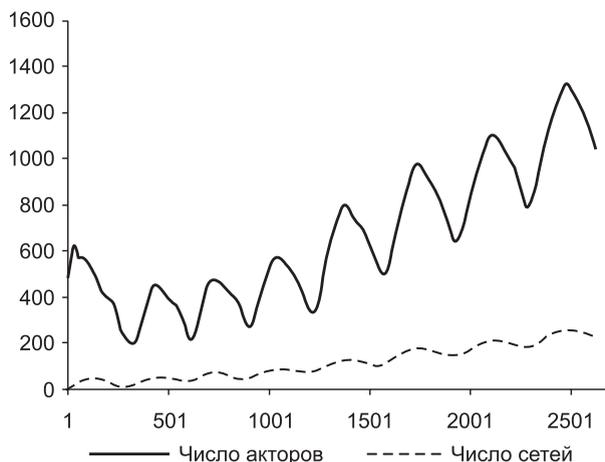


Рис. 4. Эволюция числа акторов и сетей

Хотя постоянно увеличивающееся количество инновационных сетей и указывает на устойчивость этой формы промышленной организации R&D, только более пристальный взгляд на кооперативные связи и композицию сетей позволяет заключить, что инновационные сети — это жизнеспособная форма организации R&D, ведущая к интенсивному развитию отрасли.

На рис. 5 изображена частота распределения размеров сетей. Как и ожидалось, большинство инновационных сетей включает только несколько акторов, которые довольно часто поддерживают длительное двустороннее сотрудничество. Однако существует небольшое число инновационных сетей, включающих шесть и более акторов. Крупные сети играют ключевую роль в потоках знания в нашей искусственной отрасли, о чем свидетельствует рис. 6, на котором изображено развитие связности узлов сети. В теории графов связность — это мера, которая соотносит число актуальных связей с числом потенциальных связей в сети. Обычно она служит грубым показателем распространения диффузии информации в сетях. Высокие значения связности в течение всего времени симуляции указывают на многоканальные потоки знания. Это говорит о высоком уровне диффузии знания, которая является одной из главных функций инновационных сетей.

* Савиотти и Неста показывают, что циклическая природа инновационных сетей в отраслях, основанных на биотехнологиях, соответствует большим технологическим волнам (RDNA, моноклональные антитела, генетика, дизайн белка и т. д.). Каждое технологическое потрясение приводит к новой волне кооперативной деятельности в этих отраслях (Saviotti, Nesta 2006).

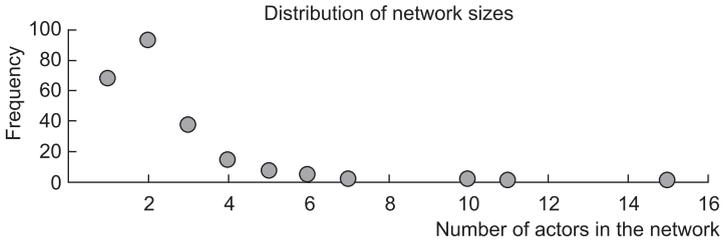


Рис. 5. Распределение размеров сетей

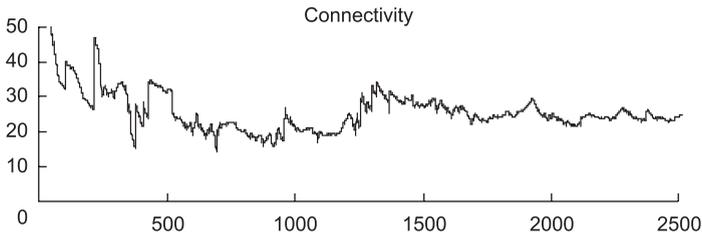


Рис. 6. Развитие связности узлов сети

Результаты симуляции по стандартному сценарию показывают устойчивую природу инновационных сетей в наукоемких отраслях. В следующем разделе мы продемонстрируем, как различные условия влияют на эволюцию инновационных сетей. Это позволит нам лучше понять предпосылки и следствия кооперативных R&D в этих сетях, а также их структурную композицию.

Сценарный анализ сетевой архитектуры. После того, как мы показали, что инновационные сети являются устойчивой организационной формой промышленного R&D, мы можем глубже рассмотреть характеристики сетей и их структурные черты. Инновационные сети в наукоемких отраслях обладают чертами так называемых безмасштабных сетей (Barabasi, Albert 1999). Несколько исследователей (напр., Powell et al. 2005) обнаружили масштабно-инвариантные свойства инновационных сетей в области биотехнологий. Рост таких инновационных сетей, по-видимому, происходит в определенных благоприятных условиях, связанных со стабильностью и с эффективностью сетей, что приводит к неравномерному распределению сетевых связей. В этих сетях некоторые акторы выступают в качестве центральных благодаря большому количеству отношений сотрудничества с другими акторами.

Возникает вопрос, можно ли воспроизвести свойства реальных сетей в искусственном мире и какие условия отвечают за наличие этой особой сетевой архитектуры. С этой целью мы провели несколько экспериментов, изменяя параметры стандартного сценария и изучая их влияние на эволюцию сети. В

качестве переменных были выбраны первоначальное распределение фирм по размеру, стратегия сотрудничества и порог привлекательности.

Первая серия экспериментов касается изменения первоначального распределения фирм по размеру. Ответ на вопрос, начинаем ли мы с равного распределения сходных (небольших) акторов или включаем в распределение некоторое количество крупных акторов (крупные фирмы), можно считать экспериментом, который позволяет проводить анализ влияния крупных акторов на развитие сети. Это имеет особое значение в наукоемких отраслях, где в действительности обычна ситуация, когда крупные акторы, т. е. крупные фармацевтические компании или бывшие государственные монополии в области телекоммуникаций, сосуществуют с небольшими высокотехнологичными фирмами.

Вторая серия экспериментов касается изменения стратегии сотрудничества. Здесь проясняется вопрос, на каком основании в реальном мире акторы выбирают партнеров. Конечно, они хотят приобрести знание, которое не существует в собственной фирме и которое трудно создать самостоятельно. Однако степень новизны внешнего знания и его интеграция могут различаться: в одном случае фирмы пытаются облегчить трудности взаимного обмена знанием с помощью поиска партнеров со сходным знанием (*консервативная стратегия*), в другом случае фирмы пытаются максимизировать объем нового знания, получаемого от партнеров (*прогрессивная стратегия*), рискуя последствиями, к которым могут привести трудности интеграции внешнего знания.

Третья серия экспериментов связана с изменением порога привлекательности. В данном случае анализируется общая установка на сотрудничество, т. е. насколько быстро акторы принимают решение о сотрудничестве.

Полученные в ходе экспериментов результаты приведены в табл. 1, которая описывает сценарные условия.

Таблица 1

Сценарные условия

	Стандартный	I	II	III	IV	V	VI	VII
Количество крупных фирм	50	50	50	50	0	0	0	0
Стратегия сотрудничества	консервативная	прогрессивная	консервативная	прогрессивная	консервативная	прогрессивная	консервативная	прогрессивная
Порог привлекательности	0.3	0.3	0.7	0.7	0.3	0.3	0.7	0.7

Рис. 7 и 8 изображают динамику численности акторов в различных сценариях, в зависимости от применяемой стратегии сотрудничества.

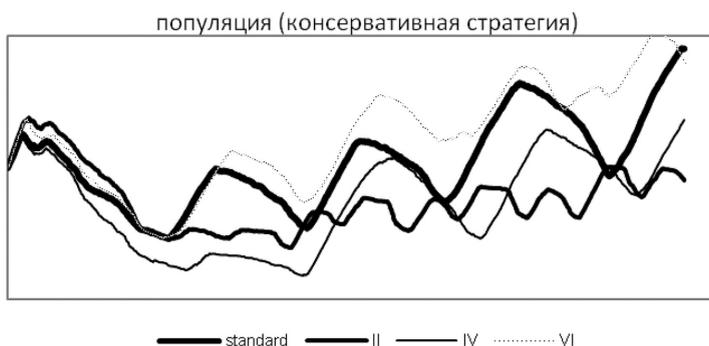


Рис. 7. Развитие популяции акторов в сценариях с консервативной стратегией

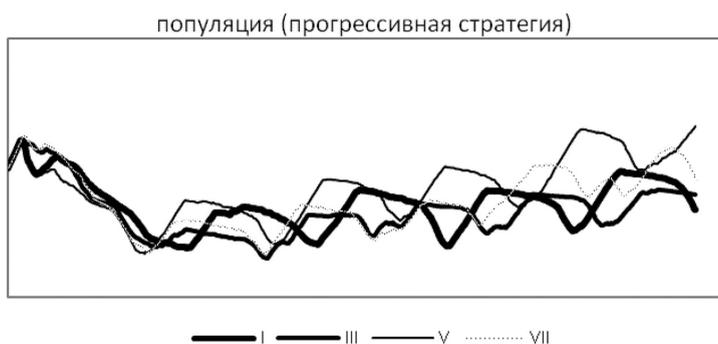


Рис. 8. Развитие популяции акторов в сценариях с прогрессивной стратегией

Сценарии с консервативной стратегией более успешны в отношении процессов выхода на рынок. И поскольку выход связан с инновацией, акторы, применяющие консервативную стратегию, чаще создают успешные инновации по сравнению с аналогичными условиями, когда применяется прогрессивная стратегия. Таблица 2. показывает линейные тренды роста* в различных сценариях. В сценарии II, отражающем высокое значение порога привлекательности, значение тренда (несколько) ниже по сравнению с соответствующим сценарием III с прогрессивной стратегией.

* Линейные тренды роста измеряются углом наклона линии линейной регрессии.

Линейные тренды роста акторов

	стан- дарт- ный	I	II	III	IV	V	VI	VII
тренд роста числа фирм	0.241	0.001	-0.03	-0.021	0.167	0.153	0.371	0.063

Низкий порог привлекательности обычно сочетается с более выраженными шейкаутами или высокой степенью волатильности развития. В этих случаях акторы менее разборчивы при выборе партнеров, принимая тем самым потенциально высокий риск неудачи и связанный с ним уход с рынка.

Различные сценарии развития популяции акторов влияют на концентрацию (рост рыночных долей) в отрасли. Степень концентрации рынка измеряется индексом Херфиндаля*, который изображен на рис. 9 для стандартного сценария и сценария IV.

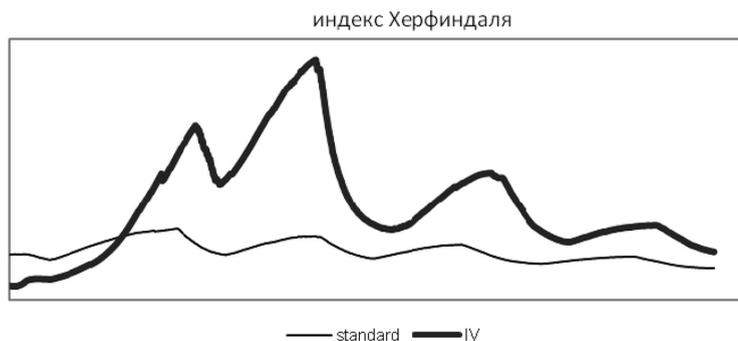


Рис. 9. Рост концентрации рынка

В отличие от стандартного сценария, в сценарии IV крупные акторы не включены в первоначальное распределение фирм по размеру. Соответственно, мы начинаем с низких значений концентрации. Однако значительный шейкаут неудачных акторов в начальный период приводит к существенному усилению концентрации. Для нескольких акторов, оставшихся на рынке, характерен необычайный рост рыночных долей, что приводит к высокой степени концентрации на протяжении всего симулируемого развития. Отсюда можно заключить,

* Индекс Херфиндаля H вычисляется с помощью следующей формулы: $H \equiv \sum_{j=1}^n s_j^2$, где s_j — рыночные доли j акторов, $j \in \{0, \dots, n\}$.

что неравное первоначальное распределение фирм по размеру улучшает общую стабильность системы.

Рисунки 10а и 10б позволяют сравнить ситуации с прибылью для различных сценариев. Влияние выраженного шейкаута в сценарии IV, без крупных акторов в первоначальном распределении фирм по размеру, вызывающем высокую степень концентрации, также отражается в динамике прибылей. По сравнению со стандартным сценарием период восстановления дольше, и в течение последующей симуляции прибыль почти всегда ниже прибыли при стандартном сценарии.

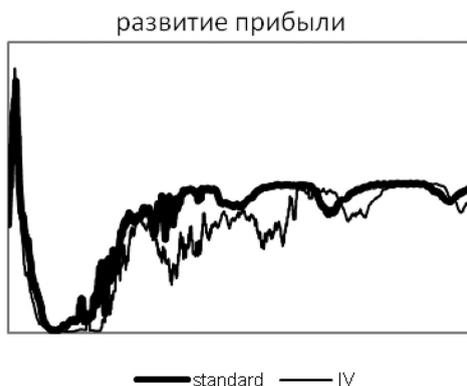


Рис. 10а. Сравнение прибылей (стандарт и IV)

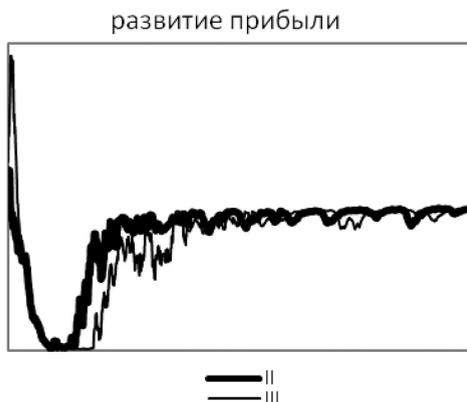


Рис. 10б. Сравнение прибылей (II и III)

Похожие проблемы восстановления характеризуют ситуацию с прибылью в сценарии III (прогрессивная стратегия) по сравнению со сценарием II (консервативная стратегия) — оба с высоким порогом привлекательности (0.7). Поскольку в обоих случаях крупные акторы присутствуют в первоначальном распределении фирм по размеру, постольку эффект концентрации не объясняет различия. По всей видимости, здесь проявляется дополнительный эффект, связанный с инновационными сетями. Рис. 11а и 11б, показывающие распределение размеров сетей в последней итерации (1500) на шкале log-log, а также табл. 3 иллюстрируют близость стандартного сценария и сценария II по сравнению со сценариями III и IV.

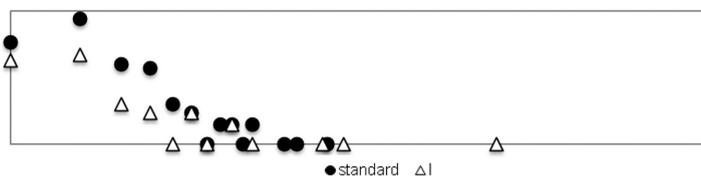


Рис. 11а. Распределение размеров сетей (консервативная vs прогрессивная стратегия, низкий порог привлекательности)

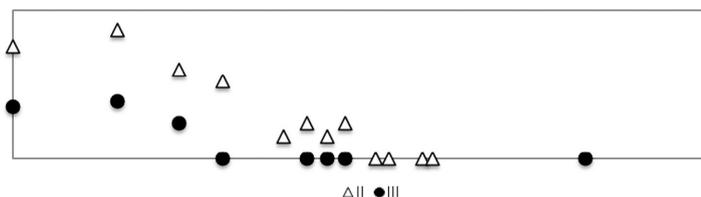


Рис. 11б. Распределение размеров сетей (консервативная vs прогрессивная стратегия, высокий порог привлекательности)

Модель SKIN также позволяет наблюдать структуру возникающих сетей. Рисунки 12а и 12б показывают распределение размеров сетей после 1500 итераций на шкале log-log. Наравне со значительным количеством сетей, включающих небольшое число акторов (до 6), можно наблюдать и более крупные сети, включающие не менее 10 членов. Это наблюдение показывает, что даже когда сетевое поведение выглядит как широко разделяемая стратегическая альтернатива, тем не менее в различных сценариях акторы участвуют в сетевых отношениях в разной степени. Для безмасштабных сетей характерна особая форма распределения сетевых связей. Чтобы проверить эту особенность, обратимся к табл. 3, в которую сведены коэффициенты степенного распределения для восьми изучаемых сценариев.

Коэффициенты степенных распределений сетей после 1500 итераций

	стан- дартный	I	II	III	IV	V	VI	VII
коэффициент степенного распределения (R2)	1.53 (0.822)	0.67 (0.582)	1.60 (0.894)	0.54 (0.603)	1.64 (0.874)	1.43 (0.697)	2.35 (0.868)	1.40 (0.521)

Значения в табл. 3 показывают, что масштабно-инвариантные свойства сетей возникают и в стандартном сценарии, и в сценарии II (коэффициент регрессии близок к единице). В случае сценариев I и III коэффициенты недостаточно велики, и регрессии незначительны для утверждения о наличии безмасштабных свойств сетей, возникающих при этих сценариях. В сценариях IV и VI мы снова обнаруживаем достаточно большие коэффициенты (и коэффициенты регрессии, достаточно близкие к единице), допускающие появление безмасштабных свойств. В сценариях V и VII коэффициенты степенного распределения также значительны, однако низкий коэффициент регрессии в этих случаях не позволяет говорить о безмасштабных свойствах. При сравнении различных сценариев четко выделяется одна общая черта, присущая безмасштабным решениям: только в тех сценариях, где акторы применяют консервативную стратегию сотрудничества, возникают сети с масштабно-инвариантными свойствами.

Заключение

Модель SKIN — это попытка углубить понимание сложных процессов, связанных с современными инновациями. Модель дает возможность преодолеть ограничения существующих теоретических подходов к анализу промышленной организации инновационных процессов. Вместо того чтобы интегрировать стратегические альянсы и кооперативные R&D в стандартную равновесную модель олигополистической конкуренции, для моделирования процедур принятия решений используются результаты многочисленных исследований отдельных случаев и отраслей. Применение агентской имитации позволяет моделировать инновации, абстрагируясь от реальности и при этом не теряя существенных характеристик инновационного процесса (напр., неопределенность, историческое время, разнородных агентов, которые учатся на собственном опыте и друг у друга в партнерствах и сетях), которые особенно акцентируются в современной инновационной экономике (напр., Nelson 2001).

SKIN позволяет изучать различные отрасли, что неизбежно сказывается на выборе той или иной стратегии определения параметров конкретной модели. Во-первых, параметры могут быть оценены эконометрически на основе различных данных, описывающих кооперативное поведение в отрасли. Эти данные становятся все более доступными, например, в области биотехнологий.

В качестве альтернативной стратегии с помощью адекватного набора параметров можно воспроизвести историю развития отдельной отрасли.

В данной статье мы придерживались второй стратегии и осуществили имитацию реальных инновационных сетей в наукоемких отраслях. SKIN может имитировать жизнеспособные и устойчивые сети, поддерживающие акторов в процессе создания и диффузии знания. Более того, сети, развивающиеся в искусственном мире SKIN, обнаруживают структурные сходства с сетями в реальном мире. В определенных условиях инновационные сети SKIN проявляют масштабно-инвариантные свойства, которые также присущи архитектуре инновационных сетей в наукоемких отраслях.

Перевод с англ. А.В. Тавровского

Литература

Ackermann R. The Philosophy of Science. New York: Pegasus, 1970.

Ahrweiler P., Pyka A., Gilbert N. Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks // Leombruni R., Richiardi M. (eds.) Industry and Labor Dynamics: The Agent-based Computational Economics Approach. Singapore: World Scientific Press, 2004. Pp. 284–296.

Ahrweiler P., Gilbert N., Pyka A. Institutions matter, but... Organisational Alignment in Knowledge-based Industries // Science, Technology and Innovation Studies. 2006. Vol. 2. No 1. Pp. 3–18.

Amable B. The Diversity of Modern Capitalism. Oxford: Oxford University Press, 2003.

Bahlmann T. The Learning Organization in a Turbulent Environment // Human Systems Management. 1990. Vol. 9. Pp. 249–256.

Barabasi A., Albert R. Emergence of Scaling in Random Networks // Science. 1999. Vol. 286. Pp. 509–512.

Cantner U., Pyka A. Absorbing Technological Spillovers. Simulations in an Evolutionary Framework // Industrial and Corporate Change. 1998. Vol. 7. No 2. Pp. 369–397.

Cohen W.M., Levinthal D. Innovation and learning: the two faces of R&D // The Economic Journal. 1989. Vol. 99. Pp. 569–596.

D'Aspremont C., Jacquemin A. Cooperative and non-cooperative R&D in duopoly with spillovers // American Economic Review. 1988. Vol. 78. Pp.1031–1038.

Duncan R.B. Modifications in Decision Structure in Adapting to the Environment. Some Implications for Organizational Learning // Decision Sciences. 1974. Vol. 5. Pp. 705–725.

Eliasson G. General purpose technologies, industrial competence and economic growth. Working Paper. Royal Institute of Technology, Stockholm, 1995.

Gilbert N., Troitzsch K. Simulation for the Social Scientist. Berkshire, UK: Open University Press, 1999.

Gilbert N.G. A Simulation of the Structure of Academic Science // Sociological Research Online. 1997. Vol. 2. No 2. [<http://www.socresonline.org.uk/socresonline/2/2/3.html>].

Hanusch H., Pyka A. The Principles of Neo-Schumpeterian Economics // Cambridge Journal of Economics. 2006. Vol. 30.

Hedberg B. How Organizations learn and unlearn // Handbook of Organizational Design / P.C. Nystrom, W.H. Starbuck (eds.) Oxford: Oxford University Press, 1981. Pp. 3–27.

Lam A. Organizational Learning in Multinationals: R&D Networks of Japanese and US MNEs in the UK // Journal of Management Studies. 2003. Vol. 40. No 3. Pp. 673–703.

Levin R.C., Reiss P.C. Cost-reducing and demand creating R&D with spillovers // Rand Journal of Economics. 1988. Vol. 19. Pp. 538–556.

Malerba F., Nelson R., Winter S., Orsenigo L. History-friendly models — An overview of the case of the computer industry // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2001. Vol. 4. No 3.

Nelson R.R. Evolutionary Perspectives on Economic Growth // Evolutionary Economics: Program and Scope / Dopfer K. (ed.), Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2001.

Powell W.W. Neither Market nor Hierarchy. Network Forms of Organization // Research in Organizational Behavior. 1990. Vol. 12. Pp. 295–336.

Powell W.W., White D.R., Koput K.W., Owen-Smith J. Network Dynamics and Field Evolution: The Growth of Inter-organizational Collaboration in the Life Sciences // American Journal of Sociology. 2005. Vol. 110. No 4. Pp. 1132–1205.

Pyka A. Der kollektive Innovationsprozess — Eine theoretische Analyse absorptiver Fähigkeiten und informeller Netzwerke. Berlin: Duncker and Humblot, 1999.

Pyka A. Innovation networks in economics: from the incentive-based to the knowledge-based approaches // European Journal of Innovation Management. 2002. Vol. 5. Pp.152–163.

Pyka A. Modelling Qualitative Change // Handbook of Research on Nature-Inspired computing for economics and management. Chapter XVI. Vol. 1. / Rennard J.-R. (ed.). Idea group Reference. Hershey (USA), 2006. Pp. 211–224.

Pyka A., Küppers G. (eds.) Innovation Networks — Theory and Practice, Edward Elgar, Cheltenham, 2002.

Pyka A., Saviotti P.P. The Evolution of R&D Networking in the Biotech Industries // International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management. 2005. Vol. 5. Pp. 49–68.

Pyka A., Gilbert N., Ahrweiler P. Simulating Knowledge-Generation and — Distribution Processes in Innovation Collaborations and Networks // Cybernetics and Systems. 2007. Vol. 38. Pp. 667–693.

Pyka A., Fagiolo G. Agent-based Modelling: A Methodology for Neo-Schumpeterian Economics // Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics / H. Hanusch, A. Pyka (Eds.) Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2007.

Saviotti P.P., Nesta L. Firm Knowledge and Market Value in Biotechnology // Industrial and Cooperative Change. 2006. Vol. 15. Issue 4. Pp. 625–652.

Summerton J. Linking Artifacts and Actors in Electricity // The Governance of Large Technical Systems / O. Coutard (ed.). London: Routledge, 1999.

Tesfatsion L. Agent-based modelling of evolutionary economic systems // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2001. Vol. 5. Pp. 1–6.

Toulmin S. The Philosophy of Science. An Introduction. London: Hutchinson, 1967.

Windrum P. Neo-Schumpeterian simulation models // Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics / H. Hanusch, A. Pyka (Eds.) Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2007.

Приложение 1

Код для модели NetLogo, на которой основана эта статья, можно получить, обратившись непосредственно к авторам.

Стандартный сценарий использует следующие значения параметров:

- Стартовый капитал: 20 000 (крупные компании: 200 000)
- Начальная популяция фирм: 500
- Количество крупных фирм, с дополнительным стартовым капиталом: 50
- Диапазон индексных чисел продуктов в секторе: от 0.0 до 100.0
- Максимальное различие между индексным числом продукта и исходного материала, допускающее их замену: 1.0
- Все продукты с числом продукта ниже 5.0 считаются «сырьем», а все с числом выше 95 — продуктами для «конечного пользователя»
- Цена сырья: 1
- Максимальная цена продукта для конечного пользователя: 1000
- Прибыль, необходимая для привлечения новых стартапов: 1200
- Стратегия поиска партнеров: консервативная
- Порог привлекательности, позволяющий двум фирмам заключить сотрудничество: 0.3
- Лимит капитала, ниже которого фирмы проводят радикальные, а не дополнительные исследования: 1000
- Налоги: на временной шаг — 200; на попытку получения дополнительных знаний — 100; на попытку получения абсолютно новых знаний — 100; на партнера при сотрудничестве — 100

Приложение 2

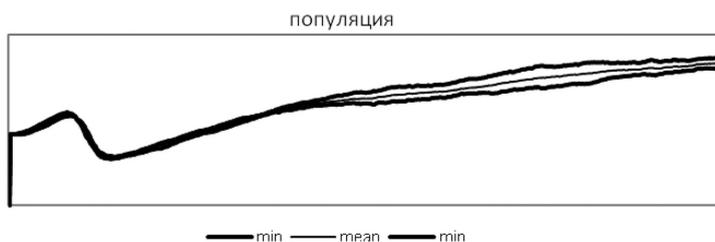


Рис. А1. Мин-макс-коридор Монте-Карло-симуляции