

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ КАТЕГОРИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ДИФфуЗИИ ИННОВАЦИЙ

Г.Ю. Силкина

Статья посвящена вопросам моделирования процессов распространения нововведений. Выявленные и обоснованные аналогии между физическими явлениями переноса и диффузией инноваций могут способствовать совершенствованию инструментов исследования и решения проблем инновационного развития на основе развитых в естественных науках модельных представлений.

Ключевые слова: инновация, диффузия, процессы переноса, логистическая кривая, уравнение переноса, сети коммуникаций.

Сегодня в ряду факторов, определяющих экономическую динамику, безусловный приоритет принадлежит инновациям. Экономике наиболее развитых стран, все больше ориентированные на нововведения, формируют такую систему взаимоотношений между наукой, промышленностью и обществом, при которой инновации служат основой эволюции промышленности и общества, а те, в свою очередь, стимулируют развитие науки и реализацию инноваций, определяя, тем самым, особый тип развития – инновационный. Изначально введенный для макроэкономических систем, этот термин сегодня используется на мезо- и микроуровнях.

В рамках концепции инновационного развития центральное место занимает феномен диффузии инноваций, которую связывают с распространением широкого круга инноваций через систему информационных, социальных и экономических связей между всеми элементами системы общественного производства и потребления.

Руководство Осло (Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям) – основной источник понятийно-терминологической базы в сфере анализа, планирования и учета инновационной деятельности предприятий, отраслей и стран, широко признанный на международном уровне – особо подчеркивает, что без диффузии инновация не имеет никакого экономического значения. В указанном документе рассматриваются три уровня новизны: новое для предприятия, новое для рынка и новое для всего мира, а диффузия определяется как «...способ, каким инновации распространяются по рыночным и нерыночным каналам от места их первой реализации различным потребителям – странам, регионам, отраслям, рынкам и предприятиям» [10, с. 39]. И.Б. Гурков, В.С. Тубалов [3] подчеркивают как весьма показательный тот факт, что если инновация не является новой для всего мира (что, как правило, является результатом собственной уникальной разработки), то ее реализация может быть только результатом переноса, т. е. диффузии. Как следствие, исследование феномена диффузии, в том числе и средствами математиче-

ского моделирования, встает как самостоятельная задача анализа инновационных процессов и обеспечения ими инновационного развития.

Термин «диффузия» привнесен в экономическую теорию и хозяйственную практику из естественных наук – физики и химии. Основные естественнонаучные теории исходят из того, что вещества, находящиеся в равновесных условиях, характеризуются неизменностью во времени и пространстве их параметров – давления, температуры, относительного числа молекул разного сорта и т. п. Но, несмотря на важную роль равновесных состояний, они все-таки являются особыми случаями, и во многих практически значимых ситуациях приходится иметь дело с системами, не находящимися в равновесии.

Отклонение системы от равновесного состояния происходит под действием некоторого источника и приводит к возникновению термодинамических потоков, связанных с переносом вещества, энергии, импульса и т. п. из одной части исследуемого объема в другую. Подобные процессы в естественных науках называют явлениями переноса. При наличии в среде различной концентрации некоторого вещества возникают диффузные потоки, т. е. перенос массы (явление диффузии); в случае градиента (разности) температур – тепловые потоки, т. е. перенос энергии (явление теплопроводности). Однако изучение явлений переноса, а также исследование равновесных состояний и способов их достижения составляет содержание одной естественнонаучной дисциплины – термодинамики и молекулярной физики.

В экономической науке сложилась несколько иная ситуация – здесь торжествует принцип равновесия. Доминирующая в настоящее время неоклассическая теория, сформировавшаяся в 1870-х гг., концентрирует внимание на проблеме распределения ограниченных ресурсов. В качестве идеальной модели рынка она рассматривает модель совершенной конкуренции, где все действующие лица стремятся к достижению состояния равновесия, которое, кроме того, должно быть Парето-оптимальным.

Для экономики, основная часть которой – материальное производство, этот вопрос имеет принципиальное значение, а решение задачи оптимального распределения играет центральную роль в обосновании управленческих решений. Однако за прошедшие 150 лет развития неоклассической концепции структура экономики принципиально изменилась. Значительная и постоянно растущая доля современного хозяйства основана на нематериальных активах – идеях, знаниях, технологиях. Использование их как экономического ресурса принципиально отличается от использования материальных продуктов.

Достаточно жестко по этому поводу высказывался М. Блауг: «Растущая популярность теории общего равновесия закрыла возможность построения теории предпринимательства... Неудивительно, что типичный учебник экономической теории сегодня насыщен анализом поведения потребителей, решений фирм, максимизирующих прибыль (в краткосрочной перспективе), теории заработной платы, теории процента, теории внешней торговли и т. п., но небогат анализом технических нововведений и теории предпринимательства... Теория предпринимательства начинается там, где заканчивается теория предельной полезности» [1, с. 430].

Анализ условий и перспектив инновационного развития, особенностей формирования современной экономики, базирующейся на знаниях, требуют пересмотра традиционных идейных представлений экономической науки. В этом смысле неоклассической экономической теории, которую привычно называют статической, противостоит эволюционный подход, сущность которого заключается в анализе экономики как системы, находящейся в процессе постоянных изменений, механизмы которых связаны с наследственностью, изменчивостью и отбором. Достаточно молодое современное эволюционное направление представляет экономическое развитие в единстве технологических, экономических, политических, социально-психологических компонентов, интерпретирует его как необратимый процесс нарастания сложности, многообразия и продуктивности производства за счет периодически повторяющейся смены технологий, видов продукции, организаций и институтов [6]. В отличие от неоклассики, эволюционная теория воспринимает технологически прогрессирующую экономику как самоорганизующуюся систему, функционирование которой в значительной степени обусловлено ее интеллектуальными ресурсами, эволюцией знаний и, что особенно важно, активностью инноваторов, трансформирующих интеллектуальные ресурсы в новые блага.

Этап непосредственного выделения эволюционных идей в самостоятельное направление связан с именами Р. Нельсона и С. Уинтера, книгу которых [8] принято считать центральной работой этого направления. В ней авторы, критикуя неоклас-

сический подход, основанный на сравнительной статике, акцентируют внимание на причинах, характере рыночных, технологических, институциональных изменений и их последствиях.

Однако, возможно, одним из первых эволюционистов был Й. Шумпетер – основоположник современной инноватики, который первым обратил внимание на ограниченность статической теории общего равновесия и весьма точно выразил основной постулат эволюционной теории – прогресс продвигают неравновесные процессы. Именно благодаря разработкам Й. Шумпетера [16] понятие инновации и сопряженные с ним понятия – «инновационный процесс», «инновационный потенциал», «инновационная восприимчивость», «инновационная активность» и т. п., вошли в научный оборот, обрели статус общеэкономических категорий.

В качестве исходного пункта своего анализа Й. Шумпетер принимал тот факт, что каждая экономическая система изначально функционирует в рамках конкурентного равновесия (в естественнонаучных терминах – находится в состоянии равновесия): цены на произведенную продукцию устанавливаются по средней себестоимости, прибыли равны нулю, процентная ставка отсутствует, хозяйственная жизнь вращается по кругу, постоянно повторяясь.

Вторжение новшества как возмущающего источника радикально меняет ситуацию. Процесс нарушения равновесия («созидательного разрушения» по Й. Шумпетеру) начинается с появления более эффективных новых научных идей, которые вытесняют старые. Эти новые идеи подхватывают предприниматели-новаторы, и неравновесие из сферы идей переходит в сферу производства. Конкуренция в этой сфере приводит к качественным изменениям в производстве и реализации продукции – успешные новаторы, выходя на рынок со своими оригинальными нововведениями, порождают потребности, которые не могут сами удовлетворить в полной мере мгновенно.

Новые потребности в течение некоторого времени превышают возможности нового производства. И здесь в действие вступает закон рыночного ценообразования: цены на продукты, которые установятся на рынке в следующий момент времени, зависят от текущего спроса и предложения в том смысле, что цена на (новый) продукт, имеющий избыточный спрос, возрастает, а цена на (устаревший) продукт, не пользующийся спросом, падает. Тем самым формируется градиент цен, стремящийся вернуть экономику в равновесное состояние.

Конечно, цены сами по себе не уничтожают возникшее неравновесие, но показывают, что следует производить в данной ситуации – норма прибыли является достаточно точным индикатором, указывающим направление приложения усилий. Благодаря этой информации вдогонку новаторам

спешат ранние реципиенты (лидеры, пионеры) – хозяйствующие субъекты, первыми осваивающие новшество на базе интеллектуального продукта новаторов, имитаторы (ранее большинство, позднее большинство, отстающие), копирующие новаторов и насыщающие неудовлетворенную новую потребность. Но пока неравновесие существует, оно предполагает монополизм новаторов в области их активности. Монополизм, неравновесие и нововведения – связанные понятия, и эта связь, в конечном счете, проявляется в образовании сверхприбыли.

Нововведения требуют значительных средств, что ведет к высокому спросу на кредит и возникновению процента. Кредит необходим составляющим систему хозяйствующим субъектам для того, чтобы среагировать на произошедшие в системе изменения, приспособиться к ним. Последние осуществляют шаги по проникновению в новые сферы, овладению новыми методами и способами действия, причем этот процесс органичен во времени и пространстве. Предпринимаемые усилия выводят экономическую систему на новый виток развития, ситуация стабилизируется в новом состоянии равновесия, которое в дальнейшем нарушается очередным научным открытием.

В совокупности приведенные положения на содержательном уровне вполне характеризуют пространственно-временную диффузию инноваций как дискретно-непрерывный, имеющий верхний предел процесс кумулятивного характера [13]. Исторически интерес к проблеме диффузии возник еще в начале XX века, однако первые аналитические модели этого процесса были построены лишь в 1960-е годы [18], характерной особенностью которых стала математизация накопленных знаний в области распространения новшеств.

Согласно теории Й. Шумпетера диффузия инноваций является процессом кумулятивного увеличения числа субъектов хозяйствования, реализующих нововведения вслед за новатором в ожидании более высокой прибыли. Последующие многочисленные исследования процессов распространения новшеств [3, 7, 11] подтвердили его научную гипотезу и показали, что динамика диффузии инновации характеризуется с точки зрения конфигурации во времени следующими особенностями:

- на начальном этапе продукции масштабы распространения новшества расширяются не слишком заметно, хотя темпы этого расширения могут быть и очень высокими;

- на основном этапе периода распространения новшество завоевывает потенциальную сферу своего эффективного применения. Темпы расширения масштабов его производства или использования находятся на уровне предыдущего этапа, и, как правило, снижаются с течением времени, тогда как абсолютные приросты значительно возрастают и в течение всего периода весьма высоки в масштабах

отрасли или иной потенциальной сферы распространения, в результате чего новшество распространяется на отрасль или группу потребителей или образует новую отрасль народного хозяйства;

- на завершающем этапе распространения новшество проникает в хозяйственные сферы, предельные с точки зрения сопоставительной эффективности его использования по отношению к альтернативным вариантам. Темпы роста и приросты незначительны, и по мере насыщения потребности или заполнения сферы распространения постепенно снижаются до нуля.

Динамика абсолютного большинства кумулятивных величин – тех, которые, накапливаясь, в каждый момент времени образуют некоторый фонд, от объема которого существенно зависит скорость дальнейшего распространения этих величин, и ограниченных пределом сверху, протекает по законам, описываемых логистическими кривыми. Простейшая логистическая кривая задается дифференциальным уравнением вида

$$\frac{dz}{dt} = kz(b - z). \quad (1)$$

Здесь переменная t является независимым аргументом, $z = z(t)$ – текущее значение анализируемого параметра; $k > 0$ – положительная постоянная (коэффициент пропорциональности); b – положительная постоянная, ограничивающая сверху значение величины z , нижняя граница которой полагается равной нулю.

Дифференциальное уравнение (1) восходит к исследованиям [18] и обычно трактуется как количественное выражение действия закона взаимного перехода количественных и качественных изменений применительно к кумулятивным процессам, в том числе инновационным в разрезе диффузии инноваций, при надлежащей интерпретации параметров этой модели и выборе единицы измерения распространения новшества.

А.Г. Кругликов, исследуя процессы диффузии инноваций в рамках национальной экономики, предлагает использовать абсолютные показатели – работы, выполняемые новшеством, объем новой продукции, емкость рыночного сегмента, число хозяйствующих субъектов, принявших нововведение [7]; последнее вполне согласуется с воззрениями Й. Шумпетера, касающимися дифференциации субъектов инновационной деятельности. В такой интерпретации искомую функцию $z = z(t)$ следует понимать как количество реципиентов нововведения в момент времени t , параметр k – как коэффициент скорости диффузии инновации, ограничивающий параметр b – как число потенциальных реципиентов.

Возможно, более информативными с точки зрения количественной идентификации процессов диффузии являются относительные показатели – степень удовлетворения некоторой потребности, степень заполнения заранее определенной сферы.

В этом случае числовое значение переменной $z(t)$ уже характеризует степень распространения новшества, верхний предел распространения $b=1$. Формально введение относительных показателей осуществляется переходом к безразмерным величинам; их динамика также вполне адекватно описывается базовым логистическим уравнением.

Дифференциальное уравнение (1) интегрируется в явном виде и его решение аналитически задается формулой

$$z(t) = \frac{b}{1 + ce^{-bkt}}. \quad (2)$$

Графиком функции $z(t)$ является S-образная логистическая кривая, геометрия которой определяется параметрами уравнения и согласуется с приведенной выше логикой процесса распространения новшеств. Так, функция $z(t)$ монотонно возрастает (ее производная

$$\frac{dz}{dt} = ckb^2 \frac{e^{-bkt}}{(1 + ce^{-bkt})^2} > 0)$$

и содержит три явно различимых участка – участок начального подъема, участок энергичного роста и участок затухающего роста. В начальные моменты времени, когда $z(t)$ много меньше b , она практически совпадает с экспонентой и растет с увеличивающейся скоростью; с течением времени все более проявляется наличие сдерживающих факторов.

Формально действие сдерживающих факторов проявляется в том, что участок энергичного роста также разбивается на две части – возрастающая скорость роста в некоторый момент времени начинает убывать. Этот момент соответствует точке перегиба логистической кривой $t_0 = \frac{\ln c}{bk}$,

которая определяется из условия $\frac{d^2z}{dt^2} = 2ck^2b^3 \frac{e^{-bkt}(1 - ce^{-bkt})}{(1 + e^{-bkt})^3}$. Прямая $z = b$ является

горизонтальной асимптотой логистической кривой, по мере приближения к которой и скорость роста, и его абсолютные значения снижаются практически до нуля.

Принципиально важным является то обстоятельство, что коэффициент пропорциональности может меняться с течением времени: $k = k(t)$. Это подтверждается, в частности, исследованиями [9, 11], где на основе анализа эмпирических данных выявлены два подъема, две восходящие волны на классической логистической кривой. Первый из этих подъемов авторы связали с внутренними свойствами самого нововведения, его технико-технологическими особенностями, второй – с экономическими причинами, внешними по отношению к инновации и выражающими готовность об-

щества к внедрению соответствующих инноваций и закономерного возрастания спроса на них.

Предположение о вариабельности коэффициента пропорциональности приводит к обобщению базового уравнения диффузии в форме

$$\frac{dz}{dt} = k(t)(z - b_1)(b_2 - z), \quad (3)$$

представляющего временную динамику процесса распространения инновации; (константы b_1 и b_2 выражают нижний и верхний пределы распространения новшества соответственно).

Решением обобщенного логистического уравнения является функция

$$z(t) = b_1 + \frac{(b_2 - b_1)\theta(t)}{\theta(t) + c}, \quad c > 0, \\ \theta(t) = e^{\int_0^t k(u) du} \quad (4)$$

В обобщенной логистической модели время течет не линейно, а в некотором смысле «пропорционально» функции $k(t)$, поэтому вид решения самым существенным образом зависит от вида этой функции – чем меньше функция $k(t)$ напоминает константу, тем более нелинейно развиваются события, описываемые этой моделью.

Базовое логистическое уравнение и его модификации, будучи дифференциальными уравнениями с сосредоточенными параметрами, где в качестве единственной независимой переменной выступает время, моделируют лишь временную конфигурацию диффузии инновации и не отражают пространственные особенности этого процесса. В то же время инновационный процесс обладает свойствами системы, имеющей как внутреннюю логику, так и собственные законы развития, которое имеет не только временные, но и пространственные параметры [12].

Выявленная на содержательном уровне тесная взаимосвязь между естественнонаучными категориями переноса и диффузией инноваций обосновывает целесообразность адаптации заимствованных из фундаментальных естественных наук категорий и их формализаций к анализу инновационных процессов.

Поскольку все явления переноса базируются на общих физических закономерностях (наличие градиента некоторой физической величины и стремление системы к равновесному состоянию), их пространственно-временные особенности могут быть представлены обобщенным уравнением переноса, пригодным для анализа конкретных процессов.

В термодинамике и молекулярной физике процессы переноса обобщенно представляются уравнением в частных производных

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \nabla \cdot [D(a, r) \nabla a(r, t)] + f(r, t), \quad (5)$$

где величина $a(r, t)$, зависящая от пространственных координат и времени, характеризует определенное свойство физической системы, $D(a, r)$ – обобщенный коэффициент переноса в точке r (физический параметр среды, в которой протекает процесс переноса), ∇ – векторный дифференциальный оператор набла (оператор Гамильтона) в n -мерном пространстве задаваемый компонентами $\left(\frac{\partial}{\partial x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_n}\right)$, $f(r, t)$ – функция, описывающая источник вещества (энергии); точкой обозначено скалярное произведение векторов.

При постоянном коэффициенте переноса D уравнение сводится к линейному дифференциальному уравнению в частных производных

$$\frac{\partial a}{\partial t} = D\Delta a(r, t) + f(r, t), \quad (6)$$

где $\Delta = \nabla^2 = \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2}{\partial x_i^2}$ – оператор Лапласа.

В случае одномерного диффузного процесса (когда величина a зависит лишь от одной пространственной координаты x) с коэффициентом переноса D уравнение имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial t} a(x, t) = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial}{\partial x} a(x, t) + f(x, t), \quad (7)$$

при постоянном D – форму

$$\frac{\partial}{\partial t} a(x, t) = D \frac{\partial^2}{\partial x^2} a(x, t) + f(x, t). \quad (8)$$

Также как уравнение логистической динамики в инноватике, уравнение переноса возникает из эмпирических соображений, утверждающих пропорциональность потока вещества (энергии) разности концентраций (температур) областей, разделенных тонким слоем вещества заданной проницаемости, которая характеризуется коэффициентом диффузии (теплопроводности), в сочетании с уравнением непрерывности, выражающим законы сохранения.

Идея об использовании уравнений в частных производных для анализа экономической динамики не является принципиально новой. В частности, В.-Б. Занг называет уравнение (7) общим уравнением динамических систем [4, с. 31], где t – время, под r понимается расстояние (независимые переменные), $f(r, t)$ – нелинейная вектор-функция независимых переменных, D – матрица диффузии, $a(r, t)$ – вектор зависимых переменных.

Конечно, применение уравнения переноса к анализу диффузии инноваций предполагает точную идентификацию и информационное наполнение параметров модели, в первую очередь, расстояния между элементами (субъектами хозяйствования); ясно, что это расстояние должно быть определено в отличном от географического смысле. В [17] предложен следующий подход к интел-

лектуальной идентификации субъектов хозяйствования и измерению (когнитивного) расстояния между ними. Через $v_{i,k}^t$ обозначен уровень знаний k -й категории, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, которыми обладает i -й субъект в момент времени t . Расстояние между i -м и j -м субъектами в рассматриваемый момент времени измеряется величиной

$$\Delta^t(i, j) = \max\{w^t, 1/w^t\} - 1, \quad w^t = |v_i^t| / |v_j^t|, \quad (9)$$

где $|v_i^t|$ – стандартная евклидова норма вектора

$$v_i^t = (v_{i,1}^t, v_{i,2}^t, \dots, v_{i,K}^t): \quad |v_i^t| = \sqrt{\sum_{k=1}^K (v_{i,k}^t)^2},$$

$\alpha \in \{i, j\}$; возможны и другие варианты задания метрики.

Перспективы адаптации классического уравнения переноса к анализу процессов распространения нововведений в значительной степени определяются тем, что это уравнение интегрируется в явном виде. В простейшем (одномерном) случае фундаментальное решение однородного уравнения с постоянным, не зависящим от x и t коэффициентом переноса D , начальном условии, выражаемом δ -функцией Дирака, с некоторой долей условности представляемой равенством

$$a(x, 0) = \delta(x) = \begin{cases} \infty, & x = 0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}$$

и граничном условии $a(\infty, t) = 0$, задается формулой

$$a(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-\frac{x^2}{4Dt}}. \quad (10)$$

При указанном начальном и граничном условиях средний квадрат удаления диффундирующих частиц (или соответствующая характеристика распределения температуры) от начальной точки

$$Mx^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 a(x, t) dx = 2Dt. \quad (11)$$

Функция (11), подобно логистической кривой, допускает исследование средствами классического анализа. Так, при каждом фиксированном t она

монотонно убывает ($\frac{\partial a}{\partial x} = -\frac{1}{4D\sqrt{\pi Dt}} x e^{-\frac{x^2}{4Dt}} < 0$) и

ее график (сечение) имеет точку перегиба

$x_0 = 2Dt$, вычисленную из условия $\frac{\partial^2 a}{\partial x^2} = 0$. По-

следнее согласуется с логикой процесса переноса: концентрация частиц особенно велика близи очага возмущения, но быстро уменьшается по мере удаления от него; характер процесса меняется (его скорость падает) при прохождении точки перегиба, положение которой определяется текущим моментом времени и коэффициентом переноса.

Отметим, что приведенные начальное и граничные условия вполне адекватны процессам распространения новшеств: нововведение играет роль точечного импульса, вносящего возмущение в систему, воздействие которого реально наблюдается лишь в пределах (в смысле введенного расстояния) некоторой территории – при значительном удалении от источника его роль пренебрежимо мала; сообщения, полученные за пределами территории, считаются потерянными и не влияющими на ситуацию.

Этими и другими вышеприведенными сообщениями далеко не исчерпываются содержательные аналогии между физическими явлениями переноса и распространением нововведений.

В смысле интерпретации при решении уравнения диффузии речь идет об отыскании зависимости концентрации вещества от пространственных координат и времени, причем заданным считается коэффициент, в общем случае также зависящий от пространственных координат и времени, который характеризует проницаемость среды для диффузии. При решении уравнения теплопроводности речь идет о нахождении зависимости температуры среды от пространственных координат и времени при заданной теплоемкости и теплопроводности среды.

Скорость и конфигурация физических процессов переноса зависит от свойств среды – ее проницаемости для диффузии, которая представляется коэффициентом диффузии. Аналогом этого коэффициента может стать показатель инновационной проницаемости хозяйственной среды, определяемый параметром ее инновационной проводимости и учитывающий наличие факторов, сдерживающих распространение новшеств.

В основе механизма распространения инноваций лежит процесс передачи данных, информации и знаний; обмен информацией о преимуществах и недостатках новшеств приводит к тому, что неопределенность по отношению к последним уменьшается, и в результате новшества используются более широким кругом субъектов хозяйствования. Центральное значение при этом приобретает процесс принятия или перенимания новшеств в группе лиц или других единиц принятия решений, связанных друг с другом и с окружающей средой коммуникационной сетью, охватывающей все каналы, по которым распространяются сведения о новшестве, его свойствах, эффекте и опыте использования.

По характеру распространения информации между индивидами или организациями выделяют коммуникационные сети двух типов [2, 7]: простое подражание окружающим или сеть, включающая специализированные каналы коммуникаций. Вторая разновидность наиболее характерна для производственно-хозяйственных новшеств. Здесь скорость распространения инновации не зависит от контактов между лицами, перенимающими новше-

ство, а определяется исключительно факторами, характеризующими свойства каналов коммуникаций.

Отдельные лица или предприятия получают сведения о новшестве преимущественно из внешних источников при малочисленных контактах между членами совокупности в отношении информации о новшестве. В качестве источника информации в данном случае выделяется некий посредник, которым может быть отдельное лицо, не входящее в совокупность принимающих новшество лиц, или такие источники информации, как печатные издания, телевидение, реклама любого вида. Функции подобного посредника заключаются в сообщении сведений о новшестве, его преимуществах и недостатках, опыте использования лицам, потенциально способным его принять.

При втором варианте доминирующим становится эффект подражания, при котором лица в рассматриваемой группе или совокупности перенимают, заимствуют новшество друг у друга, обмениваясь информацией, что особенно характерно для передачи неявных знаний. Распространение новшества при прочих равных условиях ускоряется по сравнению с предыдущим случаем, поскольку скорость диффузии зависит и от числа субъектов, уже принявших новшество. В этой связи особую значимость приобретают вопросы, связанные с формированием оптимальной структуры коммуникационной сети, принципов и методов организации общего информационного пространства, где оптимальность понимается как экономическая эффективность функционирования сети.

Возможно, указанному критерию оптимальности наиболее полно отвечает сочетание двух типов коммуникационных структур, которое проявляется, в частности, в инновационно-промышленных кластерах, где на скорость распространения новшеств влияют такие факторы, как территориальная близость источника информации, преимущества новшества, его согласованность с общими хозяйственными, организационными, социальными и культурными нормами [5], в совокупности повышающие инновационную проводимость среды.

Одновременно может наблюдаться и снижение эффективности распространения инноваций под действием ряда факторов (аналогично наличию полупроницаемой мембраны в процессах переноса), которые в [2] названы «инновационными фильтрами», а в [14] – «барьерами трансфера технологий». Они представляют собой систему социальных, экономических, экологических, технических и прочих критериев, норм и правил, определяющих, регламентирующих и регулирующих хозяйственную деятельность, а также уровень развития институтов современного общества.

Л.А. Воронина и С.В. Ратнер [2] предлагают различать рыночный, институциональный, информационный и навигационный фильтры; именно

этот подход, где в расчет принимаются свойства среды, в которой распространяется новшество, в большей степени соответствует наличию частично проницаемой мембраны. Рыночным фильтром указанные авторы называют ожидаемые выгоды от реализации инноваций, недостаточная величина которых тормозит распространения новшества. Институциональный фильтр определяется политическими, социальными, культурными особенностями общества, несовместимость с которыми замедляет или блокирует внедрение нововведения. Действие информационного фильтра зависит от доступности (или недоступности) информации о новшестве в глобальных информационных потоках, а навигационный фильтр определяется степенью интегрированности информационного пространства и возможностью поиска нужного информационного объекта.

Физические явления переноса содержат стохастический компонент – с позиций молекулярно-кинетической теории их основной причиной является тепловое хаотическое движение элементарных частиц вещества (молекул). Аналогом этого компонента при анализе инновационных сетей может стать интенсивность использования существующих каналов коммуникаций – ясно, что не всякий раз даже при наличии связи информация о нововведении действительно передается. Правда, подобная интерпретация в большей степени соответствует аппарату не теории вероятностей, а теории возможностей: возможности, в отличие от вероятностей, не подчиняются стандартному нормировочному равенству – их сумма не должна быть равна единице.

Несмотря на общепринятость термина «диффузия инноваций», по нашему мнению, процесс распространения новшеств в большей степени соответствует физическому явлению теплопроводности. Действительно, в процессе диффузии выравнивание концентрации происходит за счет проникновения молекул одного вещества между молекулами другого, в то время как явление теплопроводности предполагает обмен энергией (в приложении к инноватике – информацией) при их контакте. С точки зрения формализации эта разница не принципиальна, поскольку оба эти физические явления представляются одним обобщенным уравнением переноса.

Однако явление теплопроводности характеризуется еще одним параметром – теплоемкостью, который в приложении к анализу процессов распространения новшеств может быть интерпретирован как инновационная восприимчивость – отдельных индивидуумов или субъектов хозяйствования.

Многочисленными исследованиями, традиции которых восходят еще к Й. Шумпетеру, обосновано, что среди факторов, благоприятствующих или противодействующих распространению и широкому внедрению новшеств, существенное, а во многих случаях и решающее значение имеет субъек-

тивная оценка их потенциальных эффектов или потенциальных преимуществ, а также определенность или достоверность подобной оценки [7, 18]. Накопленный опыт изучения процессов распространения новшеств наглядно демонстрирует, что в любой совокупности субъектов принятия новшества существует целый их спектр от новаторов до консерваторов в зависимости от того, насколько быстро они воспринимают новшество, в какой мере склонны к риску при принятии решений в условиях неполной информации.

В том, что касается восприимчивости субъектов хозяйствования, то она допускает оценку через инновационный потенциал. Наиболее широко понятие «потенциал» также используется в естественных науках в составе категории «потенциальная энергия», которая интерпретируется как запас внутренней энергии, которой объект располагает благодаря своему состоянию, или энергия взаимодействия объектов системы, определяемая их взаимным расположением. Иногда под потенциальной энергией подразумевают любую энергию, которая содержится в системе в скрытом виде.

В более общем философском смысле термин «потенциал» означает возможности той или иной системы, ее внутренние ресурсы, мощность и энергию, которые могут быть мобилизованы для тех или иных целей. В приложении к социально-экономическим системам потенциал предстает как совокупность факторов, ресурсов, имеющихся в наличии, а также источников, пополнения запасов, которые могут быть использованы и приведены в действие для достижения определенной цели, решения какой-либо задачи, получения возможности.

Инновации распространяются среди производителей и разработчиков, обладающих соответствующей научно-производственной базой, опытом и ресурсами, что предполагает наличие определенного комплекса условий, определяющих количество имеющихся ресурсов и механизмов их трансформации в конечный инновационный продукт, которые в совокупности и формируют инновационный потенциал. Уровень развития этого потенциала обеспечивает восприимчивость к инновациям соответствующего уровня, а то, что В.В. Титов [14] называет барьерами трансфера технологий: технические, социальные, регуляционные, коммерческие – может быть интерпретировано как факторы, ограничивающие инновационную восприимчивость субъектов хозяйствования.

Диффузия инноваций, традиционно рассматриваемая как распространение инноваций в хозяйственной среде, составляющие которую хозяйствующие субъекты рассматриваются как самостоятельно действующие целостные единицы, не подвергаемые дальнейшему анализу, в действительности имеет еще один аспект. Он связан с тем, что нововведение, изначально нацеленное на совершенствование одной стороны хозяйственной деятельно-

сти, инициирует целый кластер сопутствующих новшеств («рой инноваций» в терминологии Й. Шумпетера).

Вышеназванное Руководство Осло в своей действующей редакции различает четыре типа инноваций: продуктовые, процессные, маркетинговые и организационные [10, с. 32]. По-видимому, наиболее «радикальными» в этом перечне следует считать базовые процессные инновации, которые, как правило, являются результатом завершенных фундаментальных, поисковых, прикладных исследований и распространяются через каналы инвестиций, приобретение лицензий, патентов, а также через структуру создаваемых дочерних фирм, филиалов, представительств и т. д.

Создание и освоение качественно новых технологий открывают возможности радикального обновления продукции, т. е. реализации продуктовых инноваций, осуществление которых, как правило, подчинено коммерческим целям и зачастую требует совершенствования маркетинга и обновления сбытовых коммуникаций (маркетинговых инноваций). Новый способ производства и новые технологии требуют иного управления, в частности, изменения форм маркетинга или организации. Наконец, получение и распределение дополнительной прибыли продуцируют изменения в организационно-функциональных и управленческих технологиях.

Диффузия подобного рода рассматривается в работах [3, 15], где приведены и количественные оценки взаимоотношенности продуктовых, технологических и организационных инноваций. Так, связь между продуктовыми и технологическими инновациями оказалась выраженной – коэффициент корреляции 0,481, сопряженность технологических и управленческих инноваций еще выше – 0,529.

В совокупности это побуждает к более детальному определению субъекта хозяйствования, в том числе его формализованному представлению, например, в виде $w(t) = \langle x(t), y(t), a(t), u(t), q(t) \rangle$, где $x(t)$ – вектор исходных ресурсов, $y(t)$ – вектор производимой продукции, $a(t)$ – набор используемых производственных технологий, $u(t)$ – управленческие технологии и организационные формы, $q(t)$ – модель окружающей обстановки [12]. Это, в свою очередь, позволит перейти от простейшего уравнения переноса (8) к уравнению с распределенными параметрами (7) и исследовать процессы распространения новшеств с помощью развитого инструментария естественных наук.

В заключение заметим следующее: принципиальный вывод о применимости некоторой формальной модели к исследованию определенного круга вопросов еще не дает основания утверждать, что та или иная относящаяся к этому кругу вопро-

сов конкретная задача фактически может быть решена на основе этой схемы. Для проведения анализа и нахождения рациональных решений недостаточно констатировать правильность описания имеющейся проблемы и адекватность выбранной модели. Модель необходимо задать вполне четко и однозначно, идентифицировав параметры, характеризующие ее компоненты, на количественном и притом достаточно точном уровне. Это, однако, связано с трудностями количественного измерения характеристик соответствующих технических, экономических или технико-экономических явлений, преодоление которых представляет собой самостоятельную задачу.

Литература

1. Блауг, М. *Экономическая мысль в ретроспективе* / М. Блауг. – М.: Дело, 1994. – 720 с.
2. Воронина, Л.А. *Научно-инновационные сети в России: опыт, проблемы, перспективы* / Л.А. Воронина, С.В. Ратнер. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 254 с.
3. Гурков, И.Б. *Инновации в российской промышленности: создание, диффузия и реализация новых технологий и социальных практик* / И.Б. Гурков, В.С. Тубалов // *Мир России*. – 2004. – Т. XIII, №3. – С. 28–47.
4. Занг, В.-Б. *Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории: пер. с англ.* / В.-Б. Занг. – М.: Мир, 1999. – 335 с.
5. *Инновационное развитие промышленного кластера* / А.Б. Анисифоров [и др.]; под ред. И.В. Ильина, Г.Ю. Силкиной. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 344 с.
6. *Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями* / под ред. Б.З. Мильнера. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 624 с.
7. Кругликов, А.Г. *Системный анализ научно-технических нововведений* / А.Г. Кругликов. – М.: Наука, 1991. – 120 с.
8. Нельсон, Р. *Эволюционная теория экономических изменений* / Р. Нельсон, С. Уинтер. – М.: Дело, 2000. – 536 с.
9. Нижегородцев, Р.М. *Модели логистической динамики как инструмент экономического анализа и прогнозирования* / Р.М. Нижегородцев // *Моделирование экономической динамики: риск, оптимизация, прогнозирование*. – М.: Диалог-МГУ, 1997. – С. 34–51.
10. *Руководство Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям*. – 3-е изд. Совместная публикация ОСЭР и Евростата: пер. с англ. – М.: ЦИСН, 2010. – 117 с.
11. Серков, Л.А. *Эконометрический подход к исследованию процесса диффузии инноваций* / Л.А. Серков // *Вестник УРФУ. Серия: Экономика и управление*. – 2010. – № 1. – С. 74–83.

12. Силкина, Г.Ю. Модели стратегического планирования динамики инновационных процессов: монография / Г.Ю. Силкина. – Н. Новгород: Нижегород. гос. тех. ун-т, 2000. – 182 с.

13. Силкина, Г.Ю. Пространственно-временная структура инновационных процессов и ее модельное представление / Г.Ю. Силкина // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Экономические науки». – 2012. – № 1. – С. 309–315.

14. Титов, В.В. Трансфер технологий: учебное пособие / В.В. Титов. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 1999. – 66 с.

15. Черенков, В.И. Маркетинговый подход к

категоризации каналов глобальной диффузии инноваций / В.И. Черенков // Проблемы современной экономики. – 2012. – № 2 (42). – С. 211–215.

16. Шумпетер, Й. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия / Й. Шумпетер; предисл. В.С. Автономова. – М.: ЭКМО, 2007. – 864 с.

17. Cowan, R. Network Structure and the Diffusion of Knowledge / R. Cowan, P. Jonard // Journal of Economic Dynamics and Control. – 2004. – V. 8, № 28. – P. 1557–1575.

18. Rogers, E.M. Diffusion of Innovations (4th ed.) / E.M. Rogers. – New-York: The Free Press, 1983.

Силкина Галина Юрьевна. Доктор экономических наук, профессор кафедры «Информационные системы в экономике и менеджменте», Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (г. Санкт-Петербург). Область научных интересов – математическое моделирование экономических процессов. Контактный телефон +7(921)933-79-14. Email: galina.silkina@gmail.com.

NATURAL SCIENCE CATEGORIES IN MODELLING THE DIFFUSION OF INNOVATIONS

G.Yu. Silkina

The article deals with the issue of modeling innovation diffusion process. Identified and grounded analogies between physical phenomena of transference and diffusion of innovations can contribute to improvement of the tools of research and solving problems of innovation development on the basis of developed model representations in natural science.

Keywords: innovation, diffusion, transfer processes, logistic curve, transport equation, network communications.

Galina Yurievna Silkina. Doctor of economics, professor of Information Systems in Economics and Management Department, St. Petersburg State Polytechnical University (St. Petersburg). Research interests – mathematical modelling of economic processes. Contact phone number: +7 921 933 7914. Email: galina.silkina@gmail.com.

Поступила в редакцию 18 апреля 2013 г.