

О физических моделях процессов распространения инноваций в социально-экономической среде



И. Л. Туккель,
д. т. н., профессор
tukkel@mail.ru



Н. А. Цветкова,
ст. преподаватель
кафедры управления проектами
nadezhdaat@gmail.com

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В статье поставлена задача управления распространением инноваций с учетом их возможного взаимного влияния. Рассмотрены физические модели процессов распространения инноваций: диффузия и интерференция. Подтверждена возможность получения математических моделей распространения инноваций на базе физических моделей. Приведен коэффициент взаимного влияния инноваций.

Ключевые слова: распространение инноваций, диффузия инноваций, взаимовлияние инноваций, инновационный процесс, интерференция.

Одним из направлений исследований проблематики управления инновационными процессами является управление распространением инноваций. В рамках данного направления изучается стадия коммерциализации, скорость и объем использования инновации субъектами социально-экономической среды. Окончание такой стадии не всегда бывает явным, так как после реализации проектов по улучшению и модификации, прорывная инновация совершенствуется, приобретает другие потребительские свойства и порождает новые рынки. Такое развитие открывает для инновации новые области применения и новых потребителей, которые воспринимают данный продукт, услугу или технологию как новые.

Зачем же управлять распространением?

Инновационный процесс условно можно разделить на три основных стадии: формирование новации (подготовка идеи), преобразование новации в нововведение (осуществление инновации) и коммерциализация (распространение инноваций). Для успешного внедрения научно-технических достижений недостаточно создать условия для формирования новации и организовать процесс ее технологического производства. Все усилия, направленные на обеспечение первых двух стадий, могут быть потрачены зря, если не уделить должное внимание также и стадии коммерциализации, в частности распространению инновации. Примеры таких неудавшихся новаций встречаются нередко, когда и техническое решение продумано, и образцы есть, а после вывода на рынок — провал [1-3].

На стадии коммерциализации результаты моделирования и прогнозирования распространения инноваций применяются для достижения локальных целей управления этим процессом, таких как увеличение территории и масштаба внедрения, ускорение внедрения инноваций и т. д. Когда же рассматривается вторая стадия, на которой происходит проверка реализуемости инновации, проводится опробование на потенциальном рынке и формируется необходимый спрос, т. е. по сути, реализуется инновационный проект, то здесь не менее важно учитывать результаты моделирования и прогнозирования распространения инноваций.

Понимание того, каким образом результаты инновационных проектов будут взаимодействовать между собой на стадии коммерциализации, и какое они будут оказывать воздействие на внешнюю среду, может коренным образом повлиять на состав портфеля инновационных проектов и на очередность их запуска. Такое взаимодействие может быть как положительным (эффект синергии), когда эффект от совместной реализации проектов больше суммы эффектов от их индивидуальной реализации, или отрицательным (эффект каннибализации), обратная ситуация, когда эффект от совместной реализации проектов меньше суммы эффектов от их индивидуальной реализации [4]. Результаты одних инновационных проектов могут оказать такое сильное воздействие на внешнюю среду, что остальные проекты в портфеле окажутся нецелесообразными.

Для описания процесса распространения инноваций достаточно широко используют модели, получившие название диффузии инноваций [5-7]. Диффузные модели исходят из предположения последовательного распространения нововведений, не учитывая их возможного взаимовлияния (в общем случае как возможно положительного, так возможно и отрицательного), в основном рассматривая продуктовые инновации. Все это несколько ограничивает применение на практике таких моделей. При этом стоит отметить, что слово «диффузия» в диффузных моделях введено только как дословный перевод от лат. «diffusio — распространение, растекание, рассеивание», и такие модели никак не связаны с физическим явлением диффузии (возможность применения физических моделей для распространения инноваций будет рассмотрена ниже). Более того, в настоящее время понятие «распространение инноваций» подменяется «диффузией инновации», что не только сужает рассматриваемую область, но и может дать неверные результаты. Кроме того заметим, что все известные математические модели в этой области имели целью дать лишь менее или более точное описание натурального движения инновации. Задача целенаправленного управления процессами распространения инноваций не ставилась.

На наш взгляд, описание процесса распространения инноваций должно строиться не только с точки зрения корпускулярной теории (как это сделано в тех же линейных, диффузных или территориальных моделях), а с точки зрения корпускулярно-волновой теории. И именно такое представление позволит учесть при разработке эффективной политики поддержки инноваций и разработке прогнозов распространения возможные эффекты от взаимовлияния инноваций и воздействия их на окружающую среду.

Предлагается сравнить процесс распространения инновации с двумя физическими явлениями, показывающими двойственность природы поведения: с диффузией и интерференцией.

Диффузное взаимодействие инноваций в социально-экономической среде

С явлением диффузии мы сталкиваемся повсеместно, оно имеет важные проявления в природе [8, 9]. К примеру, благодаря явлению диффузии на одинаковой высоте от поверхности Земли состав атмосферы оказывается достаточно однородным, хотя воздух представляется собой смесь газов. Диффузия играет важную роль в переносе питательных веществ и кислорода в клетках и тканях, используется при выплавке стали и т. д. Итак, диффузионными процессами обычно называют процессы самопроизвольного перераспределения вещества в среде путем диссипации или его направленного переноса под действием градиента какого-либо потенциала, а в простейшем случае, градиента концентрации. В системах, включающих разнородные частицы, диффузия проявляется в стремлении к установлению равновесного распределения концентраций. В общем случае перенос диффундирующих частиц может вызываться не только неоднородностью распределений концентраций, но и неоднородностью

полей других физических величин, например разностью температур.

Законы диффузии действуют в неравновесной диссипативной среде. Под диссипативной (от лат. dissipation — «рассеиваю, разрушаю») средой понимается среда, состоящая из несчетного числа частиц, в той или иной степени взаимодействующих между собой и с внешней средой. В такой среде происходит рассеивание энергии и возрастание энтропии. По сути, все реальные среды такие, в том числе и социально-экономические. На процесс распространения инноваций могут оказать влияние различные факторы: полезные характеристики инновации, маркетинговые кампании, мощности коммуникативных каналов и многие другие, которые далее мы будем называть средой, в которой распространяются инновации. И для ясности представления будем рассматривать такой процесс, абстрагируясь от элементов данной среды. Неравновесная диссипативная среда — это среда, в которой имеется какая-либо разность потенциалов: разность температур, давлений, электрического напряжения, спроса и предложения, т. е. присутствует в среде градиент потенциальной энергии.

Рассмотрим по аналогии ситуацию. В среде находятся инновации, так называемые «заряженные» вещества, и устаревающие продукты (услуги, технологии и т. д.), далее будем их именовать фоном. Если приложить к среде некую силу, которая бы двигала инновации от производителя к потребителям, то в отсутствие фона инновация бы распространялась равномерно, пока не достигла бы всех потребителей. Так ведет себя прорывная инновация. Но наличие фона меняет дело: скорость распространения инновации возрастает до тех пор, пока не сталкивается с другими веществами и не теряет своего импульса. В результате инновация вынуждена двигаться по ломаному пути, т. е. дрейфовать со средней скоростью, пропорциональной градиенту поля. Чем сильнее разность между спросом и предложением, тем быстрее идет процесс распространения. Иллюстрацией может служить две ситуации для покупателя: на рынке представлен единственный mp-3 плеер (нет фона) или же несколько модификаций (есть фон), при этом на выбор будет влиять среда.

Под силами понимается как технологический толчок, так и возникновение спроса, что и обуславливает разность потенциалов. Проиллюстрируем это примером (рис. 1).

Из такой аналогии можно сделать следующие выводы:

1. Диффузионный поток (поток инноваций) в отсутствие внешних воздействий пропорционален его концентрации (1-й закон Фика) [8].



Рис. 1. Диффузия инновации

Допустим для линейного случая концентрация изменяется в направлении оси x , а в плоскостях, перпендикулярных к направлению диффузии постоянна. Под концентрацией будем понимать количество запущенных инновационных проектов. Тогда простейшее выражение для линейного случая имеет вид:

$$J = -D \operatorname{grad} C = -D \frac{\partial C}{\partial x},$$

где J — это плотность потока распространяемых инноваций; C — концентрация, функция места и времени: $C = C(x, t)$; D — коэффициент пропорциональности, или коэффициент диффузии — константа, зависящая от свойств среды и природы инновации.

По сути, первый закон Фика позволяет понять, что поскольку поток инноваций стремится выровнять перепад разности спроса и предложения, то коэффициент диффузии (зависящий от среды) является мерой скорости, с которой система способна при наперед заданных условиях выровнять эту разность.

2. Второй закон Фика связывает пространственное и временное изменения концентрации:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}.$$

Данный закон означает, что скорость распространения пропорциональна параметру, характеризующему конкретную среду. Чем меньше конкурирующих инноваций и меньше их влияние, тем быстрее происходит распространение.

Развитие сравнения распространения инноваций с физическим явлением диффузии поможет глубже осознать закономерности данного распространения, ввести математические вычисления и на их основе предложить алгоритм управления распространением инноваций.

Волновое взаимодействие инноваций в социально-экономической среде

Далее рассмотрим, какие возможности может принести сравнение процесса распространения инноваций с распространением волн. Автором первой пространственной теории распространения инноваций стал в 1952 г. Т. Хагерстранд. Он ввел такое понятие, как «волна нововведений». Распространение волн рассматривалось как передача информации в пространстве, а интенсивность процесса зависела от интенсивности источников и их взаимодействия между собой [10, 11]. Применению волновых моделей посвящены работы ряда зарубежных и отечественных исследователей [12, 13]. Основное ограничение данных работ заключается в том, что не учитывается взаимное влияние инноваций при их распространении [14].

Предлагается для учета взаимного влияния инноваций применить интерференционную модель распространения инноваций. Согласно определению интерференция (от лат. *inter* — взаимно, между собой и *ferio* — ударяю, поражаю) — взаимоподавление одновременно осуществляющихся процессов, при котором возникает нарушение (подавление), по крайней мере, одного из них. Иногда интерференцией называют

любое взаимодействие, в том числе и не ведущее к нарушению участвующих в нем процессов [9, 15].

Теория интерференции уже была успешно применена для решения различных задач в таких областях науки, как ботаника (вариант конкуренции; неблагоприятные взаимодействия, возникающие при наличии близких соседей того же или близких видов), лингвистика (последствие влияния одного языка на другой), психология (взаимоподавление одновременно осуществляющихся психических процессов; обусловлена ограниченным объемом распределяемого внимания), связь (изменение или повреждение информации, переносимой сигналом от передатчика через канал связи к приемнику, например, солнечная интерференция в спутниковой связи), и т. д. [16-18].

Исходя из предпосылки, что экономические процессы носят волновой характер, можем назвать процесс распространения инноваций также волновым [18, 19]. Демонстрацией может служить статистика количества продаж плеера Apple iPod (десятки зарегистрированных патентов) в течение нескольких лет (рис. 2). Как видно из графика, появление очередной модели плеера (новый гребень волны) обеспечивает продолжение продаж всей линейки Apple iPod. Но после выхода на рынок Apple iPhone в 2007 г., который по своему функционалу начал заменять плеер, пошел спад продаж плеера [21].

Суть явления интерференции состоит в том, что при определенных условиях при сложении двух или нескольких волн, суммарная интенсивность I отличается от суммы интенсивностей каждой волны. Интерпретировать интенсивность в случае распространения инноваций можно как ее эффективность, например, количество продаж или внедрений.

Рассмотрим случай двухлучевой интерференции. При сложении двух волн одинаковой частоты с интенсивностями I_1 с фазой φ_1 и I_2 с фазой φ_2 интенсивность суммарной волны I будет равна:

$$I = I_1 + I_2 + 2(I_1 I_2)^{1/2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Третье слагаемое знаменитое в данной формуле, отвечает за степень согласованности, взаимовлияния. Если оно равно 0, т. е. волны не связаны, то картины интерференции не случится. В нашем случае можно сказать, что третье слагаемое отвечает за степень влияния одного процесса на другой. Если такого взаимного влияния нет, т. е. инновационные процессы независимы друг друга, к примеру, имеют различный рынок сбыта, то количество продаж (внедрений) будет равно сумме продаж (внедрений) каждого в отдель-

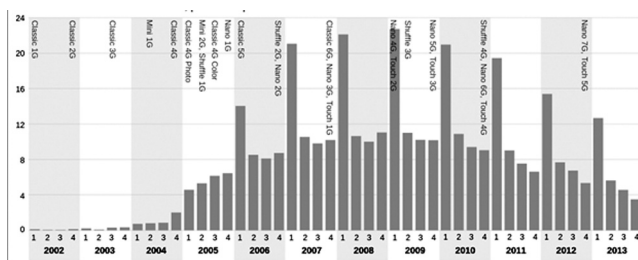


Рис. 2. Статистика продаж Apple iPod

ности. В противоположном случае мы сталкиваемся с эффектами синергии или каннибализма. Достаточно представить ситуацию, когда на рынок выходят два конкурирующих продукта. В общем случае они будут делить ограниченный рынок сбыта, соответственно, сумма продаж уже не будет равна сумме отдельных продаж каждой инновации, если бы не было конкурента.

Точками взаимного влияния инноваций являются ресурсы, которые предлагается разделить на две составляющие: вещественные и невещественные [4]. Под вещественными ресурсами будем понимать совокупность условий, дающую возможность реализовать цели инновационного процесса (все необходимые средства для его реализации). Отличительной чертой вещественных ресурсов является их зависимость от времени t . Когда говорится о такой стадии инновационного процесса, как реализация, то вещественные ресурсы — это материально-техническое обеспечение, финансовое, человеческое и т. д. На стадии коммерциализации под вещественными ресурсами в первую очередь понимается емкость рынка.

Невещественные ресурсы представляют собой такие ресурсы, которые принадлежат инновационному процессу изначально, не зависят от времени выполнения проекта и не обладают материально-вещественной (физической) структурой. К невещественным ресурсам будем относить объекты интеллектуальной собственности, например, сущность, идею инновации. Выделение невещественных ресурсов важно для учета влияния инноваций друг на друга, на будущий объем рынка сбыта инноваций, на степень инновационности предприятия, на репутацию предприятия и т. д.

Рассмотрим подробнее взаимовлияние процессов распространения инноваций.

Введем обозначения:

- пусть M — потенциальный объем рынка, его предельная емкость, для простоты будем называть потенциальным числом всех покупателей, M_i — потенциальное число покупателей инновации i , $0 < M_i \leq M$;
- n — количество рассматриваемых инновационных процессов;
- m_i — текущее количество покупателей, $m_i \leq M_i$;
- $f_i(t)$ — функция количества продаж во времени продукта i ;
- пусть τ — момент времени, когда продажи продукта от реализации инновационного проекта становятся равными 0.

Тогда площадь под кривой такой функции равна количеству всех продаж и выполняется неравенство

$$\int_0^{\tau} f_i(t) dt \leq M_i.$$

Если процессы распространения инноваций не имеют взаимного влияния, то выполняются неравенства:

$$\int_0^{\tau} f_1(t) + f_2(t) + \dots + f_n(t) dt \leq \sum_{i=1}^n M_i \leq nM.$$

Если процессы конкурируют между собой и взаимозаменяемые, то:

$$\sum_{i=1}^n \int_0^{\tau} f_i(t) dt \leq M.$$

Степень влияния одного процесса на другой можно определить как:

$$(\int f_1(t) + \int f_2(t)) / (M_1 + M_2) = a, a > 0.$$

Если $a < 1$, то возникает эффект каннибализации, инновации делят общий рынок.

Если $a > 1$, то два процесса оказывают друг на друга положительное влияние, один процесс подстегивает продажи второго.

Случай, когда $a \rightarrow 2$, иллюстрирует такой общеизвестный прием рынка, как «поглощение», или «скупка патентов». Когда еще не получена желаемая прибыль от коммерциализации первого инновационного процесса, $\int f_1(t)$, другой инновационный процесс $\int f_2(t)$ задерживают, и таким образом продлевают время жизни первому. Возникает пространство для принятия эффективного решения [22]. Таким образом, можно выстраивать запуск инновационных процессов во времени в той последовательности, которая будет наиболее благоприятна.

Заключение

Одним из актуальных направлений в теории инновационных систем является развитие теории управления распространением инноваций. Авторами предложено рассмотреть распространение инноваций с точки зрения корпускулярно-волновой теории, а именно сравнить процесс распространения с двумя физическими явлениями: с диффузией и интерференцией. Такое представление позволит учесть при разработке эффективной политики поддержки инноваций и разработке прогнозов распространения возможные эффекты от взаимовлияния инноваций и воздействия их на окружающую среду. Получен коэффициент взаимного влияния инновационных процессов.

Рассмотренные подходы помогут разработать математические модели, способные дать новые инструменты более высокого качества управления инновационными процессами в пространстве и во времени, разработать алгоритм управления распространением инноваций.

Список использованных источников

1. В. В. Жариков, И. А. Жариков, В. Г. Однолько, А. И. Евсейчев. Управление инновационными процессами: учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. унта, 2009.
2. А. И. Александрова. Управление инновационными процессами // Инновации и инвестиции. № 2. 2013..
3. И. Л. Туккель, А. В. Сурина, Н. Б. Культин. Управление инновационными проектами. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.
4. И. Л. Туккель, Н. А. Цветкова. Об особенностях многопроектного управления // Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 4-2. 2013.
5. F. M. Bass. A New Product Growth Model For Consumer Durables // Management Science. № 15. 1969.
6. Rogers 2003 — Rogers E. M. Diffusion of Innovations, Fifth Edition. Free Press, New York, 2003.
7. T. Greenhalgh, G. Robert, F. Macfarlane, P. Bate, O. Kyriakidou, R. Peacock. Storylines of Research in Diffusion of Innovation:

- A Meta-narrative Approach to Systematic Review. *Social Science & Medicine* 61. 2005.
8. И. Н. Бекман. Математический аппарат диффузии. Методы решений диффузионных уравнений: учебное пособие. М.: Изд. МГУ им. Ломоносова, 1990.
 9. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1965-1967.
 10. Т. Hagerstrand. Innovation diffusion as a spatial Process. Chicago: University of Chicago Press, 1968.
 11. П. Хаггет. Пространственный анализ в экономической географии/Пер с англ. М.: Прогресс, 1968.
 12. В. М. Аврамчиков. Инструменты управления распространением и взаимодействием волн инноваций//Инновационный вестник регион. № 1. 2014.
 13. К. А. Пузанов. Современные модели распространения инноваций: критический анализ//Социология власти. № 6-7. 2012.
 14. Н. А. Трубкина, И. Л. Туккель. Взаимодействие инноваций в мегапроектах//Научно-технические ведомости СПбГПУ. Инноватика. № 3. 2011.
 15. Ю. М. Плотинский. Модели социальных процессов: учебное пособие для высших учебных заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Логос, 2001.
 16. Г. С. Ландсберг. Элементарный учебник физики. 13-е изд. Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. М.: Физматлит, 2003.
 17. Л. И. Баранникова. Сущность интерференции и специфика ее проявления. Проблема двуязычия и многоязычия. М., 1972.
 18. E. L. Wohlmann, A. F. Healy, L. E. Bourne Jr. A mental practice superiority effect: Less retroactive interference and more transfer than physical practice//Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 34. 2008.
 19. Г. С. Вечканов, Г. Р. Вечканова. Макроэкономика. СПб.: Питер, 2008.
 20. А. А. Акаев. Математические основы инновационно-циклической теории экономического развития Шумпетера–Кондратьева. В альманахе «Кондратьевские волны. Аспекты и перспективы». Волгоград: Учитель, 2012.
 21. Global Apple iPod sales from 2006 to 2014. <http://www.statista.com/statistics/276307/global-apple-ipod-sales-since-fiscal-year-2006>.
 22. В. А. Садовничий, А. А. Акаев, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков. Моделирование и прогнозирование мировой динамики. Научный совет по Программе фонд. исслед. Президиума Российской академии наук «Экономика и социология знания». М.: ИСПИ РАН, 2012.

On the physical models of the spread of innovations in the socio-economic environment

I. L. Tукkel, Doctor of Technical Sciences, professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

N. A. Tsvetkova, Senior Lecturer at the department of project management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

This article concerns the task of controlling the diffusion of innovations with regard to their possible mutual influence. The use of physical models to analyze the spread of innovations, such as interference and diffusion, is examined. The possibility of obtaining mathematical models of spread of innovations on the basis of physical models is confirmed. The coefficient of mutual influence of innovations is defined.

Keywords: the spread of innovation, diffusion of innovation, mutual influence of innovations, innovation process, interference.

Новая бесплатная обучающая программа для участников инновационной инфраструктуры стартует в 3 регионах России

С ноября 2015 г. РВК при поддержке Агентства стратегических инициатив (АСИ) и Московского технологического института (МТИ) в рамках федерального акселератора технологических стартапов GenerationS начинает серию региональных обучающих программ для участников инновационной инфраструктуры. В новую программу впервые включена презентация Национальной технологической инициативы (НТИ), в том числе дорожных карт по отдельным рынкам НТИ.

К участию в программе приглашаются представители управляющих компаний инновационных территориальных кластеров, сотрудники инновационных компаний кластеров; директора и заместители директоров малых и средних (инновационных) предприятий; потенциальные и практикующие инновационные менеджеры; представители вузов и научно-исследовательских институтов; представители государственных структур и организаций; управляющие фондов, заинтересованные в развитии своих идей и переводе бизнеса на новый уровень.

В результате обучения участники получают необходимые практически знания и навыки в области:

- подготовки бизнес-предложения венчурному инвестору, компании, бизнес-ангелу, структурирования информации по проекту в соответствии с требованиями целевой аудитории;
 - определения потенциальных источников финансирования для проекта;
 - аудита проекта, определения и корректировки слабых сторон с точки зрения целевой аудитории;
 - выявления алгоритмов защиты научно-технологических проектов в области интеллектуальной собственности;
 - системного принятия управленческих решений, управления инновациями, управления проектами.
- Программа длится 3 дня. Участие в программе – бесплатное. Регистрация – обязательна. Подробнее: www.rusventure.ru.