

# Исследование современных подходов к моделированию процессов распространения технологий в наукоемких отраслях

М. Г. ДУБИНИНА

**Аннотация.** В данной работе проводится анализ современных подходов к описанию и моделированию процессов распространения новых продуктов и услуг в высокотехнологичных отраслях с учетом неоднородности агентов, «двойного эффекта» в развитии рынка, наличия конкурирующих брендов и нескольких поколений высокотехнологичных продуктов. Также приводятся способы учета влияния рекламных и ценовых факторов на распространение технологий, рассматриваются методы оценки параметров и применение моделей для анализа скорости и потенциала распространения инноваций в высокотехнологичных отраслях.

**Ключевые слова:** инновации, диффузия технологий, технологическое замещение, модели диффузии, неоднородность агентов, поколения высокотехнологичных продуктов, информационно-коммуникационные технологии.

## Введение

Наукоемкие и высокотехнологические отрасли являются основными производителями инноваций, они определяют научно-технический потенциал страны. Для них характерна высокая доля затрат на НИОКР (более 3,5 % в общем объеме продаж), а прибыль от инновации достигает максимального значения на этапе ее быстрого распространения и снижается на стадии насыщения [2]. Технологические инновации стали важнейшими средствами для поддержания устойчивого роста фирм и отраслей в условиях глобализации и высокой конкуренции, они способствуют повышению производительности труда, стабильному экономическому росту как отдельных предприятий, так и всей экономики в целом. Однако влияние новых технологий и процессов на экономический рост может быть реализовано полностью только в том случае, если эти инновации найдут широкое применение в экономике.

Анализ механизмов распространения новых технологий и продуктов на рынке и замещение ими старых интересов экономистов с середины XX века. Во многих работах того времени было показано, что число принявших новую технологию может быть представлено графически в виде S-образной кривой (см., например, статьи Гриллехеса [25], Мэнсфилда [40], Роджерса [49], Сахала [7], Варшавского [1]).

А сам процесс распространения осуществляется по коммуникационным каналам между членами социальной системы. Роджерс выделил 5 основных групп, представляющих различные типы потенциальных пользователей инноваций: новаторы, ранние последователи, раннее большинство, позднее большинство и консерваторы.

Теория диффузии инноваций, предложенная Роджерсом, стала основой математической модели, которая была реализована Бассом [9] и описывала распространение новых продуктов на рынке. В модели Басса общество состоит из новаторов и имитаторов, и вероятность покупки нового продукта тем выше, чем больше людей уже приобрело этот продукт:

$$\frac{dF}{dt} = \left[ p + q \frac{F(t)}{N} \right] [N - F(t)], \quad (1)$$

где  $\frac{dF}{dt}$  — число новых покупателей продукта в момент  $t$ ,  $F(t)$  — общее количество приобретших продукт к моменту времени  $t$  (накопленная сумма),  $N$  — максимально возможное число потенциальных покупателей продукта,  $p$  — коэффициент инновации,  $q$  — коэффициент имитации. Модель с момента своего появления широко использовалась и используется до настоящего времени, что объясняется ее простотой и в то же время наглядностью, учетом

инновационной и имитационной составляющих диффузионного процесса (см., например, работы Fernández-Durán [22], Lee и др. [38], Phuc и др. [48], Dalla Valle и Furlan [18], Чуркина [8]).

Однако в настоящее время процессы диффузии новых продуктов и услуг становятся все более сложными и многогранными. Распространяются новые способы получения информации, развивается рынок коммуникационных продуктов и услуг, усиливается глобализация и конкуренция, сокращается период инновационного цикла, ускоряются темпы обновления технологий. В результате этого процессы диффузии выходят за рамки классического сценария с единым рынком и монополией товаров длительного пользования в однородной социальной системе. Распространение информации об инновациях в настоящее время уже не ограничивается межличностным общением («из уст — в уста»), а охватывает новые типы социального взаимодействия. В работе Peges и др. [47] указывается на то, что диффузия инноваций как процесс проникновения на рынок новых продуктов и услуг осуществляется с помощью социальных влияний, которые включают в себя, помимо межличностного общения, внешние сетевые и социальные сигналы. Модели диффузии стараются отразить и оценить факторы, воздействующие на распространение инноваций на протяжении их жизненного цикла, описать и смоделировать эти влияния.

Особую роль в распространении инноваций играют информационные и коммуникационные технологии (ИКТ). С их помощью процесс передачи информации об инновациях многократно ускорился. В то же время сами ИКТ характеризуются высокой частотой появления новых технологий, сокращением их жизненного цикла, высоким уровнем конкуренции, высокой скоростью распространения инноваций.

Исследованию особенностей распространения информационно-коммуникационных технологий как в странах с различным уровнем дохода на душу населения, так и в различных регионах одной страны, посвящены многие работы. Особое внимание уделяется диффузии Интернета и широкополосного доступа в Интернет как важнейшим технологиям, определяющим уровень информатизации общества и степень вовлеченности стран в мировое экономическое пространство. Из работ последнего времени, посвященных анализу и прогнозированию распространения этих технологий в разных странах, можно назвать статьи Feng [21], Lee D. и Kim H. [37], Дубининой [5]. Также исследуются факторы, влияющие на степень распространения информационных технологий по различным возрастным категориям, среди городских и сельских жителей и т. д. (например, в работах Penard и др. [46] и Делицына [4]).

С момента своего возникновения модели диффузии технологий претерпели ряд усовершенствований и дополнений. Они используются для прогнозирования уровня распространения отдельных высокотехнологичных продуктов и услуг, для принятия решений о поддержке той или иной технологии. В данной статье рассмотрены некоторые направления современных подходов к моделированию процессов технологического замещения с точки зрения эволюционной экономики, рассмотрены методы применения этих подходов к описанию диффузии инноваций в высокотехнологичных отраслях и прогнозированию скорости распространения новых технологий, приведены оценки параметров диффузии для некоторых видов продуктов.

### Технологическое замещение с точки зрения эволюционной экономики

Технологическое замещение является отличительной чертой экономического преобразования. Эволюция знаний и их реализация в технологических инновациях являются основными составляющими усиления конкуренции среди технологий, борющихся за расширение своей доли рынка.

Традиционная эволюционная теория рассматривает технологическое замещение как процесс, включающий в себя этапы изменения, отбора и развития. Эволюция технологии рассматривается как непрерывный процесс ступенчатых «разрывов», в результате которых одна технология заменяется другой, и этот процесс во времени описывается моделью в виде последовательных S-образных кривых. Эти технологические разрывы включают инкубационные периоды, когда альтернативные технологии или продукты конкурируют друг с другом, пока цель полного доминирования на рынке не будет достигнута одной из альтернатив.

Суарес [51] выделяет пять этапов в процессе технологического замещения:

- 1) наращивание затрат на НИОКР, оценка ключевых характеристик создаваемой технологии;
- 2) оценка технической осуществимости, разработка прототипов;
- 3) введение технологии на рынок;
- 4) фаза конкуренции на рынке;
- 5) фаза утверждения на рынке доминирующей технологии.

Существует несколько подходов к моделированию процесса технологического замещения. Среди них — стохастические и логистические модели, подход на основе системной динамики, модели типа Лотки—Вольтерры, Басса и др. Распространение технологий и новых продуктов в современной науч-

ной литературе исследуется с разных точек зрения. Особый интерес представляют учет неоднородности агентов, динамичный характер потенциала рынка, экзогенные факторы, влияющие на диффузию технологий.

### 1. «Двойной эффект» в эволюции рынка

Многие исследователи в последнее время обратили внимание на существование спадов в жизненных циклах новых продуктов и технологий, которые называют пропастью, «седлом» или разрывом, когда в процессе диффузии после быстрого взлета продаж продукта достигается начальный пик, а за ним следует спад различной длины и глубины, который может смениться возобновлением роста и новым пиком, даже превышающим начальную вершину (поэтому используется термин «седло»). Исследования последнего времени указывают на существование такого явления для многих видов высокотехнологичных продуктов. Спрогнозировать глубину и наличие седла разные исследователи пытались с помощью различных подходов. Один из возможных способов — рассмотрение двух видов рынка: раннего и основного.

В работе Muller и Yogevev [42] предлагается модель, в которой распространение инновации  $I$  на раннем рынке описывается с помощью модели Басса:

$$\frac{dI(t)}{dt} = \left( p_i + q_i \frac{I(t)}{N_i} \right) (N_i - I(t)), \quad (2)$$

где  $p_i$  и  $q_i$  имеют обычное значение параметров инновации и имитации, а  $N_i$  обозначает потенциал раннего рынка. Распространение инновации на основном рынке ( $M$ ) описывается моделью с более сложной структурой:

$$\frac{dM(t)}{dt} = p \left( m + q_m \frac{M(t)}{N_m + N_i} + q_{im} \frac{I(t)}{N_m + N_i} \right) (N_m - M(t)), \quad (3)$$

где  $N_m$  — потенциал основного рынка,  $p_m$  — параметр инновации основного рынка. Таким образом, при моделировании распространения инновации на основном рынке учитывается эффект передачи информации о новом продукте «из уст в уста», который может частично зависеть от степени связи между участниками рынка ( $q_m$ ) и частично — от межрыночных связей между ранним и основным рынками ( $q_{im}$ ).

Другой подход к моделированию «двойного эффекта» рынка предложен в работе Guseo и Guidolin [26]. Модель интерпретирует диффузию инновации как развитие двух отдельных, но взаимодействующих процессов: коммуникации и принятия инновации. Динамика коммуникации рассматривается как фактор, определяющий потенциал рынка, чья струк-

тура не является фиксированной, а также изменяется во времени как функция распространения знаний об инновации.

В основу рассматриваемой модели положена функция клеточного автомата (Cellular Automata, CA), которая имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} = & \\ = m(t) & \left\{ -t_s \frac{y(t)}{m(t)} + \left( p_s + q_s \frac{y(t)}{m(t)} \right) \left( 1 - \frac{y(t)}{m(t)} \right) \right\} x(t) + \\ & + \frac{dm(t)}{dt} \frac{y(t)}{m(t)}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $dy/dt$  представляет собой мгновенные принятия инновации во время  $t$ ,  $y(t)$  обозначает соответствующий совокупный объем принявших,  $p_s$  и  $q_s$  являются обычными параметрами функции Басса, изображающими эффекты инновации (внешние) и имитации (внутренние),  $r_s$  служит для учета возможного эффекта спада,  $m(t)$  представляет собой динамический потенциал рынка, а  $x(t)$  представляет собой инструмент вмешательства (экологические или стратегические возмущения), который изменяет процесс принятия инновации путем расширения (если  $x(t) > 1$ ) или сокращения ( $x(t) < 1$ ) остаточного рынка ( $m(t) - y(t)$ ).

Способ задания рыночного потенциала в работе [26] предложен в виде:

$$m(t) = K \sqrt{\frac{1 - e^{-(p_c + q_c)t}}{1 + \frac{q_c}{p_c} e^{-(p_c + q_c)t}}},$$

где  $p_c$  и  $q_c$  обозначают соответственно внешние и внутренние компоненты коммуникационного процесса,  $K$  — асимптотический потенциал рынка, к которому стремится  $m(t)$  при  $t \rightarrow +\infty$ .

Guseo и Guidolin было получено, что замедление в темпах распространения инновации происходит в том случае, когда процессы коммуникации и принятия инновации значительно отделены во времени.

### 2. Учет неоднородности агентов

При построении эконометрических моделей предполагается, что участвующие в экономической деятельности агенты ведут себя рационально, т. е. осознают стоящие перед ними цели и способны мгновенно выбирать наилучшее решение для их достижения. Кроме того, предполагается устойчивость предпочтений агентов, т. е. одинаковый критерий выбора наилучшего решения при постоянных внешних условиях [6]. Однако в работах последнего времени, связанных с диффузией инноваций, все чаще выдвигается

гипотеза о неоднородности агентов и необходимости выделения по крайней мере двух групп агентов, называемых, например, «влиятельными лицами» и «подражателями» [54]. Такие группы отличаются в своем отношении и ожиданиях по отношению к инновациям, и существование этих групп может служить объяснением «двойного эффекта» рынка.

Один из способов учета неоднородности агентов — использование модели клеточного автомата (СА), в котором каждая клетка представляет индивидуального покупателя и имеет значение «0», если покупатель еще не приобрел инновацию, и «1» — в противном случае. Потенциальные покупатели принимают решение о покупке согласно комбинации внешних (параметр  $p$ ) и внутренних влияний (параметр  $q$ ) аналогично модели Басса. Такой подход был предложен в работе Goldenberg и др. [24].

Vetmaog и Lee [11] ввели в модель параметры, учитывавшие неодинаковую индивидуальную склонность к покупке новшества по потребителю и различие в сроках первой покупки. Karmeshu и Goswami [32] расширили смешанную модель диффузии введением неоднородных параметров  $p$  и  $q$ , которые могли принимать по 2 значения ( $p_1$  и  $p_2$ ,  $q_1$  и  $q_2$ , соответственно). Авторы предположили также, что эти два параметра коррелируют и что диффузия в сегменте населения, определяемого конкретной парой значений ( $p$ ,  $q$ ), происходит независимо от другого сегмента.

Young [56] рассмотрел три основных способа взаимодействия агентов при распространении инновации (контакт, социальное влияние и социальное обучение) и предложил методы учета неоднородности агентов в моделях, описывающих распространение инноваций на рынке.

В случае контактов, например, предлагается ввести два параметра для характеристики скорости принятия инновации агентом определенной группы, если он узнал об инновации внутри группы ( $\lambda$ ) или вне ее ( $\gamma$ ). При отсутствии неоднородности агентов процесс распространения инновации в этом случае описывается уравнением

$$\frac{dp}{dt} = (\lambda p(t) + \gamma)(1 - p(t)) \quad (5)$$

и решение этого уравнения имеет вид:

$$p(t) = \left[ 1 - \beta \gamma e^{-(\lambda + \gamma)t} \right] / \left[ 1 + \beta \lambda e^{-(\lambda + \gamma)t} \right]. \quad (6)$$

В случае, если контакты осуществляются только внутри группы ( $\gamma = 0$ ), получается логистическая функция, если контакты только внешние ( $\lambda = 0$ ) получается инерционная кривая. Если же предположить наличие контактов того и другого вида (т. е.  $\lambda, \gamma > 0$ ), то, положив параметр  $\beta = 1/\gamma$ , зависимость (6) примет вид:

$$p(t) = \left[ 1 - e^{-(\lambda + \gamma)t} \right] / \left[ 1 + \frac{\lambda}{\gamma} e^{-(\lambda + \gamma)t} \right] \quad (7)$$

Если обозначить через  $\mu$  совместное распределение  $\lambda$  и  $\gamma$  и через  $p_{\lambda, \gamma}(t)$  — все типы  $(\lambda, \gamma)$ -агентов в момент  $t$ , то доля всех, кто принял инновацию к моменту  $t$  определяется формулой:

$$p(t) = \int p_{\lambda, \gamma}(t) d\mu = 1 - \int e^{-\gamma t - \lambda \int_0^t p(s) ds} d\mu. \quad (8)$$

Уровень интенсивности  $p(t)/(1 - p(t))$  может быть возрастающим или убывающим в зависимости от относительной важности внутренних и внешних источников контактов.

Неоднородность внешних экономических факторов может влиять на оптимальные сроки принятия продукта или инновации. Агенты принимают инновацию тогда и только тогда, когда они могут это себе позволить. В работе Kandler и Steele [31] рассмотрена идея подхода к экономической неоднородности агентов с точки зрения неравномерности распределения доходов среди населения. Предполагается, что цена инновации снижается в зависимости от времени, а индивид  $i$  примет инновацию, если ее цена ниже, чем пороговое значение  $\theta_i$  индивида, зависящее от его дохода. Неравное распределение доходов приводит к неравномерному распределению порогов цен принятия инновации. Один из возможных способов описания ценового порога — использование гамма-функции распределения:

$$f_{\theta}(\theta) = \frac{\lambda^{\alpha}}{\alpha} \theta^{\alpha-1} e^{-\lambda \theta} \quad \alpha, \lambda > 0, \theta \geq 0. \quad (9)$$

Параметры  $\alpha, \lambda$  интерпретируются как показатели неравенства и масштаба. Так как определение порога цен для индивида является гораздо более сложной задачей по сравнению с определением его доходов, то обычно предполагается, что  $\theta = cI, 0 \leq c \leq 1$ , где  $I$  — доход индивида,  $c$  — описывает его склонность к расходам на инновации. Уровень неравенства доходов можно измерить с помощью коэффициентов концентрации доходов Джини. Чем больше неравенство в распределении доходов, тем больше времени займет диффузия нового продукта с высокой начальной стоимостью и стационарным снижением цен среди населения. Если  $F(t)$  — это функция, определяющая долю населения, принявшего инновацию в момент времени  $t$ ,  $F_{\theta}(\theta)$  — соответствующая пороговая функция распределения, тогда

$$F(t) = 1 - F_{\theta}(\rho(t)), \quad (10)$$

где  $\rho(t)$  — цена инновации, убывающая функция, которую можно задать формулой  $\rho(t) = \rho_0 e^{-bt}$ .

В работе Kandler и Steele предложена модель, в которой решение о принятии инновации зависит от социального влияния, но сроки ее принятия сдерживаются доступностью инновации. Это приводит к уравнению следующего вида:

$$X(t) = Y(t)(1 - F_{\circ}(\rho(t))), \quad (11)$$

где  $F$  описана в (9), а  $Y$  является кумулятивной кривой принятия для модели социального влияния и определяется уравнением:

$$\frac{dY(t)}{dt} = (p + qY(t))(1 - Y(t)). \quad (12)$$

Эта модель предполагает, что предпочтение принять инновацию не зависит от дохода. Агенты являются неоднородными по отношению к порогу цен на принятие инновации, но однородными относительно механизмов предпочтения ее принять.

Кроме того, рассматриваются такие явления как «отложенный спрос» для пользователей новых продуктов и технологий. В работе Pegoretti и др. [45] проанализировано, как структура социальных сетей влияет на распространение инноваций и их конкуренцию в рамках различных информационных режимов. Процесс диффузии инновации моделируется как результат своеобразных порогов принятия инноваций, сетевых эффектов и распространения информации. Информация распространяется через сеть с помощью эффекта демонстрации (прямой контакт с принявшими инновацию) и трансляции (реклама или маркетинг). В работе рассматривается зависимость скорости распространения инновации от режима полной или неполной информации. Для этого используется задание функции максимизации индивидуального потребительского излишка в виде:

$$\pi_i(t) = r_i + \alpha \frac{|\{j \in N_i : a_j(t-1) = a_i(t)\}|}{|N_i|}, \quad (13)$$

если  $a_i(t) \neq 0$ .

В этом соотношении  $a_i(t)$  представляет собой выбор агента  $i$  в момент  $t$  (если  $a_i(t) = 0$ , то в момент  $t$  агент решает не принимать никакую инновацию и  $\pi_i(t) = 0$ ),  $r_i = p_i^m - p$  — это разница между базовой готовностью агента платить за любую инновацию и ценой инновации,  $\alpha$  — экзогенный параметр, характеризующий силу сетевых эффектов. Таким образом, функция задает порог готовности заплатить за инновацию ( $p_i^m$ ), включает в себя стоимость ( $p$ ), долю соседей, купивших инновацию в предыдущий период, а также экзогенный параметр  $\alpha$ . Предполагается, что агент способен купить только одну инновацию за период. Кроме того, он может пересмотреть свой выбор в пользу альтернативной инновации без дополнительной платы. Предполагается, что

базовый порог агента заплатить за инновацию, ниже, чем ее цена, т. е. агенты в среднем не хотят быть первыми покупателями инновации.

Для анализа взаимодействия между структурой сети и диффузией инновации использовалось представление сети в виде графа, имеющего  $n$  узлов и  $k$  степеней (предполагается, что каждый из  $n$  клиентов поддерживает отношения с  $k$  другими), где каждое из звеньев соединяется случайным образом с другими узлами с определенной вероятностью  $\beta$ . Величина  $\beta$  оказывает влияние на скорость распространения инновации в зависимости от информированности агентов. В работе было показано, что, при полной информированности скорость диффузии монотонно возрастает от регулярной сети до случайной (при  $\beta = 1$ ), и она начинает увеличиваться с  $\beta = 0,01$ . При неполной информированности скорость диффузии начинает расти раньше, при значениях  $\beta$  около 0,001, когда среднее расстояние начинает уменьшаться. Это происходит потому что информационная диффузия в основном полагается в этом случае на демонстрационный эффект предыдущих покупателей инновации.

Авторами было показано, что в случае сетей с высокой кластеризацией и низкой средней дистанцией между социальными группами, при неполной информации и низких маркетинговых усилиях для запуска различных инноваций, вероятность их существования является довольно низкой. Кроме того, этот исход гораздо менее вероятен в том случае, когда есть даже небольшая задержка по времени внедрения разных инноваций. Модель представляет собой комбинацию пробит — и эпидемиологических моделей диффузии.

В работе Делицына [3] предложена модель распространения интернета в неоднородном обществе с учетом цен для различных поколений пользователей. При этом вероятность того, что потенциальный пользователь начнет использовать инновацию, описывается зависимостью, представляющей собой распространение модели Басса на случай различных возрастных групп участников взаимодействия. Само же взаимодействие предполагается однородным, не зависящим от возраста пользователей. Расчеты были произведены с использованием результатов социологических опросов ФОМ и ВЦИОМ об использовании интернета в России и в Москве.

### 3. Диффузия при конкуренции между брендами

Одно из современных направлений изучения процесса диффузии инноваций — рассмотрение процесса конкуренции между соперничающими брендами в рамках одной категории, что приводит к особому

случаю учета внутрибрендовых, межбрендовых эффектов и эффекта распространения «из уст в уста».

В случае двух конкурирующих брендов, которые запускают в одно и то же время свои продукты, оспаривающие один и тот же рынок, может учитываться эффект взаимодействия между пользователями одного бренда с потенциальными пользователями другого (межбрендовый эффект).

В статье Lасiana и др. [36] изучались точки равновесия системы уравнений, основанных на модели Басса и описывающих диффузию двух брендов на рынке. В работе предлагается следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt}(t) &= \left[ p_1 + q_{11} \frac{N_1(t)}{m} + q_{12} \frac{N_2(t)}{m} \right] (m - N), \\ \frac{dN_2}{dt}(t) &= \left[ p_2 + q_{21} \frac{N_1(t)}{m} + q_{22} \frac{N_2(t)}{m} \right] (m - N), \end{aligned} \quad (14)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  — число принявших бренды 1 и 2 соответственно,  $m$  — общий потенциал рынка,  $N(t) = N_1(t) + N_2(t)$  — общее число последователей в момент  $t$ ,  $p_1$  и  $p_2$  — параметры внешнего влияния для брендов 1 и 2 соответственно,  $q_{11}$  и  $q_{22}$  — внутрибрендовые параметры влияния для брендов 1 и 2,  $q_{12}$  — межбрендовое влияние бренда 2 на бренд 1 и наоборот,  $q_{21}$  — влияние бренда 1 на бренд 2. Предполагается, что  $q_{ij} > 0$ .

Исследуя равновесное состояние для приведенной модели, где общий потенциал рынка считается постоянным во времени, авторы различали состояние рынка, когда он насыщен и когда насыщение еще не достигнуто. Было получено, что точка равновесия системы находится немного в стороне от прямой линии, заданной уравнением  $n_2 = 1 - n_1$ , и всегда будет иметь тенденцию приближаться к такой линии. Кроме того, в ответ на возмущение система не возвращается в исходную точку равновесия, но перемещается в сторону новой точки вдоль линии равновесия, нарушая симметрию по отношению к линии, перпендикулярной к линии равновесия, которая проходит через точку возмущения. Приведенные результаты были получены для насыщенного рынка.

Зависимость показателей равновесия системы от параметров модели было оценено в случае отсутствия межбрендового влияния ( $q_{12} = q_{21} = 0$ ). Для бренда 1 было получено уравнение вида:

$$1 + \frac{q_{22}}{p_2} (1 - n_1) = \left( 1 + \frac{q_{11}}{p_1} n_1 \right)^{\frac{q_{22}}{q_{11}}}.$$

Это уравнение устанавливает зависимость между долей принявших бренд 1 ( $n_1$ ) и коэффициентами  $q_{11}$ ,  $q_{22}$ ,  $p_1$  и  $p_2$ . Для второго бренда точка равновесия получается подстановкой  $n_2 = 1 - n_1$ . Было получено,

что возрастание коэффициента имитации  $q$  оказывает существенное влияние на конечную долю рынка, достигнутую брендом. Например, при увеличении коэффициента имитации с 0,2 до 0,7 (на 250 %) доля рынка бренда составит около 80 %. Влияние параметра инновации  $p$  схоже с  $q$ .

В работе Guseo и Mortarino [29] предложена модель, позволяющая изменять значения параметров первого участника, как только второй выходит на рынок. При условии, что  $m$  — общий рыночный потенциал двух брендов,  $z_i(t)$  — кумулятивные продажи продукта  $i$ , остаточный рынок определяется соотношением:  $m - z(t)$ , где  $z(t) = z_1(t) + z_2(t)$ . Конкуренция двух брендов может начаться синхронно (появление двух брендов на рынке одновременно) или возникнуть после периода монополии одного из них, что является наиболее распространенным явлением. В этом случае диффузия брендов описывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{dz_1(t)}{dt} &= \\ &= m \left\{ \begin{aligned} &\left[ p_{1a} + q_{1a} \frac{z(t)}{m} \right] (1 - I_{t > c_2}) + \\ &+ \left[ p_{c1} + (q_{1c} + \delta) \frac{z_1(t)}{m} + q_{1c} \frac{z_2(t)}{m} \right] I_{t > c_2} \end{aligned} \right\} \left[ 1 - \frac{z(t)}{m} \right], \\ \frac{dz_2(t)}{dt} &= m \left[ p_2 + (q_2 - \gamma) \frac{z_1(t)}{m} + q_2 \frac{z_2(t)}{m} \right] \left[ 1 - \frac{z(t)}{m} \right] I_{t > c_2}, \\ m &= m_a (1 - I_{t > c_2}) + m_c I_{t > c_2}, \\ z(t) &= z_1(t) + z_2(t) I_{t > c_2}. \end{aligned} \quad (15)$$

Появление второго бренда на рынке происходит в момент времени  $t = c_2$ , и  $I_{t > c_2} = 1$ , если  $t > c_2$ . До этого периода распространение бренда 1 описывалось параметрами  $p_{1a}$  (коэффициент инновации),  $q_{1a}$  (коэффициент имитации) и  $m_a$  — потенциал рынка. С появлением нового бренда на рынке рыночный потенциал принимает значение  $m_c$ . Он может быть больше или меньше значения  $m_a$ . С этого момента первый бренд имеет коэффициент инновации  $p_{1c}$  и два коэффициента имитации ( $q_{1c} + \delta$ , описывающий внутрибрендовый эффект, и  $q_{1c}$ , характеризующий межбрендовый эффект взаимодействия). Для второго бренда параметры равны  $p_2$ ,  $q_2$  и  $q_2 - \gamma$  соответственно.

Анализ базового состояния модели показывает, что совокупные продажи разделены в этом случае между конкурентами в соответствии с долями  $q_{1c} / (q - \delta)$  и  $(q_2 - \delta) / (q - \delta)$  соответственно. Модель позволяет провести более глубокий анализ динамики конкуренции брендов и получить количест-

венную оценку дополнительного количества продаж, достигнутого с помощью одного из конкурентов за счет другого.

#### 4. Распространение нескольких поколений высокотехнологичной продукции (multi-generational product diffusion, MGPD)

Процесс распространения нескольких поколений высокотехнологичной продукции со своими уникальными характеристиками не может быть объяснен с помощью модели спроса первой покупки. В этом случае главной целью всех исследований является понимание особенностей этого процесса, его моделирование и предсказание темпов будущих продаж нескольких поколений таких продуктов. Исследователи, ссылаясь на случай ПК и смартфонов продукции Apple, указывают на то, что продажи одного поколения иногда начинают снижаться вскоре после его выхода (даже если это поколение считается успешным).

В исследовании, проведенном Decker и Gribba-Yukawa [20], выделено пять факторов, оказывающих наибольшее влияние на процесс диффузии высокотехнологичных продуктов: демократизация инноваций, межличностное общение, прямой и косвенный сетевые эффекты, эффект неоднородности спроса и прогнозируемое поведение. Считается, что демократизация инноваций, как правило, оказывает положительное влияние на скорость диффузии; для межличностного общения и сетевого эффекта нужна накопленная база пользователей, поэтому они не оказывают большого влияния на распространение технологий и продуктов в начальной стадии; эффект неоднородности спроса обычно используется для объяснения «эффекта седла» в диффузии. В то же время считается, что эффект прогнозируемого поведения может быть отрицательным для распространения технологии.

Один из популярных подходов, описывающих процесс MGPD — это модели выбора. В них клиенты решают купить новую версию продукта, если ожидаемая полезность нового поколения больше, чем текущего. В более сложных моделях, где учитывается существование на рынке нескольких поколений продуктов в одно и то же время, клиенты оценивают полученную полезность в каждом поколении без покупки, а затем выбирают вариант, который приводит к высшей полезности (такие модели рассмотрены, например, Kreng и Wang [35] и Kim и Srinivasan [33]).

Кроме указанных выше двух основных подходов, некоторые исследователи также изучают другие возможные подходы к моделированию MGPD. Например, в работе Tsai [53] прогнозируется рост рынка поколений ЖК-телевизоров с помощью расши-

ренной модели Гомперца; Kreng и Wang [34] строят модель MGPD на основе системной динамики.

В работе Shi и др. [50] предполагается, что продукт имеет  $N$  успешных поколений и каждое поколение имеет лучшие характеристики, чем предыдущие. Предполагается также, что покупатели каждого поколения не возвращаются обратно к более раннему поколению. Каждому поколению  $i$ , реализованному в период времени  $\tau_i$ , соответствуют  $p_i$  и  $q_i$  — соответствующие параметры влияния (инновации и имитации),  $f_i(t)$  — число покупателей, имеющих положительное мнение об  $i$ -м поколении в момент  $t$ ,

$$F_i(t) = \sum_{t'=1}^t f_i(t'), \quad (16)$$

$M_i$  — потенциал рынка, создаваемый  $i$ -м поколением.

Когда эффект между поколениями не используется, модель сводится к оригинальной модели Басса, а  $f$  и  $F$  будут фактическим числом новых последователей и накопленных последователей продукта.

$$f_i(t) = \left( p_i + q_i \frac{F_i(t)}{M_i} \right) (M_i - F_i(t) + \sum_{t'=0}^t w_{i-1,j}(t')). \quad (17)$$

В этом уравнении  $\sum_{t'=1}^t w_{i-1,j}(t')$  представляет собой

накопленную сумму потенциальных покупателей, которые перешли из предыдущего поколения к поколению  $i$  в соответствии с эффектом связи между поколениями. Далее вводится понятие кросс-эффекта между поколениями. Предполагается, что начальная покупка потенциальных клиентов может стать неопределенной из-за появления более позднего поколения продукта с расширенными функциями. Следовательно, некоторые клиенты могут принять решение об ожидании нового поколения и становятся потенциальными последователями более позднего поколения. Показатель времени выбирается в качестве индикатора возможности перепрыгнуть через поколение потенциальных клиентов, он тем выше, чем больше разница в производительности этого поколения по отношению к его преемнику. В связи с наличием каналов связи, клиенты обычно заранее начинают знакомство с новыми поколениями продуктов еще до их официального выпуска, особенно в контексте высокотехнологичных товарных рынков. Таким образом, предполагается, что решение клиентов о принятии, возможно, уже начало оказывать влияние на прогнозирование будущих инновационных поколений, прежде чем новые поколения выйдут на рынок (прогнозируемое поведение).

Существует вероятность того, что клиенты, которые определяют свое намерение совершить покупку под влиянием  $i$ -го поколения  $F_i(t)$ , могут

принять решение об отсрочке покупки и дальнейшей оценке более продвинутых функций поколения  $i + 1$ . Предполагается, что эта возможность будет увеличиваться с течением времени. В этом случае будет непрерывный поток потенциальных клиентов из поколения  $i$  в поколение  $i + 1$ , а параметр  $\eta_i$  можно рассматривать как параметр скачка для клиентов:

$$w_{i,j+1}(t) = f_i(t)(1 - \exp(-\eta_i(t - t_i^*))) . \quad (18)$$

Тогда число реальных покупателей  $i$ -го поколения ( $s_i(t)$ ) может быть вычислено по уравнению:

$$s_i(t) = f_i(t) - w_{i,i+1}(t). \quad (19)$$

Если поколение  $i$  не представлено на рынке, то

$$f_i(t) = s_i(t) = w_{i,i+1}(t) = 0. \quad (20)$$

Если поколение  $i$  больше не продается на рынке, то  $s_i(t) = 0$ ,  $w_{i,i+1}(t) = f_i(t)$ . Это означает, что все покупатели поколения  $i$  предпочтут купить поколение  $i + 1$ . Рыночный потенциал каждого поколения определяется в зависимости от их общей стоимости совокупных продаж, т. е. сумма двух типов рыночных потенциалов оценивается с помощью одного параметра  $M_i$ .

Этот подход к моделированию рынка нескольких поколений высокотехнологичных продуктов был применен для анализа продаж игровых консолей фирм Nintendo, Sony и Microsoft, а также нескольких разных продуктов фирмы Apple. Для оценки параметров модели был применен метод генетического алгоритма, т. к. он имеет более высокую вероятность достижения глобального оптимального решения, когда целевая функция по своей природе нелинейна и содержит большое количество параметров. Особенностью рассмотренной модели, построенной на основе модели Norton и Bass (NB) [43] и Mahajan и Muller (MM) [39], является наличие эффекта разных поколений, что включает в себя прогнозируемый период поведения клиентов.

С помощью имитационного моделирования было получено, что продажи некоторых поколений продуктов Apple могут упасть вскоре после их выхода. Это явление не находит отражения в моделях NB и MM, но может быть объяснено рассматриваемой моделью с помощью перспективного эффекта, когда клиенты предпочитают приобретать сразу только новую для рынка продукцию, иначе они станут, скорее всего, ждать новое поколение продукта. Согласно полученной авторами оценке, в случае смартфона от Apple 23,1 % клиентов, которые имеют нынешнее поколение, решат дождаться следующего поколения после одного временного интервала, и этот показатель увеличится до 40,9 % и 54,6 % после двух и трех временных интервалов [50].

### 5. Учет влияния внешних факторов на потенциал рынка

Классическая модель Басса предполагает, что потенциал рынка, на котором распространяется инновация, остается постоянным. В обобщенной модели Басса [10] была введена функция вмешательства  $x(t)$ , с помощью которой появилась возможность учитывать влияние экзогенных переменных на процесс диффузии, а само уравнение (1) приняло вид:

$$\frac{dF}{dt} = [1 - F(t)][p + qF(t)]x(t), \quad (21)$$

откуда общее число принявших инновацию описывается соотношением:

$$Y(t) = mF(t) = m \frac{1 - e^{-\int_0^t (p+q) x(\tau) d\tau}}{1 + \frac{q}{p} e^{-\int_0^t (p+q) x(\tau) d\tau}}. \quad (22)$$

Для  $x(t) = 1$  уравнение сводится к классической модели Басса, если  $x(t) > 1$ , то процесс диффузии ускоряется с течением времени, если  $x(t) < 0$ , то, соответственно, замедляется. В настоящее время исследователи предлагают различные способы описания функции вмешательства в обобщенной модели Басса. Например, в работе Guseo и др. [27] предложено моделировать функцию вмешательства  $x(t)$  с помощью нескольких экспоненциальных разрывов (шоков):

$$x(t) = 1 + c_1 e^{b_1(t-a_1)} I_{t \geq a_1} + c_2 e^{b_2(t-a_2)} I_{t \geq a_2}, \quad (23)$$

где  $a_i$  ( $i = 1, 2$ ) обозначает время начала разрыва,  $b_i$  ( $i = 1, 2$ ) описывает эффект продолжительности и  $c_i$  ( $i = 1, 2$ ) контролирует интенсивность возмущений. Для значений параметра  $b_i < 0$  процесс затухает, возвращаясь к среднему значению (т. е.  $x(t) = 1$ ). Если  $b_i > 0$ , то такой процесс описывает постоянное ускорение жизненного цикла инновации.

Другие исследователи предложили ряд альтернативных структур для представления функции вмешательства  $x(t)$ , которые описываются разрывами экспоненциальной или прямоугольной формы, или с помощью обоих типов разрывов одновременно. Экспоненциальный разрыв определяет локально интенсивный импульс, который постепенно утрачивает свое воздействие или, наоборот, ускоряется. Прямоугольный разрыв функции вмешательства  $x(t)$  соответствует возмущению, чей эффект остается неизменным в течение ограниченного времени.

В работе Dalla Valle и Furlan [19] с помощью функции вмешательства были получены оценки

распространения технологии использования силы ветра в странах Европы и США. Авторами была рассмотрена комбинация экспоненциального и прямоугольного разрывов. Эта функция отражала особенности и последствия политики стимулирования, принятой правительствами разных стран, в области ветровой энергетики. Использование функции вмешательства позволило выявить очевидную взаимосвязь между экономическими преимуществами, получаемыми от льготных налоговых тарифов, и увеличением числа принявших новую технологию, а также оценить время начала, силу и продолжительность этого процесса.

Многие исследователи, используя классические модели диффузии инноваций, расширяют их, включая механизмы учета влияния рекламных инвестиций и других факторов рынка на скорость процесса и изменение продаж новых продуктов. В этом случае предполагается, что информация о новом продукте передается либо «из уст-в уста», либо с помощью рекламы.

В работе Voehner и Gold [12] в обобщенную модель Басса включается смешанный рыночный эффект. Если через  $S_t$  обозначить число новых пользователей инновации в момент времени  $t$ ,  $p$  — коэффициент инновации,  $q$  — коэффициент имитации,  $m$  — общий размер рынка,  $N_{t-1}$  — накопленное число принявших инновацию к моменту  $t-1$ ,  $Z_t$  — зависящую от времени переменную, отражающую смешанный рыночный эффект, то

$$S(t) = \left( pm + (q - p)N_{t-1} - \frac{q}{m}N_{t-1}^2 \right) Z_t. \quad (24)$$

Из того, что  $N_t = S_t + N_{t-1}$ , получается соотношение для  $N_t$ :

$$N_t = pmZ_t + \left( 1 + (q - p)Z_t \right) N_{t-1} - \frac{q}{m}Z_t N_{t-1}^2. \quad (25)$$

В этом случае предполагается, что потенциал рынка остается постоянным и не зависит от переменных, определяющих смешанный рыночный эффект. При предположении об изменении потенциала рынка в зависимости от переменных, характеризующих рынок, можно получить следующее соотношение:

$$m = sP^{-e} A^f, \quad (26)$$

где  $m$  — потенциал рынка (его размер),  $s$  — коэффициент масштаба,  $P$  — цена,  $A$  — затраты на рекламу,  $e$  — коэффициент эластичности для цены,  $f$  — коэффициент эластичности для рекламных инвестиций. Для описания изменения потенциала рынка можно расширить набор факторов, включая новые характеристики. Но в рассмотренном случае после подстановки (26) в уравнение (25) получается выражение вида:

$$\begin{aligned} N_t &= a + bN_{t-1} - cN_{t-1}^2, \\ a &= psP^{-e} A^f, \\ b &= 1 + q - p, \\ c &= \frac{q}{s} P^{-e} A^f. \end{aligned} \quad (27)$$

При задании коэффициентов для смешанного рыночного эффекта необходимо учитывать теоретические оценки показателей. Согласно ряду исследований, значение рекламного коэффициента находится в промежутке от 0 до 1, а коэффициента эластичности цены — от низкой эластичности (−0,33) до высокой (−3,15) (см. Foekens и др. [23]).

В работе авторы рассматривали несколько сценариев диффузии инноваций в зависимости от смешанного рыночного эффекта (например, влияние стратегии высоких цен при относительно высоких и низких коэффициентах ценовой эластичности с фиксированными инвестициями в рекламу). В результате исследования авторами было получено, что высокие цены будут снижать как скорость диффузии, так и уровень спроса; в то время как высокие рекламные инвестиции увеличат эти показатели. При этом воздействие оказывают не только цены и затраты на рекламу, но и эластичности маркетинговых переменных. Высокая эластичность цены будет увеличивать скорость диффузии при низком уровне цен и уменьшать скорость диффузии при высоком. В то же время высокая эластичность от рекламы будет увеличивать скорость диффузии независимо от роста инвестиций в рекламу.

## 6. Модели Лотки—Вольтерры

Взгляд на технологическое замещение с точки зрения эволюционной экономики математически приводит к использованию моделей Лотки—Вольтерры типа «хищник—жертва» для описания конкуренции и роста рынка конкурирующих новшеств. В общем виде она записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= (a_1 + b_1x(t) + c_1y(t))x(t), \\ \frac{dy(t)}{dt} &= (a_2 + b_2y(t) + c_2x(t))y(t), \end{aligned} \quad (28)$$

где  $x(t)$  и  $y(t)$  представляют собой популяции двух конкурирующих видов в момент  $t$ . Модель включает в себя три основных параметра, которые влияют на темпы роста каждого вида. Параметр  $a_i$  является логистическим параметром роста для вида  $i$ ,  $b_i$  — параметр ограничения роста вида  $i$ ,  $c_i$  — параметр взаимодействия вида  $i$  с другими видами. Предложенная для описания роста биологических популяций, модель стала широко применяться в экономических исследованиях. Так, например, в работе Hui-Chih Hung и др. [30] с ее помощью была проанализирована

зирования розничная торговля Тайваня с целью прогнозирования степени конкуренции в отрасли. Примерами применения этой модели могут служить исследования Chiang и Wong [17], изучавших с ее помощью распространение на рынке настольных компьютеров и ноутбуков в условиях их конкуренции; работы Chiang [16], анализировавшего распространение кремниевых пластин толщиной 200 и 300 мм на рынке Тайваня, Kreng и Wang [34], которые использовали модель Лотки—Вольтерры для изучения конкуренции между жидкокристаллическими и плазменными телевизорами в Тайване.

В работе Von Arb [55] с помощью модели оценивался успех конкурирующих корпораций Target и Walmart на фондовом рынке, при этом рассматривались различные формы модели, в том числе с двумя «хищниками» и одной «жертвой». В последнем случае модель сводилась к системе из трех дифференциальных уравнений, которая может иметь несколько равновесных решений. Для этой модели автор использовал данные ежемесячного объема акций Target и Walmart на фондовом рынке как двух популяций «хищников», и ежемесячный объем акций S&P500 в качестве популяции «жертвы».

В работе Boretos [13] предложена модель взаимодействующих систем (Interaction Systems, IS), разработанная на основе обобщенной модели Лотки—Вольтерры и модели конкуренции Тилмана [52] как частный случай. В ней предполагается, что все популяции, входящие во взаимодействующие системы, занимают одно и то же пространство. Популяции предполагаются однородными (состоящими из идентичных элементов). Взаимодействующие системы могут быть либо закрытыми, либо открытыми. В закрытой системе нет никакого взаимодействия с другими популяциями из внешней окружающей среды. В открытой системе предполагается, что существует непрерывный приток или отток из одной или нескольких популяций во внешнюю окружающую среду. Если предположить, что  $X_i$  является численностью популяции  $i$ , входящей во взаимодействующие системы, и всего имеется  $n$  популяций, то

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_j a_{ij} p_{ij} C(x_1, k_{1ij}) C(x_2, k_{2ij}) \dots C(x_n, k_{nij}) + I_i - O_i, \tag{29}$$

$$f_r(X, k, t) = 0,$$

где

$$C(X_m, k_{mij}) = \frac{X_m!}{(X_m - k_{mij})! k_{mij}!}$$

характеризуют степень взаимодействия популяций внутри системы,  $I_i$  и  $O_i$  соответствуют взаимодействию системы с окружающей средой (они равны 0

для закрытой системы),  $p_{ij}$  есть вероятность в единицу времени для данной комбинации иметь место и производить отрицательный или положительный эффект для популяции  $X_i$  и  $a_{ij}$  есть положительный или отрицательный результат этого взаимодействия. В качестве частного случая предложенной модели для больших популяций во взаимодействующих системах получаются модели Лотки—Вольтерры и Тилмана.

Рассмотренная модель была применена для анализа мировой экономики в период экономического кризиса 2008–2009 гг. В качестве оцениваемых показателей были использованы денежные эквиваленты спроса на все товары, которые потребители готовы приобрести на определенный момент времени, и предложения всех товаров, которые предлагали на рынке поставщики в определенный момент времени в постоянных ценах 1990 г. С помощью модели IS были получены более точные оценки динамики мирового ВВП по сравнению с логистической моделью. Модель дала возможность нового способа понимания бизнес-циклов и основных сдвигов в экономике, основанного на динамическом соотношении между спросом и предложением.

Модель Лотки—Вольтерры была применена в работе Miranda и Lima [41] для описания замещения аналоговых фотокамер цифровыми за период 1990–2006 гг.

### Заключение

При моделировании диффузии инноваций исследователи сталкиваются с новыми проблемами, идеями, технологиями и другими факторами, которые необходимо учитывать для получения качественных оценок и прогнозов скорости и масштабов распространения новых продуктов и технологий. Особое место в этом процессе занимают информационно-коммуникационные технологии, с помощью которых многократно возрастает степень социального взаимодействия между потенциальными потребителями инноваций, увеличивается скорость распространения новых продуктов и технологий.

В данной статье приведены некоторые современные направления моделирования распространения инноваций, которые отражают неоднородность агентов, участвующих в распространении инноваций, неоднородность рынка и особенности его развития, распространение нескольких поколений высокотехнологичных продуктов, распространение инноваций при конкуренции между брендами, учет воздействия внешних факторов на характер и скорость распространения инновации. Большая часть представленных моделей (см., например, работы [28], [44] [14] [15]) была применена для оценки

параметров распространения инноваций в высокотехнологичных отраслях с целью прогнозирования дальнейшего спроса на высокотехнологичные продукты или необходимого внешнего воздействия для получения желаемого результата. Они могут быть использованы при формировании программ инновационного развития информационно-коммуникационных технологий и других высокотехнологичных производств.

## Литература

1. *Варшавский А. Е.* Научно-технический прогресс в моделях экономического развития. М.: Финансы и статистика, 1984.
2. *Варшавский А. Е.* Наукоемкие отрасли и высокие технологии: определение, показатели, техническая политика, удельный вес в структуре экономики России // *Экономическая наука современной России*. 2000. № 2. С. 61–83.
3. *Делицын Л. Л.* Количественные модели распространения нововведений в сфере информационных и коммуникационных технологий // *Каф. мультимед. технол. и инф. сис. МГУКИ. М.: МГУКИ*. 2009. 107 с.
4. *Делицын Л. Л.* Разработка и применение количественных моделей распространения новых информационных технологий // *Науч.-тех. информатика. Сер. Орг. и методика инф. раб.* 2014. № 5 С. 24–32.
5. *Дубинина М. Г.* Моделирование динамики взаимосвязи макроэкономических показателей и показателей распространения ИТ в развитых и развивающихся странах // *Труды ИСА РАН*. Т. 65. 1/2015. С. 24–37.
6. *Кузьминов Я. И., Бендукидзе К. А., Юдкевич М. М.* Курс институциональной экономики: институты, сети, транзакционные издержки, контракты. М.: ГУ ВШЭ, 2006, 442 с.
7. *Сахал Д.* Технический прогресс: концепции, модели, оценки. М.: Финансы и статистика, 1985.
8. *Чуркин В. И.* Прогноз продаж инновационных товаров с учетом макроэкономических факторов (на примере малых ветрогенераторов) // *Науч.-тех. ведом. СПбГПУ. Сер. Эконом. науки*. 2013. № 163 (Т. 1). С. 104–112.
9. *Bass F. A.* New Product Growth for Model Consumer Durables // *Management Science*. 1969. V. 15. (5). P. 215–227.
10. *Bass F. M., Krishnan T. V., Jain D. C.* Why the Bass model fits without decision variables // *Marketing Science*. 1994. V. 13. P. 203–223
11. *Bemmaor A. C., Lee J.* The impact of heterogeneity and ill-conditioning on diffusion model parameter estimates // *Market. Sci.* 2002. V. 21. P. 209–220.
12. *Boehner R., Gold S.* Modeling the Impact of Marketing Mix on the Diffusion of Innovation in the Generalized Bass Model of Firm Demand // *Developments in Business Simulation and Experiential Learning*. 2012. V. 39. P. 75–91.
13. *Boretos G. P.* IS model: A general model of forecasting and its applications in science and the economy // *Technol. Forecasting & Soc. Change* 2011. V. 78. P. 1016–1028
14. *Chanda U., Das S.* Multi-stage diffusion dynamics in multiple generation high technology products // *J. of High Tech. Manag. Research*. 2015. V. 26. P. 88–104.
15. *Chen Y., Carrillo J. E.* Single firm product diffusion model for single-function and fusion products // *European Journal of Operational Research*. 2013. V. 1. № 163. P. 104–112.
16. *Chiang S.-Y.* An application of Lotka—Volterra model to Taiwan's transition from 200 mm to 300 mm silicon wafers // *Technol. Forecasting & Soc. Change*. 2012. V. 79. P. 383–392.
17. *Chiang S.-Y., Wong G.-G.* Competitive diffusion of personal computer shipments in Taiwan // *Technol. Forecasting & Soc. Change*. 2011. V. 78. P. 526–535.
18. *Dalla Valle A., Furlan C.* Diffusion of nuclear energy in some developing countries // *Technological Forecasting & Social Change*. 2014. V. 81. P. 143–153.
19. *Dalla Valle A., Furlan C.* Forecasting accuracy of wind power technology diffusion models across countries // *International Journal of Forecasting*. 2011. V. 27(2). P. 592–601.
20. *Decker R., Gribba-Yukawa K.* Sales Forecasting in High-Tech Markets: A Utility-Based Approach // *J. Prod. Innov. Manag.* 2010. 27. P. 115–129.
21. *Feng G. C.* Factors affecting Internet diffusion in China: A multivariate time series analysis // *Telematics and Informatics*. November 2015. V. 32(4). P. 681–693.
22. *Fernandez-Duran J. J.* Modeling seasonal effects in the Bass Forecasting Diffusion Model // *Technological Forecasting & Social Change*. 2014. V. 88. P. 251–264.
23. *Foekens E. W., Leeflang P. S. H., Wittink D. R.* Varying parameter models to accommodate dynamic promotion effects // *Journal of Econometrics*. 1998. V. 89. P. 249–268.
24. *Goldenberg J., Libai B., Muller E.* Using complex systems analysis to advance marketing theory development: Modeling heterogeneity effects on new product growth through stochastic cellular automata // *Academy of Marketing Science Review*. 2001. V. 9. P. 1–18.
25. *Griliches Z.* Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change // *Econometrica*. 1957. V. 25. P. 501–522.
26. *Guseo R., Guidolin M.* Market potential dynamics in innovation diffusion: modelling the synergy between two driving forces // *Technological Forecasting and Social Change*. 2011. V. 78. P. 13–24.
27. *Guseo R., Dalla Valle A., Guidolin M.* World oil depletion models: Price effects compared with strategic or technological interventions // *Technological Forecasting and Social Change*. 2007. V. 74(4). P. 452–469.
28. *Guseo R., Guidolin M.* Heterogeneity in diffusion of innovations modelling: A few fundamental types // *Technological Forecasting & Social Change*. 2015. V. 90 P. 514–524.
29. *Guseo R., Mortarino C.* Within-brand and cross-brand word-of-mouth for sequential multi-innovation diffusions // *IMA. Journal of Management Mathematics*. 2013. P. 1–25.
30. *Hung H.-C., Tsai Y.-S., Wu M.-C.* A modified Lotka—Volterra model for competition forecasting in Taiwan's retail industry // *Computers & Industrial Engineering*. 2014. V. 77. P. 70–79.
31. *Kandler A., Steele J.* Innovation Diffusion in Time and Space: Effects of Social Information and of Income Inequality // *The Open-Access Journal for the Basic Principles of Diffusion Theory, Experiment and Application. diffusion-fundamentals.org*. 11.2009. V. 3. P. 1–17.

32. Karmeshu & Goswami D. Stochastic evolution of innovation diffusion in heterogeneous groups: study of life cycle patterns // *IMA J. Manag. Math.* 2001. V. 12. P. 107–126.
33. Kim S. H., Srinivasan V. A Conjoint-hazard Model of the Timing of Buyers' upgrading to Improved Versions of High-technology Products // *J. Prod. Innov. Manag.* 2009. V. 26. P. 278–290.
34. Kreng V. B., Wang B. J. An Innovation Diffusion of Successive Generations by System Dynamics — An Empirical Study of Nike Golf Company // *Technol. Forecast. Soc. Change.* 2013. V. 80. P. 77–87.
35. Kreng V. B., Wang H. T. A Technology Replacement Model with Variable market potential — An Empirical Study of CRT and LCD TV // *Technol. Forecast. Soc. Change.* 2009. V. 76. P. 942–951.
36. Laciana C. E., Gual G., Kalmusa D., Oteiza-Aguirre N., Rovere S. L. Diffusion of two brands in competition: Cross-brand effect // *Physica A.* 2014. V. 413. P. 104–115.
37. Lee D., Kim H. The effects of network neutrality on the diffusion of new Internet application services // *Telematics and Informatics.* August 2014. V. 31(3). P. 386–396.
38. Lee H., Kim S. G., Park H., Kang P. Pre-launch new product demand forecasting using the Bass model: A statistical and machine learning-based approach // *Technological Forecasting & Social Change.* 2014. V. 86. P. 49–64.
39. Mahajan V., Muller E. Timing, Diffusion and Substitution of Successive Generations of Technological Innovations: the IBM Mainframe Case // *Technol. Forecast. Soc. Change.* 1996. V. 51. P. 109–132.
40. Mansfield E. Technical Change and the Rate of Imitation. *Econometrica.* 1961. V. 29(4). P. 741–766.
41. Miranda L. C. M., Lima C. A. S. Technology substitution and innovation adoption: The cases of imaging and mobile communication markets // *Technol. Forecasting & Soc. Change* 2013. V. 80. P. 1179–1193.
42. Muller E., Yogev G. When does the majority become majority? Empirical analysis of the time at which main market adopters purchase the bulk of our sales // *Technol. Forecasting and Soc. Change.* 2006. V. 73(9). P. 1107–1120.
43. Norton J. A., Bass F. M. A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High-technology Products // *Manag. Sci.* 1987. V. 33. P. 1069–1086.
44. Papagiannidis S., Gebka B., Gertner D., Stahl F. Diffusion of web technologies and practices: A longitudinal study // *Technol. Forecasting & Soc. Change.* 2015. V. 96. P. 308–321.
45. Pegoretti G., Rentocchini F., Marzetti G. V. An agent-based model of innovation diffusion: network structure and coexistence under different information regimes // *J. of Economic Interaction and Coordination.* 2012. V. 7(2). P. 145–165.
46. Penard T., Poussing N., Mukokoc B., Piaptie G. B. T. Internet adoption and usage patterns in Africa: Evidence from Cameroon // *Technol. in Society.* August 2015. V. 42. P. 71–80.
47. Peres R., Muller E., Mahajan V. Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions // *Intern. J. of Research in Marketing.* 2010. V. 27 P. 91–106.
48. Phuc P. N., Yu V. F., Chou S.-Y. Manufacturing production plan optimization in three-stage supply chains under Bass model market effects // *Computers & Industrial Engineering.* 2013. V. 65 P. 509–516.
49. Rogers E. *Diffusion of Innovations* (5<sup>th</sup> ed.). New York: Free Press, 2002.
50. Shi X., Fernandes K, Chumnumpan P. Diffusion of Multi-Generational High-technology products // *Technovation.* 2014. V. 34. P. 162–176
51. Suarez F. Battles for technological dominance: an integrative framework // *Res. Policy.* 2004. V. 33 P. 271–286.
52. Tilman D. *Resource Competition and Community Structure* // Princeton Univ. Press. New Jersey. 1982. P. 14.
53. Tsai B. H. Predicting the Diffusion of LCDTVs by Incorporating Price in the Extended Gompertz Model // *Technol. Forecast. Soc. Change.* 2013. V. 80. P. 106–131.
54. Van den Bulte C., Joshi Y. V. New product diffusion with influentials and imitators // *Marketing Sci.* 2007. V. 26(3). P. 400–421.
55. Von Arb R. Predator Prey Models in Competitive Corporations // *Olivet Nazarene Univ. Honors Program Proj. Paper* 45. 2013.
56. Young H. P. Innovation Diffusion in Heterogeneous Populations: Contagion, Social Influence, and Social Learning // *Am. Econ. Rev.* 2009. V. 99(5). P. 1899–1924.

Дубинина Марина Геннадьевна. Экономист ИСА РАН. Н. с. ЦЭМИ РАН. Окончила МГУ в 1986 г. Количество печатных работ: 16. Область научных интересов: экономика фирм высокотехнологических отраслей, технологическое прогнозирование, информационно-коммуникационные технологии. E-mail: mgdub@yandex.ru