

Моделирование динамики инновационного цикла

© 2011 И.А. Киршин

доктор экономических наук, доцент

© 2011 А.В. Титов

Казанский (Приволжский) федеральный университет
E-mail: ikirchine@rambler.ru, andrey_titov@rocketmail.com

В статье представлена и протестирована на статистических данных модель динамики инновационного цикла, основанная на использовании логистической функции. Разработанная модель предоставляет аналитический инструмент для прогнозирования и управления развитием инновационных циклов.

Ключевые слова: моделирование экономической динамики, макроэкономическое прогнозирование, инновационное развитие, эффект возрастающей отдачи.

Развитие экономических процессов подчинено закону диалектики взаимодействия количественных и качественных изменений. Трансформация накопленных количественных изменений в качественный сдвиг происходит по нелинейным траекториям, в точках бифуркации которых эффекты возрастающей и убывающей отдачи сменяют друг друга. Эти траектории имеют разрывы, представляющие скачкообразные переходы на новые уровни, и достаточно хорошо формализуются логистическими диссипативными моделями. Способность данных моделей отражать диалектику взаимодействия состояний эволюционного и революционного развития в полной мере относится к инновационным процессам.

Законченный жизненный цикл инноваций может быть непротиворечиво описан логистической кривой. Жизненный цикл инноваций начинается с кумулятивного накопления инновационного ресурса (блага). Достижение некоторого критического уровня данного ресурса порождает качественный переход к экспоненциальному росту инновационного процесса. По мере приближения к состоянию насыщения данным ресурсом (благом) происходит постепенное замедление темпов роста, экспоненциальный участок траектории инновационного процесса сменяется логарифмическим. Жизненный цикл данных инноваций завершается, наступает стадия сворачивания производства и постепенного ухода этого ресурса с рынка.

Логика конкурентного технологического сдвига была определена Р. Фостером как "S-S переход"¹. Согласно его представлениям, развитие возможно только на основе новой технологической платформы, графически описываемой технологическим разрывом S-S перехода. Введенные им понятия технологического предела и технологического разрыва траектории развития

инновационного цикла моделируются логистической кривой. Р. Фостер заменяет концепцию эволюционно непрерывного замещения одной технологии другой, гипотезой неожиданной инновации, переводящей прежнюю траекторию роста на новую логистическую кривую более высокого уровня. Экономическое пространство любого инновационного процесса характеризуется высокой конкуренцией. Появление конкурента (технологии, продукта или услуги) возможно на любом участке логистической кривой. В этой связи многие исследователи технологических скачков едины во мнении, что переход на новую логистическую траекторию возможен и необходим еще на экспоненциальном участке старой логистической кривой².

Общая форма траектории жизненного цикла инновационных процессов трудно применима для управления их развитием, поскольку она лишь фиксирует логику и вектор развития этих процессов. Следовательно, нужна расчетная модель, позволяющая определять темповую динамику и уровни развития процессов на отдельных сегментах логистической кривой. Такие возможности открывают перспективу прогнозирования и управлению развитием инновационных процессов.

В логистической модели предполагается, что время развития инновационного процесса фиксируется параметром t . В начальный момент времени (t_0) объем инновационного производства равен нулю, затем в процессе развития он приближается к некоторому уровню насыщения t_1 . Темпы роста на разных участках логистической кривой можно измерять величиной ее первой производной. Значения первой производной логистической функции $Y(t)$ в крайних условиях интервала (t_0, t_1) определяются следующими пределами:

$$\lim_{t \rightarrow t_0} Y'(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow t_1} Y'(t) = 0. (1)$$

Из полученных результатов можно сделать вывод, что $Y(t)$ при $t \rightarrow t_0$ является вогнутой, а при $t \rightarrow t_1$ - выпуклой функцией. Следовательно, существует точка перегиба t_{nep} , где $Y''(t_{nep}) = 0$ или ее значение не существует. Уравнение логистической функции $Y(t)$ может быть изначально получено с помощью уравнения экспоненты. Элементарное дифференциальное уравнение экспоненциальной функции имеет вид

$$\dot{Y}(t) = k \cdot Y(t), \quad (2)$$

где k - коэффициент роста. Это уравнение определяет значимость скорости диффузии инновации.

$$\frac{dY}{dt} = k \cdot Y \quad \text{или} \quad \frac{dY}{Y} = k \cdot dt, \quad (3)$$

В качестве параметра t может быть выбрано не только время. В общем случае этот параметр фиксирует некие ресурсные затраты на производство некоторого объема эффекта $Y(t)$. Интегрирование дает следующий результат:

$$\ln Y = \int_{t_0}^{t_1} k \cdot dt + Const, \quad (4)$$

$$\ln Y = k \cdot t + Const, \quad (5)$$

$$Y = A \cdot e^{kt}, \quad \text{где} \quad \ln A = Const. \quad (6)$$

Коэффициент роста - переменная величина. Постепенно по мере насыщения рынка экономическим благом Y и нарастанием конкуренции за используемые ресурсы (t) коэффициент k уменьшается:

$$\dot{Y} = k(Y) \cdot Y. \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение логистической кривой отличается от экспоненциального дополнительной компонентой $(-b \cdot Y^2)$, посредством которой происходит моделирование "затухания" инновационного процесса с возможной стабилизацией после периода экспоненциального роста. Требуемую функциональную зависимость можно, например, представить в виде

$$k(Y) = a - bY, \quad (8)$$

$$\dot{Y} = b \cdot Y \left(\frac{a}{b} - Y \right) = aY - bY^2. \quad (9)$$

Верхний и нижний пределы логистической функции не являются постоянными величинами, они также зависят от времени. Вариабельность предельных значений может исказить траекторию эволюции инновационного процесса.

Поэтому для определения степени насыщения потребности можно выразить эти переменные в относительном формате (долях единицы)³. Тем самым нивелируется зависимость пределов от параметра времени. В общем случае можно допустить существование нижнего предела g логистической функции отличного от нуля. Значе-

ние верхнего предела равно $\left(\frac{a}{b} + g \right)$. Тогда, проинтегрировав выражение

$$\dot{Y} = b \cdot (Y - g) \cdot \left(\frac{a}{b} - (Y - g) \right), \quad (10)$$

получим

$$-\frac{1}{a} \ln \frac{(1 - \frac{b}{a}(Y - g))}{b \cdot (Y - g)} = t + Const, \quad (11)$$

$$Y = \frac{\left[\frac{a}{b} \right]}{(1 + A \cdot e^{-C \cdot a})} + g, \quad \text{где} \quad A = a \cdot e^{-C \cdot a},$$

$$\text{здесь} \quad C = Const. \quad (12)$$

В результате получена модель логистической функции $Y(t)$, графики которой при различных значениях параметра A ($A1 < A2 < A3$) представлены на рис. 1. Показательно, что в соответствии с критерием эффективности можно разделить логистическую кривую на три сегмента:

1) низкого сопротивления внешней среды, когда наблюдается эффект возрастающей отдачи

$$\text{и} \quad \frac{\Delta Y}{\Delta t} < 1;$$

2) нарастания сопротивления внешней среды, когда $\frac{\Delta Y}{\Delta t} > 1$;

3) сильного сопротивления внешней среды, когда наблюдается эффект убывающей отдачи и

происходит насыщение рынка при $\frac{\Delta Y}{\Delta t} < 1$.

Наибольший интерес, с позиции интенсивности развития инновационного цикла, представляет второй сегмент. Величина эффекта этого сегмента определяет степень конкурентоспособности и внутренний потенциал выбранной инновации. Параметр A характеризует темп выхода на эффективный сегмент инновационного цикла. Чем больше значение A , тем медленнее инновация выходит на "эффективный" участок (см. рис. 1).

Управление инновационным процессом в первом сегменте направлено на снижение его

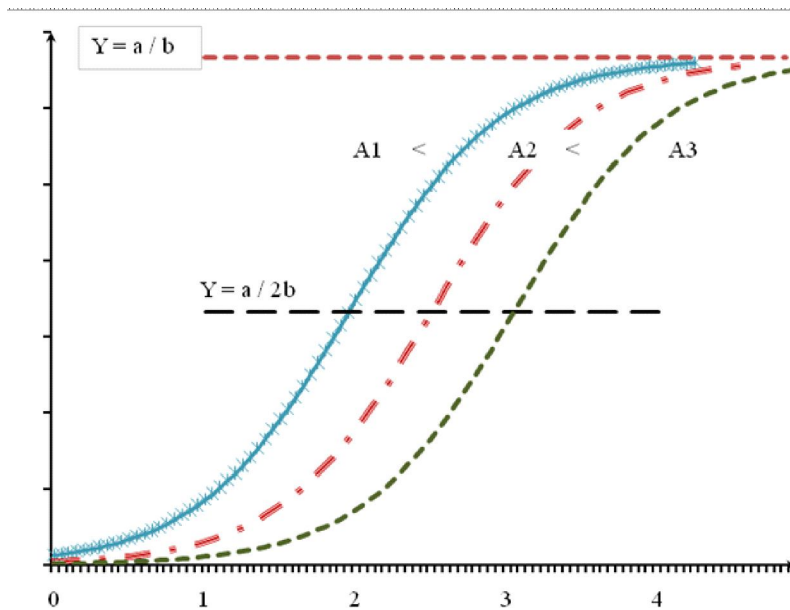


Рис. 1. Сравнение интенсивности развития инновационных процессов

длительности. Если же инновационный процесс приближается к третьему сегменту, то менеджмент должен быть нацелен на поиск новых замещающих технологий. Сравнивая сегменты кривых, описывающих различные инновационные циклы, можно сопоставить интенсивности их развития. Такое сопоставление имеет практическое значение, так как формируются предпосылки для обоснованного принятия своевременных управленческих решений и оценки их экономической эффективности.

Параметры a и b , характеризующие интенсивность развития инновационных процессов во времени и определяющие динамику величины коэффициента роста, влияют на темпы роста Y . Чем больше a / b , тем выше темп достижения предела насыщения (рис. 2). Логистическая траектория динамики инновационного цикла подтверждается многочисленными статистическими

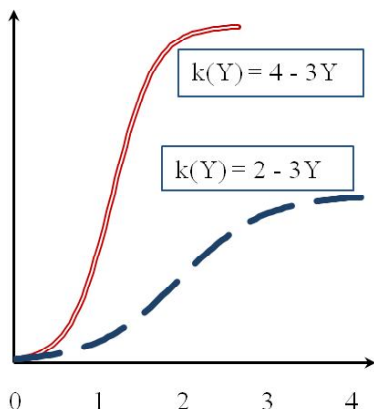


Рис. 2. Сравнение пределов насыщения инновационных процессов

данными. Так, на рис. 3 представлена логистическая динамика числа телевизионных станций в одном из наиболее инновационных и динамично развивающихся секторов - связи общего пользования и телекоммуникаций.

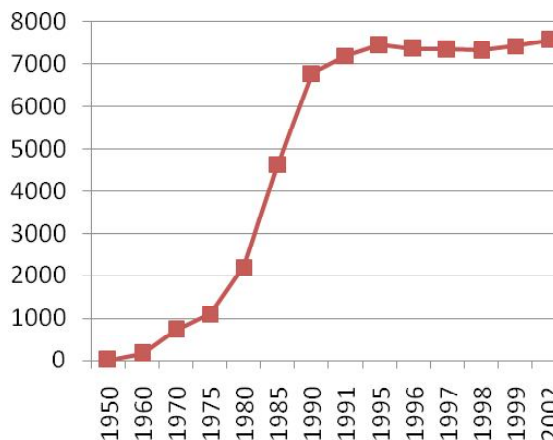


Рис. 3. Число телевизионных станций

Источник. Построено по: Основные показатели связи общего пользования. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b03_13/IssWWW.exe/Stg/d030/i031930r.htm.

В относительном формате статистические наблюдения можно представить логистическими кривыми, описывающими траектории инновационных циклов разных поколений. Вследствие нарастания интенсивности инноваций нового поколения и ускорения смены технологий продолжительность эффективного сегмента логистической кривой становится короче (рис. 4).

История использования морально устаревшей технологии (ресурса) при ее замещении новой не

заканчивается. Наступает стадия постепенного отказа от ее использования, когда экономика продолжает эксплуатировать так называемый “остаточный ресурс” старой технологии (рис. 5).

В ряде случаев использование остаточного ресурса достаточно эффективно. Поэтому можно рассматривать прогнозирование остаточного ресурса конкретной технологии как своего рода состояние управления процессом ее завершающей эксплуатации. Исходя из практически горизонтального вида графиков (с 2000 г.) на ненулевом уровне, можно утверждать, что хотя объем использования данных первичных энергоресурсов незначителен, но достаточно устойчив. Подобная

же траектория эволюции инновационных процессов наблюдается и по связи (рис. 6 и 7).

Некоторый рост отправления посылок с 2004 г., возможно, объясняется развитием интернет-торговли и необходимостью доставки товара.

Данные статистические наблюдения позволяют сделать вывод об устойчивости предельных состояний замещаемых технологий (ресурсов), а следовательно, о необходимости их учета при более детальном прогнозировании инновационного цикла. С позиции рационального хозяйствования и бережного отношения к ресурсам, производственным мощностям и моделирования инновационных процессов нисходящий участок кривой можно оха-



Рис. 4. Продолжительности эффективного сегмента логистических кривых, описывающих жизненные циклы технологий разных поколений

Источник. Построено по: Основные показатели связи общего пользования. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b03_13/IssWWW.exe/Stg/d030/i031930r.htm.

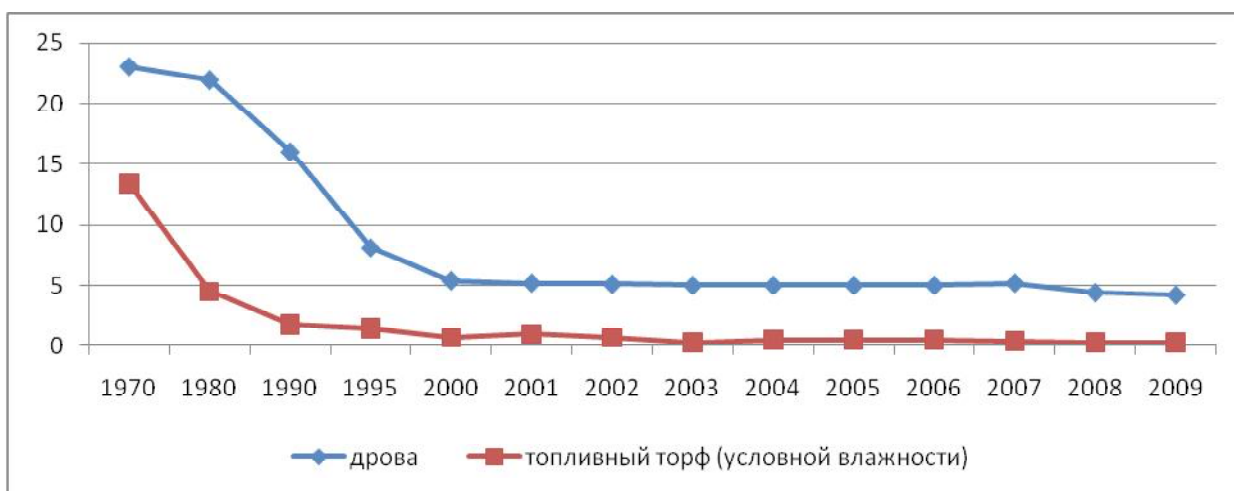


Рис. 5. Производство первичных энергоресурсов по видам, млн. т условного топлива

Источник. Построено по: Российский статистический ежегодник. 2010 /Росстат. М., 2010. С. 406.

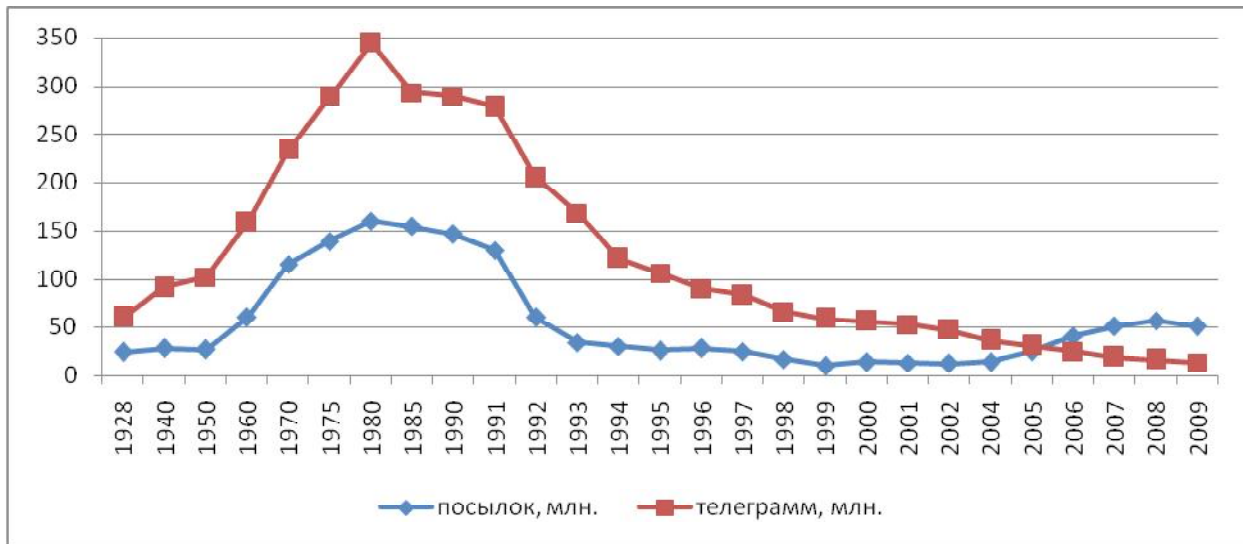


Рис. 6. Отправлено почтовой связью общего пользования

Источник. Построено по: Основные показатели связи общего пользования. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b03_13/IssWWW.exe/Stg/d030/i031930r.htm.

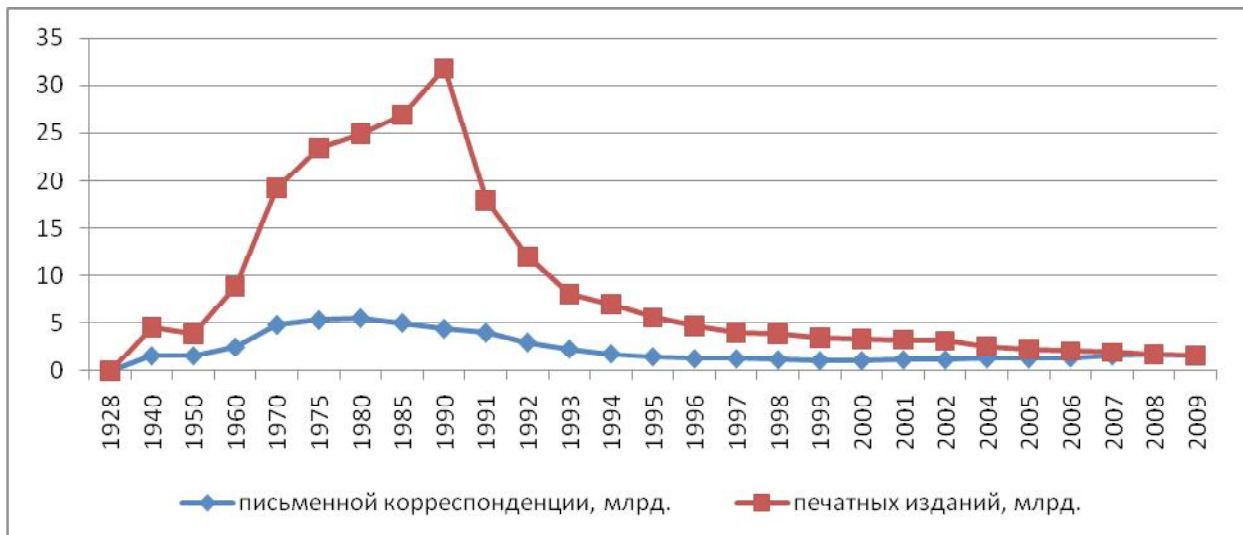


Рис. 7. Отправлено почтовой связью общего пользования

Источник. Построено по: Основные показатели связи общего пользования. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b03_13/IssWWW.exe/Stg/d030/i031930r.htm.

рактизовать как реверсию инновационного цикла. Графически достижение “низовых” предельных состояний описывается нисходящей логистической кривой, когда экспоненциальный спад оканчивается стабилизацией на некотором уровне близком к нулевому значению. Формально это представляется сменой знака аргумента логистической функции $Y(t)$.

По нашему мнению, предложенные аналитические основы моделирования динамики инновационного цикла являются операционно компактным и в то же время концептуально содержательным методом объяснения эволюции и прогнозирования инновационных циклов. Разработанная ло-

гистическая модель отражает общеэкономическую циклическую закономерность, которой подчиняется развитие любого инновационного процесса.

¹ Фостер Р. Обновление производства: атакующие выигрывают. М., 1987. С. 85- 87.

² См.: Technological Substitution // ed. by H. Lindstone, D. Sahal. N.Y., 1976; Нижегородцев Р.М. Модели логистической динамики как инструмент экономического анализа и прогнозирования // Моделирование экономической динамики. М., 1997. С. 34 - 51.

³ Кругликов А.Г. Модели динамики процессов распространения научно-технических новшеств // Математические модели и статистический анализ научно-технического прогресса: сб. тр. М., 1982. Вып. 8. С. 71 - 82.