

---

## **ТЕМП ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ ДИФФУЗИИ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИННОВАЦИЙ**

---

**Минаков Владимир Федорович**, д-р техн. наук, проф.

**Барабанова Марина Ивановна**, канд. экон. наук, доц.

**Лобанов Олег Сергеевич**, канд. экон. наук

**Щугорева Влада Андреевна**, асп.

Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Садовая ул., 21, Санкт-Петербург, Россия, 191023; e-mail: m-m-m-m@mail.ru; mibar@mail.ru, thelobanoff@gmail.com; vladka9@yandex.ru

*Цель:* верификация экономико-математической модели распространения эволюционных инноваций в пределах одного технологического уклада в современной экономике. *Обсуждение:* гетерогенные темпы распространения инноваций в объемах потребления таких продуктов, а также размеры доходов от их реализации требуют идентификации закономерностей изменения темпов динамики инновационных продуктов. *Результаты:* авторами предложена и верифицирована экономико-математическая модель распространения эволюционных инноваций в пределах одного технологического уклада в форме геометрической прогрессии. Предложен показатель, характеризующий динамику эволюционных инноваций, – постоянная времени изменения эффекта от инновационных процессов.

**Ключевые слова:** инновации, модель, верификация, инвестиции, показатель динамики.

**DOI:** 10.17308/meps.2016.3/1406

### **1. Введение**

В соответствии с классификацией инноваций по признаку степени влияния на экономику, общественное производство выделяют [2] радикальные (обеспечивающие революционное изменение эффекта по сравнению с аналогами, или не имеющие аналогов) и эволюционные (модернизирующие, постепенно повышающие эффект по сравнению с аналогами).

К революционным инновациям можно отнести атомные электростанции (АЭС). Начиная с Обнинской АЭС, введенной в эксплуатацию в 1954 году (мощностью 5 мегаватт), они получили широкое распространение. К настоящему времени их установленная мощность только в России достигла 26200 мегаватт, а удельный вес в выработке электроэнергии страны состав-

ляет около 17%. Важно отметить, что в странах Европы, не столь богатых углеродными видами топлива, доля АЭС в производстве достигает 76,9% (Франция). Революционной инновацией стал первый искусственный спутник Земли (1957 год), напрямую передавший биты сигнала жителям Земли. Ныне спутниковая связь заняла огромную нишу в телевидении, радиотрансляциях, телефонии, передаче данных Интернета и других компьютерных сетей, навигации систем GPS, ГЛОНАСС и многих других системах телекоммуникаций и технологиях предоставления сервисов. Революционным стали нововведения Стива Джобса и компании Apple: персональный компьютер, планшетный компьютер iPad, их же iPhone.

## 2. Цель исследования

Верифицировать экономико-математическую модель распространения эволюционных инноваций в пределах одного технологического уклада.

## 3. Модель геометрической прогрессии инновации

Динамика распространения таких инноваций хорошо моделируется математическим описанием диффузионных процессов [12]:

$$dV = r \cdot V(1 - V / V_m) \cdot dt, \quad (1)$$

где  $V$  – объем использования инноваций;  $V_m$  – максимально возможный объем реализации инновационного продукта (уровень насыщения);  $r$  – параметр темпов диффузионного распространения инновационных продуктов.

Решение дифференциального уравнения (1) – сигмоида:

$$V = \frac{V_m}{1 + e^{p-r \cdot t}}. \quad (2)$$

где  $p$  – характеристика лага времени появления инновационного продукта на рынке;  $e$  – константа, равная основанию натурального логарифма.

На рис. 1 представлены данные компании Google распространения инновационной формы маркетинга – мобильной, а именно, эффекта в форме дохода от предоставления такой услуги (кривая 1) [1], а также результаты моделирования того же показателя функцией (кривая 2). Эти данные хорошо иллюстрируют адекватность модели.

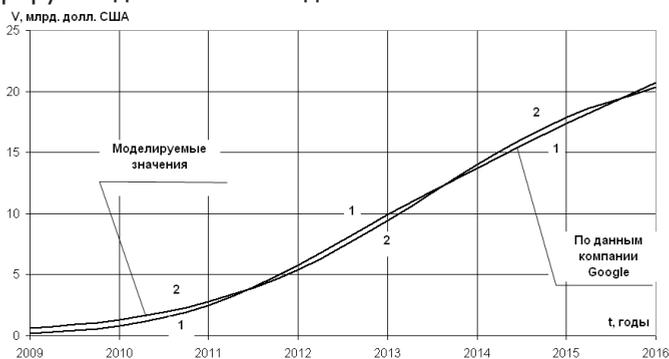


Рис. 1. Доходы Google от мобильного маркетинга

Однако для инноваций эволюционного типа такая модель неадекватна по ряду причин:

1) эволюция и модернизация базируются на результатах (эффектах) предыдущей инновации, что не учитывает логистическая функция;

2) каждая модернизация характеризует весьма ограниченный диапазон изменения характеристик в потоке новшеств инновационной продукции большой протяженности.

Следовательно, требуется развитие модельного представления эволюционных инноваций, причем применительно к последовательности таких инноваций при большом числе модернизаций.

Цель данной статьи состоит в обосновании представления современных инновационных процессов эволюционного типа адекватной экономико-математической моделью.

Предлагается для характеристики временных рядов, выражающих количественные результаты инновационных процессов (характеристики свойств инновационных продуктов, их качество), использовать постоянную времени инновационного процесса, численно равную времени, за которое характеристики инновационных продуктов изменяются в фиксированное число раз, например, в « $e$ » раз (где  $e \approx 2,72$  – основание натурального логарифма). Альтернативой кратности  $e$ -изменения результатов эволюционных инновационных процессов является кратность 2, кратность 10 (один порядок), иная вещественная кратность, соответствующая удобному представлению результативности инноваций.

Математической интерпретацией такого представления результативности инноваций улучшающего типа является показательная функция:

$$V_t = V_{t_0} \cdot e^{(t-t_0)/T}, \quad (3)$$

где  $T$  – постоянная времени инновационного процесса;  $V_{t_0}$  – начальное значение характеристики продукта до начала его модернизации (до эволюционной инновации);  $t_0$  – момент времени начала эволюционного инновационного процесса.

Постоянная времени может быть рассчитана по любым двум значениям характеристики эффекта инновационного процесса  $V_{t_i}$ ,  $V_{t_j}$ . Действительно,

$$V_{t_i} = V_{t_0} \cdot e^{(t_i-t_0)/T}, \quad (4)$$

$$V_{t_j} = V_{t_0} \cdot e^{(t_j-t_0)/T}. \quad (5)$$

Преобразуем (4) и (5):

$$V_{t_0} = V_{t_i} / e^{(t_i-t_0)/T}, \quad (6)$$

$$V_{t_0} = V_{t_j} / e^{(t_j-t_0)/T}. \quad (7)$$

Ввиду равенства левых частей (6) и (7) можно приравнять их правые части:

$$V_{t_i} / e^{(t_i-t_0)/T} = V_{t_j} / e^{(t_j-t_0)/T}. \quad (8)$$

Иначе:

$$V_{t_j} / V_{t_i} = e^{(t_j-t_0)/T} / e^{(t_i-t_0)/T}, \quad (9)$$

Логарифмируя (9), получим:

$$\ln[e^{(t_j-t_0)/T}] - \ln[e^{(t_i-t_0)/T}] = \ln V_{t_j} - \ln V_{t_i}, \quad (10)$$

откуда:

$$(t_j - t_0) / T - (t_i - t_0) / T = \ln V_{t_j} - \ln V_{t_i}, \quad (11)$$

$$[(t_j - t_0) - (t_i - t_0)] / T = \ln V_{t_j} - \ln V_{t_i}, \quad (12)$$

$$(t_j - t_i) / T = \ln V_{t_j} - \ln V_{t_i}, \quad (13)$$

$$T = (t_j - t_i) / (\ln V_{t_j} - \ln V_{t_i}). \quad (14)$$

Важно отметить, что наиболее распространенная форма записи показательной функции с основанием « $e$ » характеризует кратность изменения за постоянную времени  $T$  в 2,72 раза, что менее удобно, чем, например, кратность 2. Следовательно, представляет интерес форма записи показательной функции с основанием 2. Для перехода к такой показательной функции учтем, что

$$e = 2^{\log_2 e}, \quad (15)$$

а

$$\log_2 e \approx 1,44. \quad (16)$$

Теперь показательная функция (3) приобретает вид:

$$V_t = V_{t_0} \cdot 2^{1,44(t-t_0)/T}. \quad (17)$$

При основании показательной функции 2 следует ввести и собственную постоянную времени удвоения эффекта инноваций:

$$T_2 = T / 1,44. \quad (18)$$

В этом случае (17) приобретает традиционный вид:

$$V_t = V_{t_0} \cdot 2^{(t-t_0)/T_2}. \quad (19)$$

При этом важно, что  $T_2$  имеет тот же смысл, что и постоянная времени экспоненциальной показательной функции, но при изменении характеристики инновации в 2 раза.

За период наблюдений в 120 лет установлено, что эффект инноваций в технике приводит к улучшению ее характеристик вдвое каждые 10 лет (постоянная времени удвоения равна 10 годам) [6]. По ряду видов техники показательный закон ее совершенствования описывается более высокими темпами. Так, мощность производимых турбогенераторов растет вдвое с постоянной времени 7-10 лет [11]. Мощность вычислительных систем растет с постоянной времени удвоения каждые 1,5 года [3], плотность полупроводниковых управляемых вентилях в единице поверхности [4] – каждые 2 года (данная закономерность, являющаяся частным случаем, хорошо известна, как закон Мура). Уместно отметить также, что и для роста объема информации на протяжении достаточно длительных интервалов времени (по сравнению с временем, требуемым для анализа текущих процессов) темп роста характеризуется тем же законом: объем созданной человечеством информации удваивается в рамках технологического уклада за фик-

сированное время. Так, современные темпы ее роста характеризуются временем удвоения, равным 18 месяцам [5]. Данный показатель совпадает с постоянной времени роста объемов цифровой информации в настоящее время, что позволяет установить, что именно последняя является доминирующей по объему.

Предложенный показатель – постоянная времени эволюции инноваций – характеризует не только каждый инновационный продукт в отдельности, но и процесс инновационного развития национальной и мировой экономики. Действительно, сумма отличающихся по темпам (с коэффициентами  $k_{iT} = T_i / T$ ) и уровням (с коэффициентами  $k_{im} = V_{mi} / V_m$ ) распространения инноваций (рис. 2) эффектов инноваций по сравнению с одной (с показателями  $V_m, T$ ):

$$V_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N k_{im} \cdot V_{0i} \cdot e^{t/(k_{iT} \cdot T)} \quad (20)$$

близка к показательному закону, как видно из рис. 3.

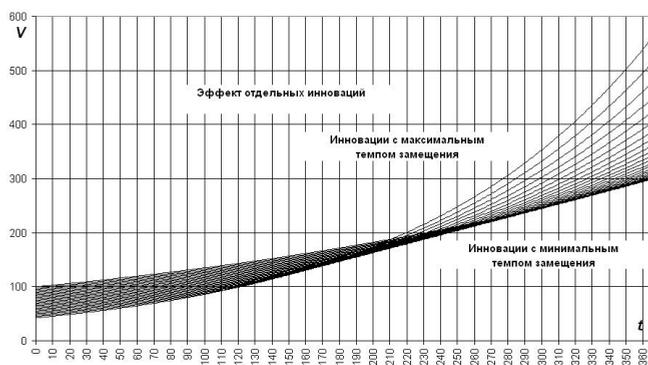


Рис. 2. Результативность отдельных инноваций (например, финансовая)

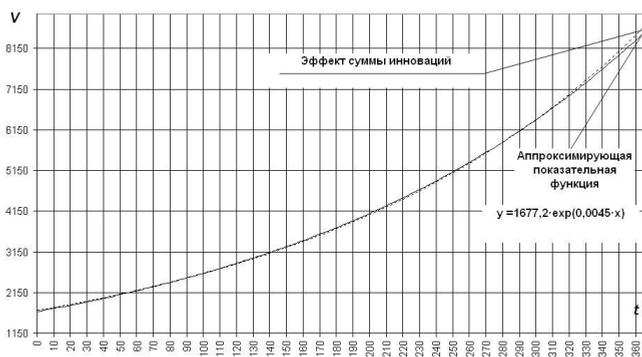


Рис. 3. Результативность (например, финансовая) суммы инноваций

Вид результирующей показательной функции суммы эффектов инноваций:

$$V_{\Sigma} = 1677 \cdot e^{0,0045t} \quad (21)$$

или

$$V_{\Sigma} = 1677 \cdot e^{t/T} = 1677 \cdot e^{t/222}. \quad (22)$$

Следовательно, постоянная времени результирующего эффекта инноваций составляет 222 дня, а эффект растет в соответствии с показательным законом (22).

Рис. 2 и 3 визуализируют показательный закон роста характеристик инновационных продуктов, что приводит к малому (практически исчезающему) их росту в начальной части временного ряда (особенно это характерно для отображения интервалов времени, существенно меньших постоянной времени результативности инноваций) [10, 13, 14]. В этой связи предпочтительна иллюстрация изменения характеристик инноваций в полулогарифмической системе координат, в которой ось времени сохраняется линейной, а ось ординат (характеристик инноваций, изменяющихся в соответствии с показательной функцией) является логарифмической. Для иллюстрации использования таких координат на рис. 4 представлена динамика инновационных процессов, постоянные времени которых существенно различаются.

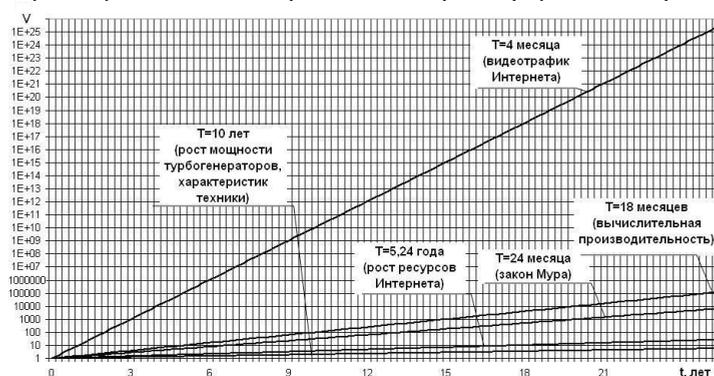


Рис. 4. Динамика результативности эволюционных инноваций

Таким образом, постоянная времени результативности инноваций количественно характеризует динамику эволюции характеристик инновационных продуктов. Это позволяет потребителям принимать обоснованные решения при выборе продуктов в расчете на требуемую в каждом конкретном случае перспективу. Инвесторам предложенная метрика дает возможность выбора тех инновационных проектов, которые будут конкурентными на рынке, если их показатели превышают показатели тренда рис. 4, и, наоборот, отклонять как бесперспективные проекты – в обратном случае. Особую актуальность такой выбор инвестиционной стратегии имеет в настоящее время [7-9], когда кризисные явления предъявляют повышенные требования к результативности инвестирования в инновации.

## 5. Заключение

Предложен показатель, характеризующий динамику эволюционных инноваций – постоянная времени изменения эффекта от инновационных процессов. Эффект может быть охарактеризован улучшением характеристик инновационных продуктов, повышением экономичности и т.п. Такой показатель применим как к отдельным видам инновационной продукции, так и к их множествам, к инновационному развитию национальной и ми-

ровой экономики. Позволяет сделать сопоставимыми разномасштабные инновационные процессы. Кроме того, постоянная времени инновационных процессов обеспечивает возможность оценки и выбора представленных на рынках инноваций по степени соответствия сформировавшейся динамике инновационного развития.

### Список источников

1. Marin Software. Report: 25 Percent Of Paid-Search Clicks Will Come From Mobile By December. URL: <http://katemossguru.com/blog>. (дата обращения: 22.03.2016)
2. Minakov V.F., Minakova T.E., Galstyan A.Sh., Shiyanova A.A. Time constant of innovation effects doubling // *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 2015, no. 6-36, pp. 307-312.
3. Баша Н.В. Формирование портфеля инновационных проектов при управлении научно-исследовательскими организациями // *Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies*, 2014, no. 5-2 (24), с. 11-13.
4. Баша Н.В., Лобанов О.С., Макачук Т.А. Научно-исследовательская деятельность: затраты, публикации научных результатов // *Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies*, 2014, no. 7-1 (26), с. 31-33.
5. Баша Н.В., Мельникова Е.Ф., Лобанов О.С. Публикационная активность НИИ как признак инновационного развития // *Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies*, 2014, no. 8-1 (27), с. 46-48.
6. Воробьев В.П., Минаков В.Ф., Минакова Т.Е. Эффект инновационных процессов – генерирование денежного потока // *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*, 2012, no. 3 (75), с. 27-32.
7. Давнис В.В., Воищева О.С., Коротких В.В. Уточнение детерминант рыночного риска в диагональной модели Шарпа // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2014, no. 3 (51), с. 8-20.
8. Давнис В.В., Касаткин С.Е., Ардаков А.А. Главные компоненты и их применение в моделях портфельного инвестирования // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2012, no. 7 (31), с. 150-157.
9. Давнис В.В., Касаткин С.Е., Тимченко О.В. Модели портфельного образа и оценка возможностей их практического использования // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2011, no. 9 (21), с. 126-137.
10. Королев В.А. Стратегия инновационного центра // *Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность*, 2002, no. 8, с. 4-17.
11. Минаков В.Ф. Сотавов А.К., Артемьев А.В. Модель интеграции аналоговых и дискретных показателей инновационных проектов // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, серия «Экономические науки»*, 2010, no. 6 (112), с. 177-186.
12. Минаков В.Ф., Минакова Т.Е., Барбанова М.И. Экономико-математическая модель этапа коммерциализации жизненного цикла инноваций // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Экономические науки»*, 2012, no. 2-2 (144), с. 180-184.
13. Путькина Л.В. Разработка инновационной стратегии деятельности коммерческого предприятия на виртуальном рынке // *Современные проблемы науки и образования*, 2013, no. 2, с. 365.
14. Трофимов В.В., Ильина О.П., Барбанова М.И., Кияев В.И., Трофимова Е.В. *Информационные системы и технологии в экономике и управлении*. Санкт-Петербург, Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та экономики и финансов, 2013.

---

# THE PACE OF THE EVOLUTIONARY INNOVATION DIFFUSIONS GEOMETRIC PROGRESSION

---

**Minakov Vladimir Fedorovich**, Dr. Sc. (Eng.), Prof.

**Barabanova Marina Ivanovna**, Cand. Sc. (Econ.), Assoc. Prof.

**Lobanov Oleg Sergeevich**, Cand. Sc. (Econ.)

**Shchugoreva Vlada Andreevna**, graduate student

Saint Petersburg State University of Economics, Sadovaya st., 21, Saint Petersburg, Russia, 191023; e-mail: m-m-m-m-m@mail.ru; mibar@mail.ru

*Purpose:* verification of the economic and mathematical model of the evolutionary innovation distribution within the same technological structure in the modern economy. *Discussion:* heterogeneous rates of innovation distribution, income from sales require the identification of patterns of change in the dynamics of the rate of innovative productpp. *Results:* we presented and verified the economic and mathematical model of the evolutionary innovation distribution within the same technological structure in terms of geometric progression. The authors offered the special indicator to describe the dynamics of the evolutionary innovation, called innovation process time change effect constant.

**Keywords:** innovation, pattern, verification, investment, indicator of dynamics.

## Reference

1. Marin Software. Report: 25 Percent Of Paid-Search Clicks Will Come From Mobile By December. Available at: <http://katemossguru.com/blog>. (accessed: 22.03.2016).
2. Minakov V.F., Minakova T.E., Galstyan A.Sh., Shiyanova A.A. Time constant of innovation effects doubling. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 2015, no. 6 – 36, pp. 307-312. (In Russ.)
3. Basha N.V. Formirovanie portfelia innovatsionnykh proektov pri upravlenii nauchno-issledovatel'skimi organizatsiiami. [Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal]. *Research Journal of International Studies*, 2014, no. 5-2 (24), pp. 11-13. (In Russ.)
4. Basha N.V., Lobanov O.S., Makarchuk T.A. Nauchno-issledovatel'skaia deiatel'nost': zatraty, publikatsii nauchnykh rezul'tatov. [Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal]. *Research Journal of International Studies*, 2014, no. 7-1 (26), pp. 31-33. (In Russ.)
5. Basha N.V., Mel'nikova E.F., Lobanov O.P.P. Publikatsionnaia aktivnost' NII kak priznak innovatsionnogo razvitiia. [Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal]. *Research Journal of International Studies*, 2014, no. 8-1 (27), pp. 46-48. (In Russ.)
6. Vorob'ev V.P., Minakov V.F., Minakova T.E. Effekt innovatsionnykh protsessov-generirovanie denezhnogo potoka. *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2012, no. 3 (75), pp. 27-32. (In Russ.)
7. Davnis V.V., Voishcheva O.S., Korotkikh V.V. Utochnenie determinant rynochnogo riska v diagonal'noi modeli Sharpa. *Sovremennaiia ekonomika: problemy i resheniia*, 2014, no. 3 (51), pp. 8-20. (In Russ.)

Davnis V.V., Kasatkin S.E., Arda-  
kov A.A. Glavnye komponenty i ikh  
primenenie v modeliakh portfel'nogo  
investirovaniia. *Sovremennaia ekonomika:  
problemy i resheniia*, 2012, no. 7 (31),  
pp. 150-157. (In Russ.)

8. Davnis V.V., Kasatkin S.E., Timchen-  
ko O.V. Modeli portfel'nogo obraza i  
otsenka vozmozhnostei ikh prakticheskogo  
ispol'zovaniia. *Sovremennaia ekonomika:  
problemy i resheniia*, 2011, no. 9 (21),  
pp. 126-137. (In Russ.)

9. Korolev V.A. Strategii innovatsionnogo  
tsentra. *Intellektual'naia sobstvennost'.  
Promyshlennaia sobstvennost'*, 2002,  
no. 8, pp. 4-17. (In Russ.)

10. Minakov V.F. Sotavov A.K., Artem'-  
ev A.V. Model' integratsii analogovykh i  
diskretnykh pokazatelei innovatsionnykh  
proektov. *Nauchno-tekhnicheskie vedo-  
mosti Sankt-Peterburgskogo gosudar-  
stvennogo politekhnicheskogo universiteta,*

*seriia «Ekonomicheskie nauki»*, 2010, no. 6  
(112), pp. 177-186. (In Russ.)

11. Minakov V.F., Minakova T.E., Barabano-  
va M.I. Ekonomiko-matematicheskaiia  
model' etapa kommersializatsii zhiznennogo  
tsikla innovatsii. *Nauchno-tekhnicheskie  
vedomosti SPbGPU. Seriia «Ekonomicheskie  
nauki»*, 2012, no. 2-2 (144), pp. 180-184.  
(In Russ.)

12. Put'kina L.V. Razrabotka innova-  
tsionnoi strategii deiatel'nosti kommer-  
cheskogo predpriiatiia na virtual'nom  
rynke. *Sovremennye problemy nauki  
i obrazovaniia*, 2013, no. 2, pp. 365.  
(In Russ.)

13. Trofimov V.V., Il'ina O.P., Barabano-  
va M.I., Kiaev V.I., Trofimova E.V. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii v  
ekonomike i upravlenii*. Saint Petersburg,  
Saint Petersburg St. Univ. of Economics  
and Finance Publ., 2013. (In Russ.)