

УДК 621.39:519.257

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА
РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Гайворонская Г. С.¹, д.т.н., профессор; Яцук П. П.²

¹*Одесская национальная академия пищевых технологий,
г. Одесса, Украина*

²*Национальная комиссия, осуществляющая государственное
регулирование в сфере связи и информатизации, г. Киев, Украина*

**SOME RESEARCH ASPECTS OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES'
DEVELOPMENT PROCESS**

Gaivoronska G. S.¹, Doctor of Engineering, Professor; Yatsuk P. P.²

¹*Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine*

²*National Commission for the State Regulation Of Communications and Informatization,
Kyiv, Ukraine*

Введение

С каждым годом увеличивается количество инфокоммуникационных услуг (ИКУ), новые услуги появляются взамен устаревших, одновременно с этим меняются и телекоммуникационные технологии (ТТ), используемые для их предоставления. Эти два процесса взаимосвязаны — появление новых ИКУ требует использования новых технологий, а новые ТТ дают возможность предоставления новых услуг. Новые услуги способствуют увеличению доходов сетевых операторов, но только в том случае, если используемые для их предоставления ТТ окажутся перспективными и смогут функционировать на телекоммуникационных сетях (ТС) достаточно длительный период времени. Естественно, сетевому оператору, так же как и производителю оборудования для новых ТТ, очень важны перспективы развития новых технологий и оценка эффективности их использования.

Смену технологий обычно изображают совокупностью кривых, показанных на рисунке 1 [1].

На самом деле процесс развития телекоммуникационных технологий отображается более сложными зависимостями, некоторым аспектам исследования которых посвящена эта работа.

Законы развития жизненного цикла различных технологий интересуют сегодня многих специалистов, как в области информатизации, телекоммуникаций, так и в области экономики, маркетинга, социологии. Этот широкий интерес специалистов из достаточно разнородных предметных областей вызывает необходимость создания и изучения математической модели процесса развития различных технологий, с помощью которой можно было бы установить общие для всех сфер деятельности закономерности,

найти параметры, существенно влияющие на характеристики этого процесса, с тем, чтобы в дальнейшем прогнозировать его течение.

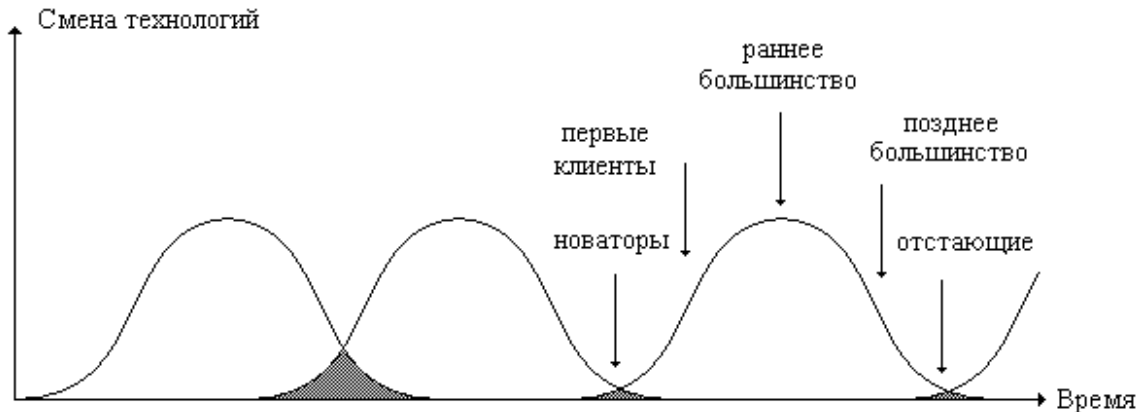


Рисунок 1 — Развитие и смена телекоммуникационных технологий

Для исследования жизненного цикла телекоммуникационных технологий (ЖЦТТ) авторами в [2], а также в развивающих ее работах предложен математический аппарат популяционной динамики. Классические работы в этой области принадлежат В. Вольтера и П. Ферхюльсту [3,4]. Математическое развитие этот аппарат получил в работах Г. Ризниченко, А. Рубина и А. Базыкина [5...7]. В последние годы некоторые ученые уже обращались к этому математическому аппарату с целью исследования жизненного цикла технологий в различных областях, таких как развитие железных дорог [8], рост городов [9], рынков труда [10] и тому подобное.

Постановка задачи

Проведенные исследования показали, что математического аппарата популяционной динамики не достаточно для того, чтобы тщательно проанализировать многообразие возможных форм ЖЦТТ и установить частные свойства исследуемого процесса. С этой целью авторами формализовано понятие кинетической кривой [2] и введена в рассмотрение функция $Y(a,b,c;f(t))$, описывающая развитие жизненного цикла технологий во времени. Используя различные значения параметров a , b и c и подбирая представления функции $f(t)$, можно построить обширное семейство кривых, представляющих различные варианты развития технологий, а именно: сильно осциллирующих; достаточно гладких; имеющих большее или меньшее число точек экстремума. Такое разнообразие поведения функции $Y(a,b,c;f(t))$ делает ее использование удобным для имитационных моделей, описывающих жизненный цикл различных технологий.

Будем предполагать, что функция $Y(a,b,c;f(t))$ принадлежит классу дважды непрерывно-дифференцируемых функций $Y(a,b,c;t) \in C_2[0;+\infty]$, $0 < t < \infty$. Кроме того, постулируется ограниченность этой функции при больших значениях времени, т.е. существует такая постоянная $M > 0$, что $|Y(a,b,c;f(t))| < M$ при $t \rightarrow \infty$.

Построим дифференциальное уравнение, фундаментальной системой решений которого будут некоторые вспомогательные функции $Q_i(a,b,c;t), i=1,2$. На основе суперпозиции этих функций построим функцию $Y(a,b,c;f(t))$ с учетом требований к описанию ЖЦ конкретной технологии. В качестве первого требования примем следующее. Пусть требуется учесть, что абсолютный рост коэффициента использования конкретной телекоммуникационной технологии сетевыми операторами пропорционален достигнутому уровню ее развития. Второе требование предполагает, что существуют некоторые факторы, действующие на процесс развития ЖЦТТ, в противоположных направлениях (например, появление перспективной конкурирующей технологии). Необходимо, учитывая сформулированные требования, найти функции, описывающие предложенную модель развития жизненного цикла исследуемых технологий.

Исследования процесса развития телекоммуникационных технологий

С точки зрения математической формализации процесса, указанные функции могут быть получены из дифференциального уравнения:

$$a \frac{d^2 Y}{dt^2} + b \frac{dY}{dt} + cY = 0 \quad (1)$$

В зависимости от конкретных значений параметров a , b и c и соотношений между ними можно получить различные виды развития технологии: отсутствие развития; неограниченный рост; неограниченное убывание; логистическое или экологическое развитие. Значения этих параметров для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами могут быть получены либо путем статистического исследования, либо путем нестрогой экспертной оценки. Получив решение уравнения (1) и меняя в нем значения указанных параметров, можно оценить возможные пути и перспективы развития жизненного цикла конкретной технологии: рост либо отсутствие развития; развитие по логистическому или экологическому сюжету и т.д.

Для решения уравнения (1) построим характеристическое уравнение

$$ax^2 + bx + c = 0, \quad (2)$$

корни которого λ_1, λ_2 .

Рассмотрим, как меняется решение уравнения (1) в зависимости от соотношения параметров a , b и c .

В первом случае: корни уравнения λ_1 и λ_2 являются действительными, причем $\lambda_1 \neq \lambda_2$, и выделяются два решения — растущее и убывающее во времени, которые позволяют записать решение уравнения (1) в виде

$$Y(t) = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t}. \quad (3)$$

Если корни λ_1 и λ_2 равны, то решение уравнения (1) представляет собой решение, убывающее во времени

$$Y(t) = (c_1 + c_2 t) e^{\frac{-b}{2a} t} . \quad (4)$$

Если корни λ_1 и λ_2 комплексные, то получаем решения, для которых характерен осциллирующий характер изменения во времени.

$$Y(t) = (c_1 \cos(\text{Im}(\lambda_j)t) + c_2 \sin(\text{Im}(\lambda_j)t)) e^{\text{Re}(\lambda_j)t} , \quad (5)$$

где $\lambda_j = \frac{-b}{2a} \pm i \frac{\sqrt{4ac - b^2}}{2a} , j = 1, 2 ,$

i – мнимая единица.

$\text{Im}(z)$ - мнимая часть комплексного числа,

$\text{Re}(z)$ - действительная часть комплексного числа.

Использование полученных решений и их комбинаций для различных моментов временного периода позволяет учесть многообразие представлений семейства функций $Y(a, b, c; f(t))$, описывающих ЖЦТТ.

Важным этапом в моделировании жизненного цикла технологии является возможность определения затрат и доходов сетевого оператора на различных этапах ЖЦТТ. Рассмотрим рис. 2, представляющий собой график кривой жизненного цикла некоторой технологии, на котором выделена линия $y = D$, где $D > 0$ - постоянная, соответствующая уровню выхода технологии на период стабильного применения. Для этого случая попытаемся определить затраты и доходы сетевого оператора на начальном этапе развития ЖЦТТ и его возможные потери в период выхода технологии на период стабильного развития.

С этой целью решим уравнение

$$Y(a, b, c; t(t)) = D . \quad (6)$$

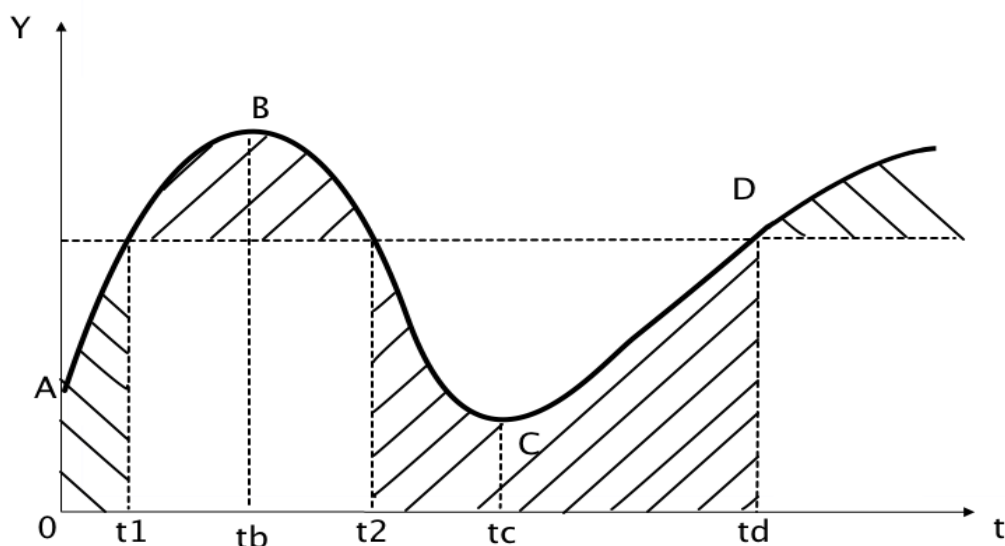


Рисунок 2 — Оценка экономических аспектов применения ТТ

Исходя из графика функции, представленного на рис. 2, этими корнями будут - t_1, t_2, t_d . Тогда по аналогии с подходом, предложенным в работе [12], можно определить затраты сетевого оператора для отдельных периодов развития ТТ.

Затраты на начальном этапе ЖЦТТ определяются из соотношения

$$D_{[0;t_1]} = \int_0^{t_1} Y(a, b, c; f(t))dt. \quad (7)$$

Доходы при бурном внедрении ТТ, превышающие средний уровень

$$D_{[t_1;t_2]} = \int_{t_1}^{t_2} Y(a, b, c; f(t))dt. \quad (8)$$

При переходе к периоду «разочарования» и спада в применении ТТ, потери оператора составят

$$D[t_2;t_d] = \int_{t_2}^{t_d} Y(a, b, c; f(t))dt. \quad (9)$$

Стабильный, но сравнительно небольшой по сравнению с периодом «завышенных ожиданий», доход сетевых операторов при выходе технологии из периода разочарования определим величиной

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \left(\int_{t_d}^k Y(a, b, c; f(t))dt \right), \quad (10)$$

предполагая, что этот несобственный интеграл является сходящимся.

Заключение

В работе сформулирован подход, позволяющий на основе предложенной функции, описывающей жизненный цикл конкретной телекоммуникационной технологии, получить представление о потенциальных доходах на разных этапах ее развития.

В дальнейшем предполагается на основе предложенной математической формализации процесса жизненного цикла телекоммуникационных технологий, реализованной путем решения обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка, позволяющей учесть разнообразные варианты характера поведения кинетической кривой, описывающей развитие их жизненного цикла, разработать метод оценки и прогнозирования использования технологий на телекоммуникационных сетях нашей страны.

Полученные, с использованием разрабатываемого метода, прогнозные значения позволят оценить необходимость продолжения использования конкретной технологии или вывода ее из эксплуатации. Понимание закономерностей жизненного цикла ТТ и стадии развития, на которой она находится, является обязательным для успешного функционирования всех компаний, работающих в сфере телекоммуникаций. В статье показано, что общую картину развития той или иной технологии можно получить лишь

при комплексном подходе к данному вопросу. Только сочетание методологического и статистического подхода позволит получить эффективные оценки, необходимые компаниям для развития этой отрасли.

Перечень источников

1. Соколов Н. А. Телекоммуникационные сети. Том 3. — М. : Альварес Пабблишинг, 2004. — 192 с.
2. Gayvoronska G. Human and telecommunication technologies life cycles comparison / G. Gayvoronska, I. Ganytskyi, P. Yatsuk // *Natural Information Technologies (NIT'2013)* : Int. Science Conf., 23—28.09.2013. — Madrid, Spain.
3. Volterra V. *Lecons sur la theorie mathematique de la lutte pour la vie* / V. Volterra. — P. : Gauthiers — Villars, 1931.
4. Verhulst P.F. *Natice sur la loi que la population suit dans son accroissement* / P.F. Verhulst // *Corr. Math. Et. Phys.* — 1838. — Vol. 10. — P. 113—121.
5. Ризниченко Г. Ю. Лекции по математическому моделированию в биологию. — Ижевск : Изд—во РХД, 2011. — 560 с.
6. Ризниченко Г. Ю. Математические модели биологических продукционных процессов / Г. Ю. Ризниченко, А. Б. Рубин. — М. : Изд. МГУ, 1993 — 301 с.
7. Базыкин А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций. — М. : Мир, 1985. — 165 с.
8. Baláž V. Diffusion and competition of voice communication technologies in the Czech and Slovak Republics, 1948–2009 / V. Baláž, A.M. Williams // *Technological Forecasting and Social Change*. — 2011.
9. Capello R. An economic–ecological model of urban growth and urban externalities: empirical evidence from Italy / R. Capello, A. Faggian // *Ecological Economics*. — 2002. — No 40. — P. 181—198.
10. Chen C. Diffusion, substitution and competition dynamism inside the ICT market: The case of Japan // C. Chen, C. Watanabe // *Technological Forecasting & Social Change*, 2006. — No. 73. — P. 731—759.
11. Гайворонська Г.С. Життєвий цикл телекомунікаційних технологій // Г.С. Гайворонська, І.В. Ганницький, П.П. Яцук // *Проблеми інфокомунікацій. Наука і технології (PIC&T'2013)* : І міжд. научно–практ. конф. — Харьков, 2013. — С. 29—31.
12. Гайворонская Г.С. Экономические аспекты оптимизации эволюционной политики развития местных сетей связи / Г.С. Гайворонская // *Acta Academia*. — 2001. — Chisinau. — Evrica, 2001. — с. 93 — 98.

References

1. Sokolov N.A. (2004) *Telekommunikatsionnyie seti* [Telecommunication networks]. Moscow, Alvares Publ. 192 p.
2. Gayvoronska G., Ganytskyi I. and Yatsuk P. (2013) Human and telecommunication technologies life cycles comparison. *Natural Information Technologies (NIT'2013)*. Int. Sci. Conf., 23–28.09.2013, Madrid, Spain.
3. Volterra V. (1931) *Lecons sur la theorie mathematique de la lutte pour la vie* P. Gauthiers Villars.
4. Verhulst P.F. (1838) *Natice sur la loi que la population suit dans son accroissement*. *Corr. Math. Et. Phys.*, vol. 10, pp. 113–121.
5. Riznichenko G.Yu. (2011) *Lektsii po matematicheskomu modelirovaniyu v biologiyu* [Lectures on mathematical modeling in biology]. Izhevsk, RHD Publ., 560 p.
6. Riznichenko G.Yu. and Rubin A.B. (1993) *Matematicheskie modeli biologicheskikh protsionnyih protsessov* [Mathematical models of biological production processes]. Moscow, MGU Publ., 301 p.

7. Bazyikin A.D. (1985) *Matematicheskaya biofizika vzaimodeystvuyuschih populyatsiy* [Mathematical Biophysics of interacting populations]. Moscow, Mir Publ. 165 p.

8. Baláž V. and Williams A.M. (2011) Diffusion and competition of voice communication technologies in the Czech and Slovak Republics, 1948–2009. *Technological Forecasting and Social Change*.

9. Capello R. and Faggian A. (2002) An economic–ecological model of urban growth and urban externalities: empirical evidence from Italy. *Ecological Economics*, No 40, pp. 181–198.

10. Chen C. and Watanabe C. (2006) Diffusion, substitution and competition dynamism inside the ICT market: The case of Japan. *Technological Forecasting & Social Change*. No 73, pp. 731–759.

11. Gayvoronska G.S., Gannitskiy I.V. and Yatsuk P.P. (2013) Zhitteviy tsikl telekomunikatsiynih tehnologiy [xxx]. *Problemy infokommunikatsiy. Nauka i tehnologii (PIC&T'2013)*, Kharkov, pp. 29–31.

12. Gayvoronskaya G.S. (2001) Ekonomicheskie aspektyi optimizatsii evolyutsionnoy politiki razvitiya mestnyih setey svyazi. *Acta Academia*. Chisinau, Evrica, pp. 93–98.

Гайворонська Г. С., Яцук П. П. Деякі аспекти дослідження процесу розвитку телекомунікаційних технологій . У статті пропонується математична модель побудови функції, що описує процес розвитку і зміни телекомунікаційних технологій , що заснована на використанні теорії звичайних диференціальних рівнянь. Запропоновано спосіб отримання попередніх оцінок потенційних доходів на різних етапах життєвого циклу телекомунікаційних технологій . На основі запропонованої формалізації передбачається розробка методу оцінки і прогнозування використання технологій на телекомунікаційних мережах України.

Ключові слова: математична модель , побудова функцій , телекомунікаційні технології , метод оцінки , прогнозування .

Gaivoronskaya G. S., Yatsuk P. P. Некоторые аспекты исследования процесса развития телекоммуникационных технологий. В статье предлагается математическая модель построения функции, описывающей процесс развития и смены телекоммуникационных технологий, основанная на использовании теории обыкновенных дифференциальных уравнений. Предложен способ получения предварительных оценок потенциальных доходов на различных этапах жизненного цикла телекоммуникационных технологий. На основе предложенной формализации предполагается разработка метода оценки и прогнозирования использования технологий на телекоммуникационных сетях Украины.

Ключевые слова: математическая модель, построение функций, телекоммуникационные технологии, метод оценки, прогнозирование.

Gaivoronska G. S., Yatsuk P. P. Some Research Aspects of Telecommunication Technologies' Development Process.

Development of the telecommunication technologies is being represented by complex dependencies. This work is devoted to some aspects of these dependencies' research. Development laws of the technology's life cycle are interested nowadays by many professionals in the field of informatization and telecommunications, as well as in economics, marketing and sociology. This wide interest among experts from a sufficiently diverse subject fields makes necessary a development and study of mathematical model of the various technologies' development process. With the help of such model it is possible to define patterns, common to all

fields of activity, to find the parameters that significantly affect the characteristics of the various technologies' development process in order to predict its course in further.

Carried studies have shown that the mathematical apparatus of the population dynamics is not enough to thoroughly analyze the variety of possible forms of the technology's life cycle and to set particular properties of the investigated process. For this purpose authors formalized the concept of the kinetic curve and introduced the function describing the development of technology life cycle in time. Using different values of this function's parameters and choosing the different representations of the function, it is possible to construct a large family of curves representing different variants of technologies development, namely: highly oscillatory; sufficiently smooth; with greater or lesser number of extreme points. Such diversity of the function's behavior makes it convenient for the usage in simulation models that describe the life cycle of various technologies.

A mathematical model based on the theory of the ordinary differential equations is proposed in the paper. This model allows constructing the function that describes the process of the development and changing in the telecommunication technologies. After analyses of the proposed curvature a method for receiving of the potential revenues estimation at the different stages of the telecommunication technologies' life cycle is proposed. This formalization gives an opportunity to develop the methods for the estimation and prognosis of the technologies' usage at the telecommunication networks in Ukraine.

Keywords: mathematical model, function's construction telecommunication technologies, the estimation and prognosis method.