УДК 004.942

Гайворонская Г. С., докт. техн. наук., проф. (Тел.: +380 67 482 66 11.
E-mail: gsgayvoronska@gmail.com). *(Одесская национальная академия пищевых технологий)*
Вайсфельд Н. Д., докт. физ.-мат. наук, проф. (Тел.: +380 50 316 12 70.
E-mail: vaysfeld@onu.edu.ua). *(Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова)*

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ

Гайворонська Г. С., Вайсфельд Н. Д. Формалізація процесу розвитку телекомунікаційних технологій з використанням математичного апарату популяційної динаміки. У статті розглядається застосування відомого математичного апарату популяційної динаміки при дослідженні процесу розвитку життєвого циклу телекомунікаційних технологій. Запропоновані авторами математичні моделі дозволяють використовувати як безперервний, так і дискретний математичний апарат. Моделі, запропоновані в роботі, дають можливість аналізувати процеси розвитку життєвого циклу телекомунікаційних технологій з урахуванням трьох варіантів взаємодії різних їх типів. Можливо дослідження кінетичної кривої життєвого циклу технологій з метою виявлення характерних точок екстремуму, точок перегину, проміжків зростання, спадання і т.д.

Ключові слова: телекомунікаційні технології, інформаційно-комунікаційні послуги, життєвий цикл телекомунікаційних технологій, популяційна динаміка**.**

Гайворонская Г. С., Вайсфельд Н. Д. Формализация процесса развития телекоммуникационных технологий с использованием математического аппарата популяционной динамики. В статье рассматривается применение известного математического аппарата популяционной динамики при исследовании процесса развития жизненного цикла телекоммуникационных технологий. Предложенные авторами математические модели позволяют использовать как непрерывный, так и дискретный математический аппарат. Модели, предлагаемые в работе, дают возможность анализировать процессы развития жизненного цикла телекоммуникационных технологий с учетом трех вариантов взаимодействия различных их типов. Возможно исследование кинетической кривой жизненного цикла технологий с целью выявления характерных точек экстремума, точек перегиба, промежутков возрастания, убывания и т.д.

Ключевые слова: телекоммуникационные технологии, информационно-коммуникационные услуги, жизненный цикл телекоммуникационных технологий, популяционная динамика.

Gayvorons'ka G. S., Vaisfel'd N. D. Formalization of telecommunication technologies' development process with the usage of population dynamics mathematical apparatus. Usage of well known population dynamics mathematical apparatus at the research of telecommunication technologies' life cycle's development process is considered in the paper. Mathematical models, offered by the authors, allow usage of both continuous and discrete mathematical apparatus. Models, offered in the paper, allows analysis of telecommunication technologies' life cycle's development processes at the consideration of three kinds of their different types' interaction. Research of telecommunication technologies' life cycle's kinetic curve for the purpose of characteristic extreme points' determination as well as inflection points, growth/decay intervals, etc is possible.

Keywords: telecommunication technologies, information and communication services, life cycle's of telecommunication technologies', population dynamics

Введение. В эпоху информационного общества, наибольшей ценностью которого являются информационные ресурсы, сложно переоценить актуальность проблемы исследования особенностей эволюции телекоммуникационных технологий (ТТ), необходимых для обеспечения передачи и принципиальной возможности обработки и хранения информации. Исследования крупнейших ученых: Н. Д. Кондратьева, И. Шумпетера, С. Ю. Глазьева указывают на взаимосвязь цикличности развития ТТ и подъемов/спадов в развитии стран, оказывающую решающее влияние на конкурентоспособность государства и его место на политической мировой арене. Телекоммуникационные технологии являются областью, в которой появление новых информационно-коммуникационных услуг (ИКУ) приводит к бурному росту процессов развития общества. Возможность моделирования жизненного цикла телекоммуникационных технологий (ЖЦТТ) и учет особенностей изменения процесса их развития позволит адекватно оценивать возможности новых технологий, выбирать наиболее рациональный момент и способ их внедрения, оценивать риск при инвестициях и т.д.

Закономерности разнообразных процессов развития представляют собой объект исследования специалистов различных предметных областей. Вопросы классификации и моделирования этих процессов являются сложной инженерно-математической проблемой. Для исследования ЖЦТТ представляется целесообразным применить известный аппарат популяционной динамики [1, 2], широко используемый при моделировании биологических процессов. Классические исследования в этой области связаны с трудами В. Вольтерра и П. Ферхюльста [3, 4]. Их результаты положены в основу исследований биофизиков, занимающихся изучением закономерностей развития и взаимодействия популяций [5, 6].

Цель настоящей работы состоит в определении возможности применения известного математического аппарата популяционной динамики при исследовании процесса развития жизненного цикла ТТ. Объектом исследования служит кинетическая кривая, описывающая развитие некоторого абстрактного жизненного цикла, а предметом является математическая формализация процесса развития ЖЦТТ.

Постановка задачи. Пусть имеется некоторая кривая, описывающая процесс развития какой-либо технологии, в общем случае ее вид представим графиком на Рис. 1.

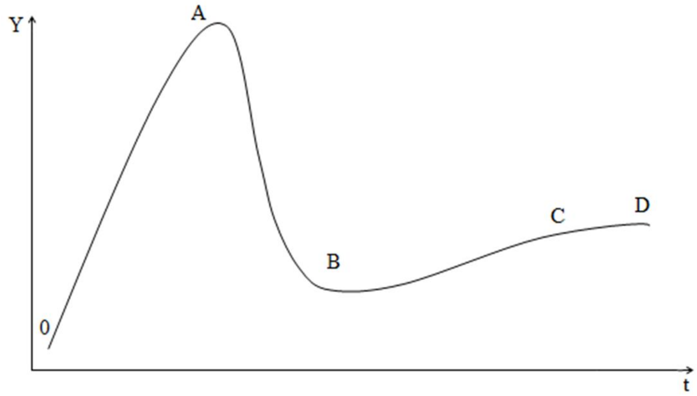

Рис. 1. График, иллюстрирующий жизненный цикл технологии

Следует отметить, что кривая может иметь и большее число экстремумов (как, например, кривая 1 на Рис. 2), либо часть графика может быть расположена под осью абсцисс (кривая 2 на Рис. 2).

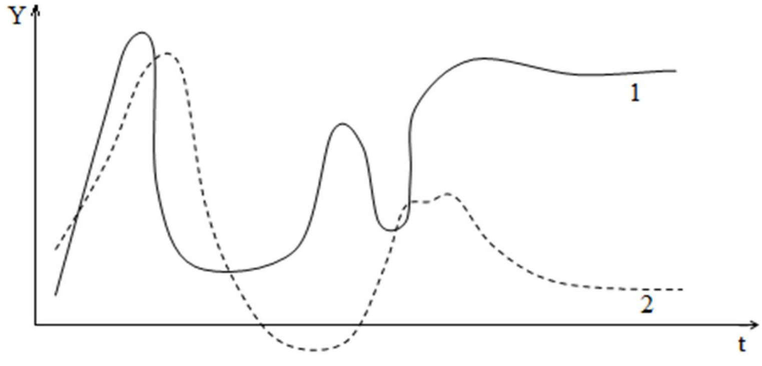

Рис. 2. Кривые, иллюстрирующие разные типы ЖЦТТ

В исследованиях таких авторитетных организаций, как *European Telecommunications Standards Institute* (*ETSI*), *Gartner Inc*., *Forbes* и т.д. [7, 8] отмечено, что каждая технология в своем развитии проходит одни и те же этапы: «***технологический триггер***» – появление публикаций в прессе, инновации (график кривой $0A$ на Рис. 1); «***пик чрезмерных ожиданий***» – ожидание новых революционных свойств новой технологии (точка A на Рис. 1); «***этап разочарований***» – на котором выявляются недочеты технологии (участок кривой AB на Рис. 1); «***период преодоления выявленных недостатков***»; «***плато продуктивности***» – зрелость технологии (участки BC, CD на Рис. 1).

Таким образом, процессы, описываемые ЖЦТТ, несмотря на качественные различия, имеют характерные одинаковые особенности: начальный бурный рост, наличие цикла развития, спад развития процесса и либо его затухание, либо после постепенного роста, выход на стабильный режим, и могут быть отражены универсальной кривой, показанной на Рис. 1, полностью соответствующей этим этапам. Исследуем возможность использования теории популяционной динамики, применяемую при изучении законов роста и эволюции биологических видов, для описания изменений жизненного цикла ТТ.

Основная часть. Известно, что ТТ не могут развиваться неограниченно: этому препятствуют естественные причины, связанные как с технологическими проблемами (отсутствие новых материалов, технических решений, технологической базы), так и с проблемами ограничения спроса на использование конкретной технологии. В таких случаях, если идея ТТ не оказалась тупиковой, наступает стабилизационный период развития конкретной ТТ, когда постепенно уменьшается объем использования предыдущего варианта технологии и все шире применяется новый улучшенный ее вариант. Этому процессу может соответствовать достаточно длительный период времени, в течение которого накапливается теоретическая база для бурного скачка, в результате которого может появиться новая технология.

Впервые модель, позволяющая описывать процессы такого рода, была построена Ферхюльстом [4], которым в 1848 году было введено уравнение роста:

$$\frac{dy}{dt} = q \cdot Y\left(1 - \frac{Y}{K}\right), \tag{1}$$

где $Y = Y(t)$ – трактуем как функцию, описывающую уровень ЖЦТТ, t – время.

В работах Ферхюльста показано, что при малых значениях t, $t \to 0$, уровень ЖЦТТ $Y(\mathrm{t})$ растет; при $t \to \infty$ наблюдается стремление к некоторому постоянному пределу K, который мы назовем емкостью ЖЦТТ и определим как

$$K = \lim_{t \to \infty} Y(t). \tag{2}$$

Уравнение (1) перепишем в виде:

$$\frac{dY}{dt} = q \cdot Y - \delta^2 \cdot Y, \delta^2 = \frac{q}{K}. \tag{3}$$

Придадим коэффициенту $\delta = \sqrt{\frac{q}{K}}$ смысл коэффициента конкурентной борьбы различных производителей одинаковой ТТ.

Решение уравнения (3) запишем в форме

$$Y(t) = \frac{Y_0 \cdot K \cdot e^{q \cdot t}}{K - Y_0 + Y_0 \cdot e^{q \cdot t}}. \tag{4}$$

Формула (4) может служить описанием кинетической кривой, иллюстрирующей уровень развития какой-либо ТТ во времени. Вид кривых, описываемых формулой (4), как показано в [1], можно представить в виде, показанном на Рис. 3.

Кривая на Рис. 3(а) описывает модель ограниченного роста ТТ, а кривая на Рис. 3(б) – модель ее бурного роста.

Если процесс, описываемый ЖЦТТ, полностью исчерпал свои инновационные возможности, пошел на спад, и технология полностью прекратила свое существование, то процесс такого вида можно иллюстрировать кривой Рис. 4, где штриховкой отмечена область спада и “отмирания” технологии.

В работе [5] А. Д. Базыкиным предложено нелинейное уравнение вида

$$\frac{dY}{dt} = d \cdot Y - \delta^2 \cdot Y^2, \tag{5}$$

где первому члену уравнения мы придаем смысл уровня сокращения сферы применения ТТ, а второму – уровень конкурентной борьбы между разными технологиями одинакового назначения.

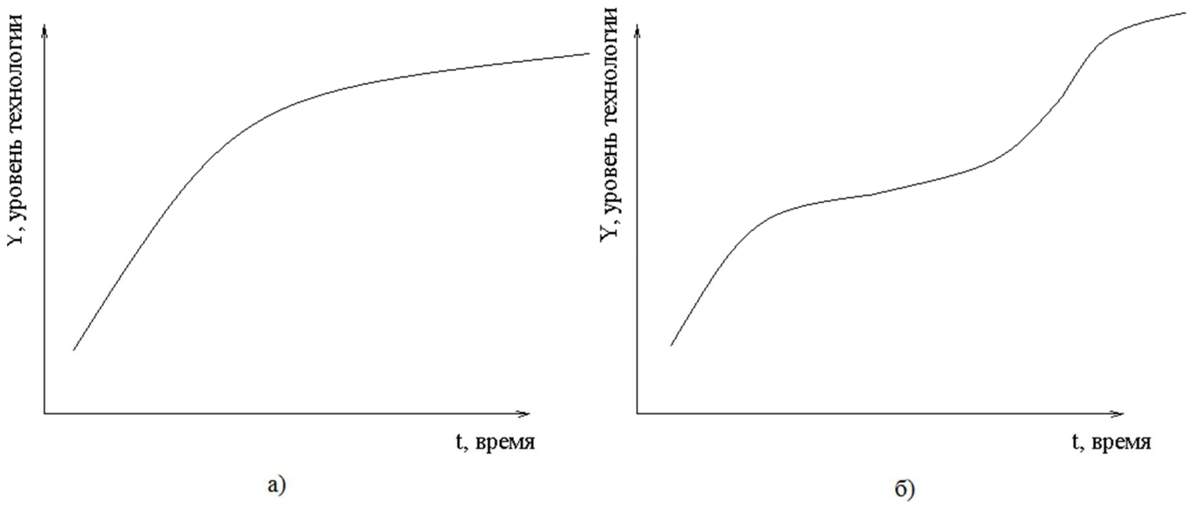

Рис. 3. Вид кинетических кривых

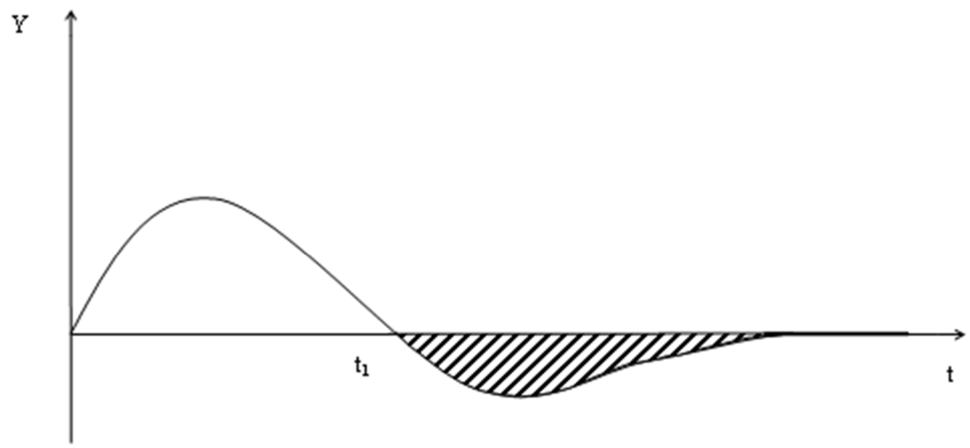

Рис. 4. Жизненный цикл технологии, исчерпавшей свою ёмкость

При развитии ТТ достаточно часто сосуществуют две или боле технологии одинакового назначения. Это приводит к аналогии взаимодействующих популяций, первые исследования закономерностей динамики которых, как известно, были даны В. Вольтерра [3]. Основная его идея заключалась в том, что взаимодействие видов описывается с помощью мультипликативных членов в уравнениях. Если перенести эту теорию на область конкуренции двух видов ТТ, то добавление мультипликативных членов даст возможность учесть взаимодействие этих двух технологий. Тогда система дифференциальных уравнений, описывающая взаимодействие двух ТТ, примет вид:

$$\left.\begin{aligned}\frac{dY_1}{dt}&=a_1Y_1+b_{12}Y_1Y_2-c_1Y_1^2;\\ \frac{dY_2}{dt}&=a_2Y_2+b_{21}Y_1Y_2-c_2Y_2^2.\end{aligned}\right\}\tag{6}$$

Постоянные a_i, $i=1,2$ трактуются как собственные скорости роста технологии каждого типа, $c_i(i=1,2)$ – постоянные, характеризующие внутритехнологическую конкуренцию в рамках каждого из ЖЦТТ, $\mathrm{b}_{i,j}(i,j=1,2)$ – постоянные, отражающие взаимодействие двух или более ТТ.

В популяционной динамике принято классифицировать взаимодействия по их результатам. Применим известную классификацию к анализу ТТ:

• конкуренция – производительность одной ТТ растет с меньшей скоростью в присутствии другой ТТ;

• симбиоз – рост применения одной технологий способствует росту другой ТТ аналогичного назначения;

• хищник-жертва – технологический рост жертвы в присутствии хищника медленнее, а хищника – быстрее.

Согласно приведенной классификации определим постоянные уравнения (6):

• симбиоз	+ +	$b_{12}, b_{21} > 0$;
• конкуренция	− −	$b_{12}, b_{21} < 0$
• хищник-жертва	+ −	$b_{12} > 0, b_{21} < 0$ $b_{12} > 0, b_{21} < 0$

Модель конкуренции (6) предполагает, что сосуществование различных технологий возможно лишь в случае, когда скорость роста ЖЦТТ ограничивается разными факторами. Для преодоления этого недостатка необходимо дополнить модель некоторыми стохастическими элементами (например, ввести функцию использования технологического ресурса). Возможно наличие и развитие ТТ, при которых происходит запаздывание в появлении различных технологических решений. Это оказывает существенное влияние на колебания количественных показателей процесса ЖЦТТ. Рассмотрим дискретную модель ТТ с перекрывающимися во времени ЖЦТТ. Уравнение, отражающее такой процесс, можно представить в виде (7).

$$N_{n+1} = N(Y_n), \tag{7}$$

где N_n – количественные показатели ТТ в n-м году.

Наблюдения развития современных ТТ показывают, что для подобного рода ЖЦТТ характерен рост от одной ТТ к другой при малых объемах их применения, и спад – при высоких. В экономике так проявляется закон “бумов и спадов”; функция N – в этом случае одноэкстремальная. Если использовать предположение, что количественные показатели роста ТТ в данный момент времени зависят от тех же количественных показателей, что и в предыдущий период, то вид одноэкстремальной функции будет следующим $N_{t+1} = F(N_t)$. Графически такую модель с непрерывающимися поколениями технологий отражает Рис. 5.

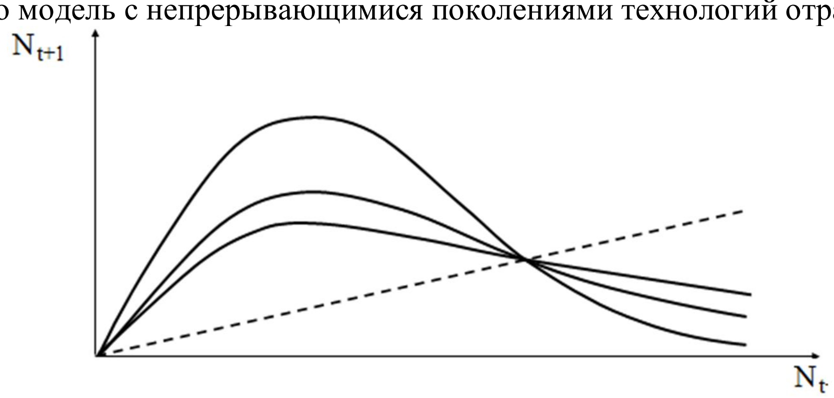

Рис. 5. Модель жизненного цикла технологии в виде одноэкстремальной функции

В работах Морана [10] и Рикера [11] показано, что функция такого типа может быть выражена соотношением:

$$N_{t+1} = N_t \cdot e^{r\cdot(1-\frac{N_t}{K})}, \tag{8}$$

где r – собственная скорость роста ТТ, K – емкость ЖЦТТ.

Известна итеративная процедура решения уравнения (8) [11]. Точка пересечения биссектрисы первого координатного угла $N_{t+1} = N_t$ и функции $F(N_t)$ определяет равновесное состояние системы, что соответствует стационарному состоянию дифференциального уравнения. Значения N_t

в последовательные моменты времени определяются благодаря известному значению $N = N_0$. Затем вычисляется значение функции в момент времени $t = 1 - F(N_0) = N_1, N_2 = F(N_1)$ и т.д. На Рис. 6 изображен случай, когда траектория сходится к равновесному состоянию.

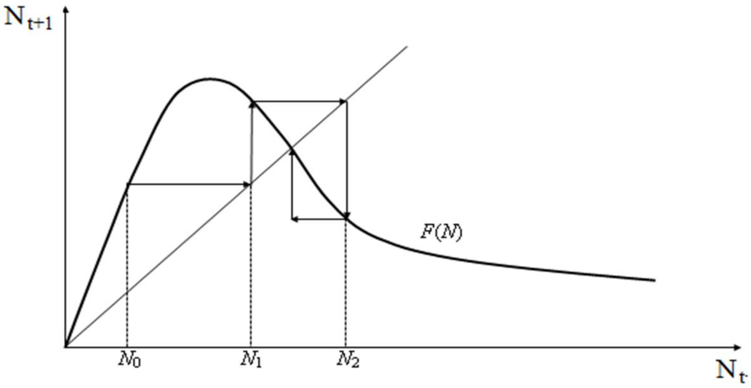

Рис. 6. Схема итеративной процедуры решения уравнения для перекрывающихся во времени ТТ

Выводы. В работе показано, что известные модели популяционной динамики могут быть применимы для описания развития жизненного цикла телекоммуникационных технологий. Предложенные авторами математические модели позволяют использовать как непрерывный, так и дискретный математический аппарат. Модели, предлагаемые в работе, дают возможность анализировать процессы развития жизненного цикла телекоммуникационных технологий с учетом трех вариантов взаимодействия различных их типов. Возможно исследование кинетической кривой жизненного цикла технологий с целью выявления характерных точек экстремума, точек перегиба, промежутков возрастания, убывания и т.д., что является целью дальнейших исследований.

Литература

1. Агарков С. А. Инновационный менеджмент и государственная инновационная политика / С. А. Агарков, Е. С. Кузнецова, М. Ю. Грязнова. – Москва : Акад. естеств, 2011. – 584 с.

2. Ризниченко Г. Ю. Лекции по математическому моделированию в биологию / Г. Ю. Ризниченко. – Москва : Ижевск : изд-во РХД, 2011. – 560 с.

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 accoroissement / P. F. Verhulst // Corr. Math. Et. Phys.– 1838. – Vol. 10. – P. 113-121.

5. Базыкин А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций / А. Д. Базыкин. – Москва : Мир, 1985 – 165 с.

6. Бигон М. Экология. Особи, популяции и сообщества. Т.1 / М. Бигон, Дж. Харнер, К. Таунсенд. – Москва : Мир, 1989. – 657 с.

7. ETSI Broadband Radio Access Networks (BRAN) [Електронний ресурс] // – Режим доступу : http://www.etsi.org/ (04.10.2013)

8. Gartner's 2013 Hype Cycle for Emerging Technologies Maps Out Evolving Relationship Between Humans and Machines // STAMFORD, Conn., August 19, 2013.

9. A. Stafford Ph. You can believe the Hype Cycle’s take on technology // Finincial Times –May, 30, 2008.

10. Moran PAP. Some remarks on animal population dynamics. Biometrics. – 1950. No. 6(3). – P. 250-258.

11. Ricker W. E. Stock and Recruitment Journal of the Fisheries Research Board of Canada. –1954. – No. 11(5). – P. 559-623.

Дата надходження в редакцію: 10.10.2014 р. Рецензент: д.т.н., проф. А. И. Семенко