

© А.А.Давыдов, 2010 г.

А.А.Давыдов

ВОЛНЫ ИННОВАЦИЙ И ЧИСЛА ФИБОНАЧЧИ: ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ГИПОТЕЗЫ

Ключевые слова: волны инноваций, числа Фибоначчи, системная социология

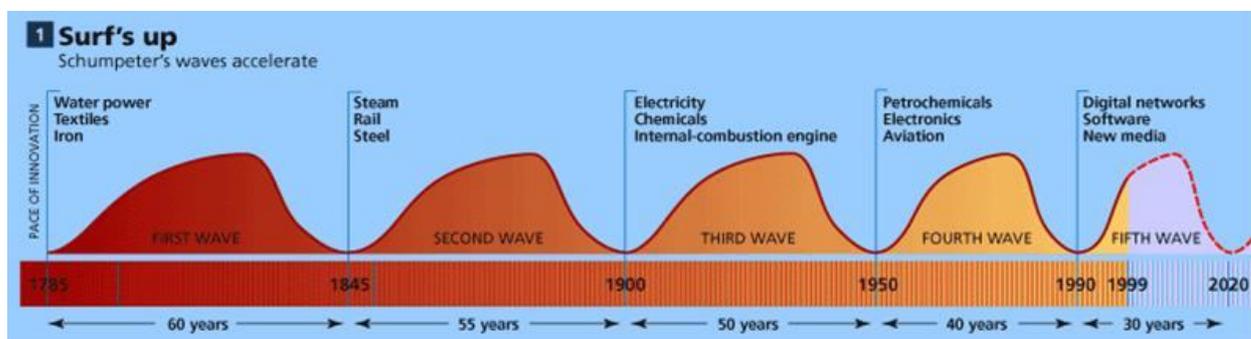
Введение

Начиная с классической работы Й.Шумпетера [1], который основываясь на циклах Кондратьева [цит. по 2], ввел понятие инновации, выявил волны (циклы) инноваций в социуме и дал их теоретическое объяснение, разрабатывается множество новых теорий [цит. по 3], объясняющих волны инноваций, например, теории G.Mensch, C. Freeman, W. Rostow, R.Hartman and D.Wheeler, G.Ray, P.Ehrenschaft, J.Delbeke, C.Marchetti, J. Van Duijn, A.Kleinknecht; D.Šmihula [4], P.Hawken, A.Lovins, L.Lovins [5], G.Silverberg [6] и других авторов.

В качестве иллюстрации на рис. 1-3 представлены идеализированные длинные волны базовых научно-технологических инноваций в социуме.

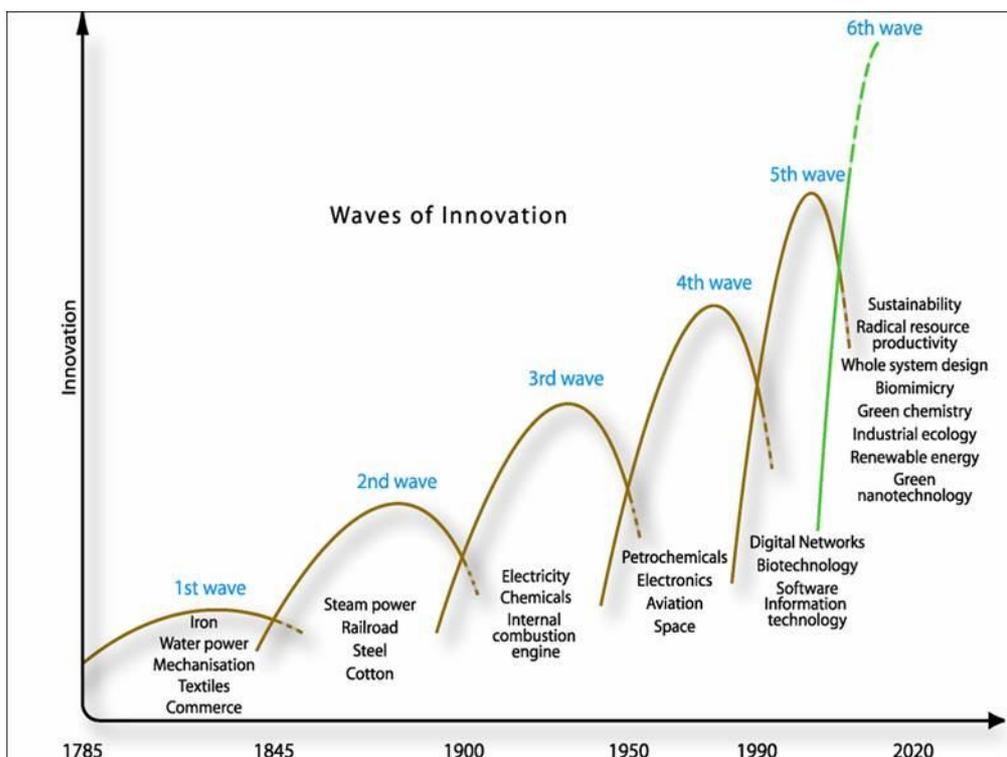
Рис.1

Длинные волны базовых научно-технологических инноваций



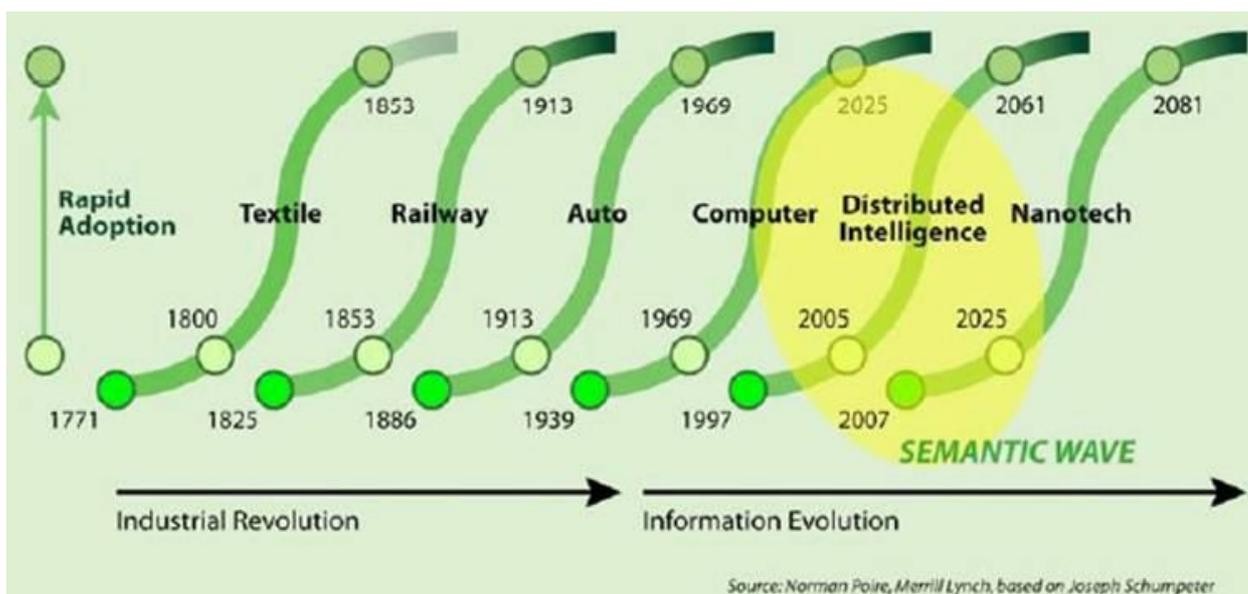
[Цит. по 7]

Длинные волны базовых научно-технологических инноваций



[Цит. по 5]

Длинные волны базовых научно-технологических инноваций



[Цит. по 8]

Современные теории [6,9-11] волн научно-технологических инноваций в социуме, некоторые из которых были перечислены выше, базируются на системном подходе и включают взаимодействие научных, технологических, экономических, социокультурных, организационных и других факторов. Поскольку многочисленные твердо установленные эмпирические факты, представленные например, в научных статьях International Journal «Technological Forecasting and Social Change» [12] свидетельствуют о прямом и обратном влиянии научно-технологических инноваций на специфику общества (индустриальное, информационное, возможное будущее нанообщество [13]) и обратного влияния общества на создание и распространение научно-технологических инноваций. В целом, длинные волны базовых научно-технологических инноваций, представленные на рис. 1-3, некоторые исследователи, например, D.Šmihula [4], Ю.Н.Яковец [14] интерпретируют, как научно-технологические революции, технологические уклады и т.д., продолжительность периодов которых уменьшается с течением времени.

В этой связи отметим, что уменьшение продолжительности периодов длинных волн базовых инноваций с течением времени, обычно объясняют [3,5] инфраструктурными изменениями, например, развитием информационных коммуникаций, правовыми и организационными решениями, которые сокращают время между созданием, разработкой и внедрением инновации, а также рядом других экономических, военных, социокультурных и иных факторов. Уменьшение продолжительности периодов длинных волн базовых инноваций с течением времени, можно описать с помощью множества известных математических моделей, например, элементарных степенных и экспоненциальных функций, модели затухающих колебаний, моделей System Dynamics (системной динамики) (SD) и т.д. Также отметим, что эмпирическая периодизация волн инноваций наталкивается на хорошо известные методические проблемы периодизации социальных процессов [2,15], а именно, имеющиеся относительно короткие эмпирические временные ряды, трудность точной календарной идентификации начала и конца волны, выбор показателей и стран мира для обоснованного измерения волн инноваций и т.д. Поэтому периодизации волн инноваций, в частности, длинных волн базовых научно-технологических инноваций, различаются у различных авторов. Например, P.Hawken, A.Lovins, L.Lovins [5] датируют начало пятой информационной волны 1990 годом, D. Šmihula [4] – 1985 годом, C.Freeman [16] - 1971 годом.

В. Groota и P. Franses [17], с помощью гармонической регрессии Пуассона, проанализировали эмпирические данные по инновациям за период 1764–1976 гг. и установили, что существуют волны инноваций, с периодом (продолжительностью) 5,13,24,61 год и отметили, что выявленные периоды циклов инноваций близки к числам Фибоначчи, однако, дефицит эмпирических данных не позволяет сделать более обоснованный вывод. В этой связи автор поставил следующую исследовательскую задачу:

Оценить перспективность гипотезы, согласно которой продолжительность волн инноваций в социуме может быть описана числами Фибоначчи.

Методология и методика

Решение поставленной исследовательской задачи осуществлялось в рамках системной социологии [18], в частности, в рамках математической и естественнонаучной методологических парадигм [19] системной социологии. Напомним, что в системной социологии [19] при выдвижении гипотез придерживаются следующих методологических критериев оценки выдвигаемых гипотез. «Прозрачности» (ясно обозначены постулаты, на которых базируется гипотеза); математической строгости определения гипотезы; эмпирическая и теоретическая обоснованность гипотезы (непротиворечивость относительно неопровержимо доказанных эмпирических фактов и более общих теорий); точности аппроксимации (приближения) к имеющимся эмпирическим данным; фальсифицируемости гипотезы; простоты гипотезы (минимальное количество исходных постулатов гипотезы, простота последующей компьютерной реализации и эмпирической проверки); прогностичности гипотезы (возможность с помощью гипотезы выдвигать новые гипотезы и прогнозы); «широты» гипотезы (возможность гипотезы описывать максимально широкий класс известных фактов и теорий); элегантности (красоты) гипотезы; плодотворности гипотезы для развития теории и практических приложений.

По перечисленным выше критериям осуществлялась оценка перспективности гипотезы, согласно которой продолжительность волн инноваций в социуме может быть описана числами Фибоначчи.

Полученные результаты

Математическая строгость. Числами Фибоначчи [20] называют линейную рекуррентную (возвратную) последовательность положительных целых чисел: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, ..., которые описываются формулой (1).

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2} \quad (1)$$

Формула (1) показывает, что каждое число Фибоначчи есть сумма двух предыдущих чисел Фибоначчи.

Числа Фибоначчи хорошо изучены в теории чисел, а именно, существует международная математическая The Fibonacci Association [21], издается международный математический журнал «The Fibonacci Quarterly» [22], опубликовано множество монографий [23], проводятся международные симпозиумы и конференции, на которых рассматриваются, в частности, различные обобщения чисел Фибоначчи, например, Fibonacci n -Step Number (каждое последующее число есть сумма n предыдущих чисел) [24]: tribonacci number, tetranacci number, pentanacci number, hexanacci number, heptanacci number и т.д. и их приложения. Для Fibonacci n -Step Number справедливо (2).

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{F_k^{(n)}}{F_{k-1}^{(n)}} = 2 \quad (2)$$

Трудность точной календарной идентификации начала и конца волны инноваций можно преодолеть, используя Fuzzy Fibonacci numbers («нечеткие» числа Фибоначчи) [25]. С правилами образования «нечетких», «мягких» и т.д. чисел заинтересованный читатель может ознакомиться в справочном руководстве пакета MATLAB [26]. Для чисел Фибоначчи доказано множество теорем, полезных для практических приложений, например, Zeckendorf Representation [27] и т.д.

«Прозрачность» и простота. Числа Фибоначчи базируются на общесистемном свойстве рекуррентности, которое лежит в основе наблюдаемого самоподобия различных систем и подсистем [28], в частности, фрактального самоподобия [29] динамики социальных систем. Алгоритм образования (рекуррентность) чисел Фибоначчи является простым и позволяет легко реализовать данный алгоритм в компьютерной системе, проверить данную гипотезу в эмпирическом исследовании и т.д.

Теоретическая обоснованность. Числа Фибоначчи имеют солидное теоретическое обоснование в общей теории систем, в частности, в теории динамических систем, теории хаоса [10-11] и в модульной теории социума (МТС) [15,30] – одной из частных теорий системной социологии. Напомним, что в МТС [15,30], в частной теории соответствия пропорций и функций в социальных системах [31], «золотой» пропорции (3) соответствует функция (режим функционирования) – развитие новых системных свойств.

Фальсифицируемость. Выдвинутая гипотеза может быть эмпирически верифицирована, как с помощью стандартного спектрального анализа временных рядов по методу Фурье, так и с помощью современного вейвлет-анализа [32].

«Широта». Числа Фибоначчи позволяют описывать как длинные волны базовых научно-технологических инноваций, с учетом уменьшения продолжительности периода волн с течением времени, представленных на рис. 1-3, так и множество параллельно протекающих волн инноваций, выявленных В. Groota и P. Franses [17], которые были представлены выше.

Прогностичность. Числа Фибоначчи позволяют выдвинуть ряд новых гипотез и прогнозов. Например, выдвинуть гипотезу, согласно которой в социуме могут существовать сверхдлинные волны инноваций, продолжительностью 987, 1597, 2584, ..., лет, которые являются числами Фибоначчи и, возможно, соответствуют продолжительности «железного» века, «бронзового» века, неолиту [14]. Другой пример. Из рис. 1-4 следует, что с течением времени наблюдается уменьшение продолжительности периода (продолжительности) волны базовых научно-технологических инноваций. Исходя из порядковых номеров волн базовых инноваций и начальных чисел ряда Фибоначчи 0,1,1,2,3,5,... можно предположить, что в пределе $\lim_{n \rightarrow \infty} T_n = 0$, где n - порядковый номер волны базовых инноваций, T - продолжительность волны (годы). Данный гипотетический прогноз ускорения научно-технологического прогресса с течением времени разделяют многие авторы, например D.Šmihula [4].

Красота. Числа Фибоначчи образуют геометрическую прогрессию (3) со знаменателем геометрической прогрессии $\phi = 1.618...$ известным в науке и искусстве [33], как «золотая» пропорция или «золотое» сечение, которое характеризует гармонию, соразмерность, красоту в различных системах, например, в архитектуре, музыке, живописи и т.д.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F_{n-1}}{F_{n-2}} = 1.618... \quad (3)$$

Плодотворность. Если выдвинутая гипотеза, согласно которой продолжительность волн инноваций в социуме может быть описана числами Фибоначчи, получит подтверждение, то данный факт еще раз продемонстрирует действие общесистемных законов в социальных системах [15,18,19], а также будет способствовать привлечению внимания социологов к математической теории чисел, в рамках которой получено множество полезных, для практических приложений, результатов, которые пока мало используются в социологии.

Практическая польза. Теория волн Элиотта [34], основанная на числах Фибоначчи, давно и широко используется при анализе и прогнозировании динамики финансовых рынков. Модульная теория социума (МТС) [15,30], базирующаяся, в частности, на числах Фибоначчи, реализована А.Н.Чураковым [15,30] в компьютерной экспертно-диагностической системе МАКС, с помощью которой проведено множество исследований по анализу, диагностике, моделированию и прогнозированию строения и динамики различных социальных систем.

Согласно доказанной теореме Zeckendorf Representation [27], каждое целое положительное число можно представить, единственным образом, как сумму чисел Фибоначчи, которые не являются соседними. Например, D. Šmihula [4] идентифицирует период 1780-1880 гг., в социуме, как волну индустриальной революции. Данный период волны равен 100 годам. Согласно теореме Zeckendorf Representation [27], $100 = 89 + 8 + 3$. Если выдвинутая гипотеза верна, то, тогда, зная продолжительность волны (цикла) инноваций, можно заранее сказать, какие субциклы, соответствующие числам Фибоначчи, будут наблюдаться. И наоборот, сумма чисел Фибоначчи соответствует продолжительности мега-волны инноваций. При этом, нет нужды использовать эмпирические данные и сложные математические методы анализа временных рядов, например, спектральный анализ или вейвлет-анализ.

Обсуждение полученных результатов

Гипотеза, согласно которой продолжительность волн инноваций в социуме может быть описана числами Фибоначчи, удовлетворяет критериям, предъявляемым в системной социологии [19] к гипотезам. Следовательно, имеются теоретические основания выделить данную гипотезу для ее

последующей эмпирической верификации. В этой связи напомним высказывание известного математика Ф.Клейна [цит. по 35,с.44], высказанного им более 100 лет назад при изложении «Эрлангенской программы» - «нельзя недооценивать преимущества, которые приносит удачно приспособленный формализм в дальнейших исследованиях, где он, если можно так выразиться, опережает нашу мысль».

Выводы

Гипотеза, согласно которой продолжительность волн инноваций в социуме может быть описана числами Фибоначчи, представляется перспективной для ее последующей эмпирической верификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schumpeter J.A. Business Cycles: a Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process (2 volumes). New York.: McGraw Hill, 1939.
2. Korotayev A., Tsirel S. A Spectral Analysis of World GDP Dynamics: Kondratieff Waves, Kuznets Swings, Juglar and Kitchin Cycles in Global Economic Development and the 2008–2009 Economic Crisis//The Structure and Dynamics, 2010, Volume 4, Issue 1. (http://escholarship.org/uc/search?entity=imbs_socdyn_sdeas;volume=4;issue=1)
3. Goldstein J. Long Cycles: Prosperity and War in the Modern Age. New Haven.: Yale University Press, 1988. (<http://www.joshuagoldstein.com/jgcycle.htm>)
4. Šmihula D. Waves of technological innovations and the end of the information revolution//Journal of Economics and International Finance, 2010, Vol. 2(4), P.58 – 67.
5. Hawken P., Lovins A., Lovins L. Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution. N.Y.: Back Bay Books, 2008.
6. Silverberg G. Long Waves: Conceptual, Empirical and Modelling Issues. Maastricht.: Merrit, 2003.
7. Duncan, E. Wheel of Fortune. Technology and Entertainment Survey//The Economist. 1998.
8. Long Wave of Innovation. (http://slides.liip.ch/semwiki-chopen/slide_70.html)

9. Silverberg G. When is a Wave a Wave? Long Waves as Empirical and Theoretical Constructs from a Complex Systems Perspective. Maastricht.: Merrit, 2005.
10. Andergassen R., Nardini F., Ricottilli M. Innovation waves, self-organized criticality and technological convergence//Journal of Economic Behavior and Organization. 2006, Vol. 61, P. 710-728.
11. Linagea G., Montoyaa F., Sarmientob A., Showalterc K., Parmanandaa P. Fibonacci order in the period-doubling cascade to chaos//Physics Letters A, 2006, Volume 359, Issue 6, P. 638-639.
12. International Journal «Technological Forecasting and Social Change». (http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/505740/description#description)
13. Давыдов А.А. В преддверии нанообщества//Социологические исследования. 2007, № 3, С. 119-125. (<http://www.ecsocman.edu.ru/text/19146584/>)
14. Яковец Ю.В. Циклы. Кризисы. Прогнозы. М.: Наука, 1999.
15. Давыдов А.А. Модульный анализ и конструирование социума. М.: ИСАН, 1994.
16. Freeman Ch. Long Wave Theory. N.Y.: Edward Elgar Publishing Ltd., 1996.
17. Groota de B., Franses P. Cycles in basic innovations//Technological Forecasting and Social Change. 2009, Volume 76, Issue 8, P.1021-1025.
18. Давыдов А.А. Конкурентные преимущества системной социологии. (Электронное издание) М.: ИС РАН, 2008. (<http://www.isras.ru/publ.html?id=855>), (<http://www.ecsocman.edu.ru/db/msg/324618.html>)
19. Давыдов А.А. Системная социология: введение в анализ динамики социума. М.: ЛКИ, 2007.
20. Fibonacci Numbers. (<http://mathworld.wolfram.com/FibonacciNumber.html>)
21. The Fibonacci Association. (<http://www.mscs.dal.ca/Fibonacci/>)
22. The Fibonacci Quarterly (<http://www.fq.math.ca/>)
23. Books about Fibonacci Numbers. (<http://www.mscs.dal.ca/Fibonacci/books.html>)
24. Fibonacci n-Step Numbers. (<http://mathworld.wolfram.com/Fibonacci-StepNumber.html>)
25. Buckley J., Esfandiar E., Feuring T. Fuzzy Mathematics in Economics and Engineering. Berlin.: Springer Verlag, 2002.

26. «Нечеткие» числа в MATLAB.
(<http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>).
27. Zeckendorf Representation.
(<http://mathworld.wolfram.com/ZeckendorfRepresentation.html>)
28. Давыдов А.А. Убывающие числовые последовательности в социологии: факты, объяснения, прогнозы// Социологические исследования. 2001, № 7, С. 113-119. (<http://ecsocman.edu.ru/socis/msg/248253.html>)
29. Давыдов А.А. Системный подход в социологии: новые направления, теории и методы анализа социальных систем. М.: Эдиториал УРСС, 2005.
30. Давыдов А.А., Чураков А.Н. Модульный анализ и моделирование социума. М.: ИСАН, 2000.
31. Davidov A. The Theory of Harmony of Proportions and Functions in Social Systems//Systems Research, 1992, Vol. 9, P. 19-25.
32. Давыдов А.А. Вейвлет-анализ социальных процессов//Социол.исслед. 2003, № 11, С. 89-101. (<http://www.ecsocman.edu.ru/text/19081312/>)
33. Сонин А.С. Постигание совершенства: Симметрия, асимметрия, диссимметрия, антисимметрия. М.: Знание, 1987.
34. Теория волн Эллиотта. (http://ta.mql4.com/ru/elliott_wave_theory)
35. Тишин А.И. Теория категорий и системные исследования в социологии//Математические методы в социологическом исследовании. М.: Наука, 1981, С. 37-46.