

# Синергетические явления в информатике

*Рассматриваются нелинейные эффекты в мировой системе научной коммуникации. На примере динамики публикаций по новым тематикам показаны точки бифуркации, проявляющиеся в скачкообразном изменении скорости роста числа публикуемых документов. Такие явления представляют интерес как реальная самоадаптация мировой системы научной коммуникации к новым научным идеям и открытиям.*

*рефер*

**Ключевые слова:** синергетика, точки бифуркации, библиография, количественный анализ, динамика документальных информационных потоков

Мировая система научной коммуникации является сложной социально-технической системой, которая постоянно адаптируется к потребностям научного сообщества [1]. Развитие науки происходит в рамках различных тематических направлений (тематик), которые возникают, проходят латентный (скрытый) период развития, затем этап экспоненциального роста числа публикуемых документов, привлекая внимание всего научного сообщества, и заканчивают свое развитие, становясь стартовой площадкой для новых тематик. Отражение этих основных этапов развития тематик можно найти в коллекциях научных документов, создаваемых научным сообществом [2].

Наиболее полно развитие тематик отражается в полных коллекциях документов, включающих все документы, относящиеся к данному научному направлению. Такие полные библиографии, содержащие, по мнению составителей, все документы по определенной тематике с момента ее возникновения, стали представляться в Интернете. Этой важной деятельностью по аналитико-семантической обработке научных документов занимаются не только специалисты по информатике, но и сами ведущие научные школы. Во многом это обусловлено возросшими возможностями информационных технологий, которые дали новым поколениям ученых реальную возможность ознакомиться с оригиналами научных документов практически за весь XX век.

Постепенный переход научной коммуникации в конце XX в. в мировую информационную сеть Интернет существенно изменил скорости не только физических процессов передачи научных документов в мировом научном сообществе, но, что наиболее важно, скорости аналитико-синтетической переработки научной информации самим научным сообществом.

Развитие мировой системы научной коммуникации на протяжении всей ее истории определяется двумя основными факторами:

- увеличением числа членов научного сообщества, участвующих в коммуникационных процессах;
- увеличением относительной скорости передачи документальной информации внутри сообщества.

Эти процессы, происходящие на протяжении более чем трех столетий, сопровождалась структуризацией документальных информационных потоков, выраженной в возникновении в конце XIX в.

вторичных информационных изданий — реферативных журналов.

В качестве примера можно привести увеличение относительной скорости коммуникационных процессов в области исследований космических частиц на протяжении XX в.

Первая, широко цитируемая в научном сообществе, монография по использованию теории стохастических процессов в исследовании космической радиации была опубликована в 1943 г. Н. Арлем (Niels Arley) [3]. Документальные источники, представленные в библиографии к этой работе, составляли главным образом статьи из основных научных журналов того времени — “Physical Review” и “Proceeding Royal Society of London”. Библиография включала 52 статьи и пять монографий (1877–1943 гг.), среди них — книга выдающегося математика А. Н. Колмогорова по основаниям теории вероятностей (1933 г., на немецком языке).

Динамика увеличения числа публикаций, цитируемых в монографии, происходила по экспоненте:  $N(t) = N(t_0 = 1900)\exp\{\lambda(t - t_0)\}$ ,  $\lambda = 0.05$  1/год, среднее время удвоения размеров массива 13.5 лет (рис. 1).

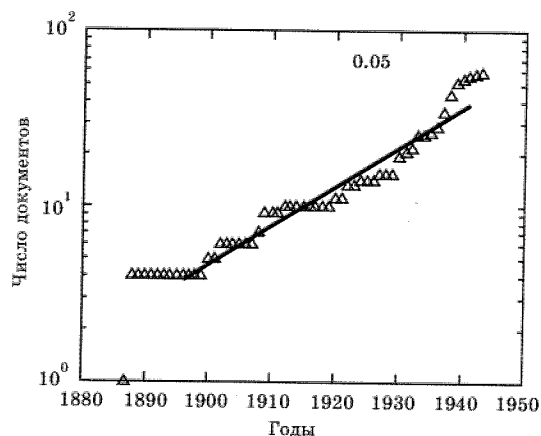


Рис. 1. Динамика увеличения числа публикаций, цитируемых в монографии по космической радиации (N. Arley, 1943)

Вторая библиография по космическим гамма-лучам, представленная лабораторией космических исследований в Беркли (K. Hurley, 2005 г.), включала уже 8069 документов, главным образом статей в периодической печати [4]. Подавляющее большинство статей, указанных в этой библиографии, было

опубликовано в традиционных физических и астрономических журналах, не имеющих электронных версий в Интернете.

Использование физиками для межличностной коммуникации (начиная с 80-х гг. XX в.) электронной почты в рамках мирового научного сообщества позволило достигнуть существенного увеличения скорости научной коммуникации, не имеющего аналогов в середине XX в. На рис. 2 показана динамика увеличения числа опубликованных статей за последние 20 лет:  $N(t) = N(t_0 = 1980)\exp\{\lambda(t - t_0)\}$ ,  $\lambda = 0.12 \text{ 1/год}$ , время удвоения массива  $5.7 \text{ года}$ . По этой тематике публиковалось почти по 1,5 статьи ежедневно.

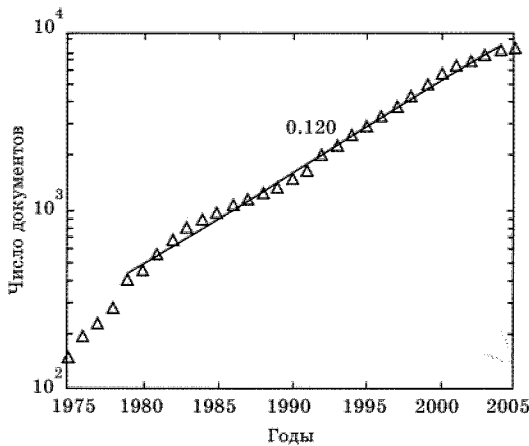


Рис. 2. Динамика публикаций по космическим гамма-лучам в 1980–2005 гг.

Переход к электронным средствам коммуникации значительно увеличил как размеры научного сообщества (примерно в 100 раз), так и относительные скорости роста информационных массивов: более чем в два раза, с  $\lambda = 0.05 \text{ 1/год}$  до  $\lambda = 0.12 \text{ 1/год}$ , время удвоения размеров уменьшилось также в два раза. Эти изменения произошли за вторую половину XX в.

Приведенные данные подтверждают качественные изменения в развитии науки, превращение ее в “большую” науку, предсказанную Д. Прайсом в середине XX в. [5].

Появление новых научных идей, революционные изменения в различных областях науки и техники могут приводить к скачкообразным структурным изменениям в исторически сложившейся с XVII в. мировой системе научной коммуникации и, как следствие, изменять стационарность тематических документальных информационных потоков. Такие моменты изменения стационарности с точки зрения современной теории самоорганизации — синергетики — получили название *точек бифуркации*. Время, за которое происходят изменения, может быть чрезвычайно малым по сравнению с временами существования тематических документальных потоков.

В дальнейшем на такие события мировая система научной коммуникации реагирует возникновением как новых тематических направлений, так и новых разделов в различных предметных рубриках.

Современный этап развития науки характеризуется распространением идей синергетики из области естественных наук в сферу социальных

и экономических наук. Хаотическая динамика систем с возникновением особых точек ветвления траекторий (точек бифуркаций) в настоящее время начинает использоваться для качественного объяснения поведения во времени различных типов социальных процессов. К сожалению, практически отсутствует достоверный фактографический материал для подтверждения этой точки зрения.

Предметом данной работы является количественный анализ нелинейных явлений в мировой системе научной коммуникации, проявляющихся в скачкообразном изменении относительных скоростей роста документальных информационных массивов.

Динамика увеличения числа статей в тематических документальных информационных массивах в подавляющем большинстве случаев хорошо аппроксимируется экспоненциальным ростом числа публикуемых документов во времени. Иначе говоря, процесс увеличения числа документов  $N(t)$  происходит с постоянной относительной скоростью роста  $\lambda$ :

$$\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t),$$

с начальным условием  $N(t = 0) = N_0$ ;  
другое представление уравнения:

$$\left(\frac{dN(t)}{N(t)}\right) = \frac{d \ln N(t)}{dt} = \lambda,$$

где  $\lambda$  — относительная скорость роста числа документов во времени.

Скачкообразное изменение  $\lambda$  в какой-либо момент времени может свидетельствовать о качественном изменении структуры коммуникационных процессов в научном сообществе.

Среди нескольких сотен исследованных полных библиографий по самым разным научным направлениям в области естественных наук удалось найти только несколько информационных массивов, являющихся кандидатами для синергетических процессов.

Приводимые ниже примеры библиографий показывают существование революционных изменений в развитии отдельных предметных областей, которые находят отражение в динамике документальных информационных потоков.

### Библиография по ранним атласам и географическим картам

История создания географических карт восходит к возникновению древних цивилизаций. Актуальным это направление стало в эпоху Великих географических открытий XV–XVI вв.

Библиография географических карт и атласов поверхности Земли содержит 1286 документов (из них 1255 имеют датировки), созданных в 1200–2000 гг.; в неё включены атласы, книги, альбомы, журнальные статьи [6].

На рис. 3 показана динамика увеличения числа изданий карт и атласов; можно наблюдать два временных интервала с различной относительной скоростью роста документов.

(1) 1599–1850 гг.:  $N(t) = N(t_0 = 1500)\exp\{\lambda(t - t_0)\}$  с  $\lambda = 0.003 \text{ 1/год}$ , время удвоения  $200 \text{ лет}$ ;

(2) 1850–1990 гг.:  $N(t) = N(t_0 = 1850)\exp\{\lambda(t - t_0)\}$  с  $\lambda = 0.02 \text{ 1/год}$ , время удвоения  $35 \text{ лет}$ .

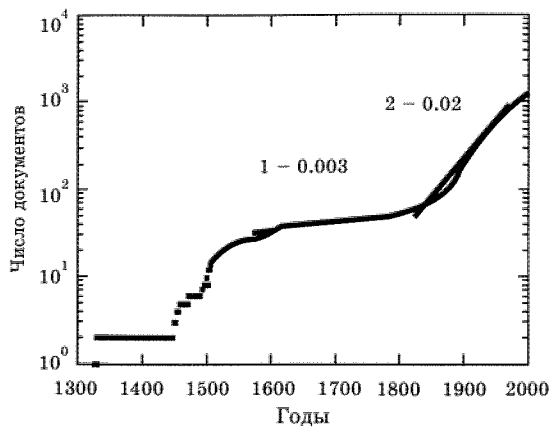


Рис. 3. Динамика изданий старинных карт и атласов

Бурное развитие мировых систем коммуникаций (пассажирского морского транспорта, железных дорог), а главное, появление многоцветной полиграфии и создание единой географической сети в середине XIX в. качественно изменили картографию и привели к количественному скачку в увеличении числа выходящих изданий. Относительная скорость роста числа документов увеличилась в 8 раз. Интерес к старинным рукописным изданиям не уменьшается и в XX в. — в связи с их оцифровкой и электронным представлением старых карт.

#### Библиография по почвоведению

Другим примером может служить библиография по истории почвоведения [7], содержащая 463 документа (статьи и монографии 1847–2006 гг.), среди них — книги выдающегося русского почвовед В. В. Докучаева.

Динамика увеличения числа документов (рис. 4) имеет два участка с постоянными относительными скоростями роста:

- (1) 1870–1915 гг.:  $N(t) = N(t_0 = 1870)\exp\{\lambda(t - t_0)\}$  с  $\lambda = 0.09$  1/год, время удвоения 7 лет;
- (2) 1916–2006 гг.:  $N(t) = N(t_0 = 1916)\exp\{\lambda(t - t_0)\}$  с  $\lambda = 0.03$  1/год, время удвоения 24 года.

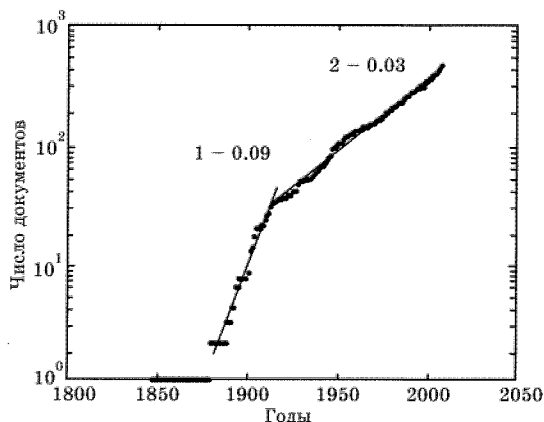


Рис. 4. Динамика публикаций по истории почвоведения

Точкой бифуркации стала Первая мировая война, которая во многом изменила приоритеты в экономическом развитии многих стран: наиболее важными оказались промышленное производство, подготовка ко Второй мировой войне. Как следствие, динамика публикаций по почвоведению уменьшилась почти в три раза.

#### Библиография по точности и устойчивости численных методов

Численные методы решения различных уравнений в математике используются со времен Древней Греции. Особенно их роль возросла в конце XIX в., когда потребовалось создание точных астрономических таблиц для навигации военных и торговых судов.

Библиография, представленная журналом Общества инженерной и прикладной математики (SIAM), содержит 1250 документов (1841–2002 гг.) [8]. Динамика роста числа статей (1950–2000 гг.), показанная на рис. 5, аппроксимируется экспоненциальной зависимостью:

$$N_{ст}(t) = N_{ст}(t_0 = 1950)\exp\{\lambda_{ст}(t - t_0)\}, \lambda_{ст} = 0.073 \text{ 1/год, время удвоения } 10 \text{ лет.}$$

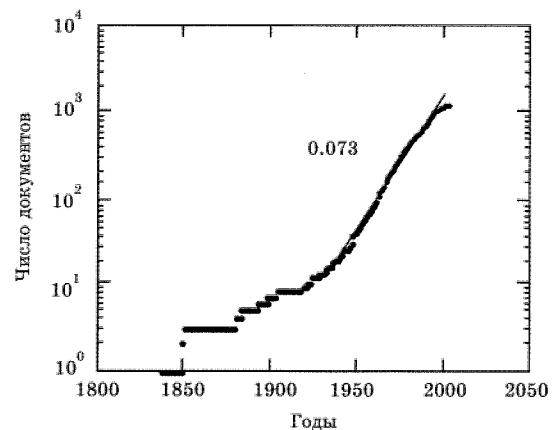


Рис. 5. Динамика публикаций по точности вычислений и устойчивости вычислительных алгоритмов

Появление первых компьютеров, вначале электромеханических (Марк-1), а позже электронных (ENIAC), привело к быстрому росту интереса научного сообщества к численным методам. Середина 50-х гг. XX в. можно считать точкой бифуркации этой предметной области: именно компьютеры быстро изменили отношение большинства ученых к численным методам решения задач, что привело к выделению вычислительной математики в отдельное научное направление и сделало задачи точности вычислений и устойчивости вычислительных алгоритмов одними из наиболее важных.

#### Библиография по теоретической лингвистике и языкам программирования

Библиография по теоретической лингвистике, относящейся к языкам программирования высокого уровня, содержит уникальное количество различных документов — 6087 единиц (1653–2003 гг.) [9]. Самый ранний документ в этом массиве: Lancelot C. Nouvelle m'ethode pour facilement et un peu de temps comprendre la langue latine. — Paris: Pierre le Petit, 1653.

Можно выделить два участка экспоненциального роста числа документов (рис. 6):

- (1) 1750–1950 гг.: латентный, продолжительностью почти 200 лет, число документов возросло с 3 до 40 единиц;

$N(t) = N(t_0 = 1750)\exp\{\lambda(t - t_0)\}$  с  $\lambda = 0.01$  1/год, время удвоения числа документов 70 лет;

(2) 1950–2000 гг.: экспоненциальный, длительностью 50 лет, число документов увеличилось с 40 до 6000 единиц:

$N(t) = N(t_0 = 1950)\exp\{\lambda(t - t_0)\}$  с  $\lambda = 0.1$  1/год, время удвоения числа документов 7 лет.

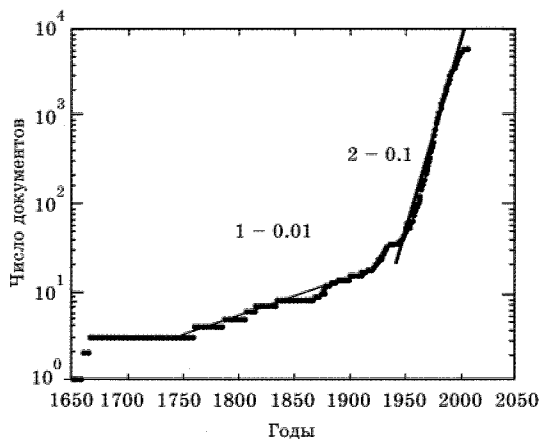


Рис. 6. Динамика публикаций по теоретической лингвистике

Точкой бифуркации стала середина XX в.: оздание электронных компьютеров дало стимул к интенсивным лингвистическим исследованиям для разработки языков программирования высокого уровня, что в итоге привело к скачкообразному изменению относительной скорости роста числа документов в этой области науки почти в десять раз.

\* \* \*

Приведенные примеры динамики информационных массивов демонстрируют как увеличение, так и уменьшение относительной скорости роста числа научных документов, что отражает качественные изменения в коммуникационных процессах в научном сообществе, происходящие вследствие внешних воздействий на тематические направления. Значение таких качественных изменений будет возрастать с расширением возможно-

стей электронных средств коммуникации в научном сообществе. По-видимому, эти явления можно связать с явлением диффузии новых научных идей в смежные тематические области [10].

Изменения динамики роста числа документов в предметных областях будут проявляться в будущем гораздо чаще; возможно, они станут обычным явлением. Это обусловлено значительно большими возможностями новых поколений ученых обращаться к различным источникам информации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов А. И., Черный А. И., Гиляревский Р. С. Научные коммуникации и информатика. — М.: Наука, 1976. — 432 с.
2. Иванов С. А. Стохастические фракталы в информатике. — М.: Паруса, 2003. — 132 с.
3. Arley N. On the theory of stochastic processes and their application to the theory of cosmic radiation. — New York: John Wiley & Sons, Inc., 1943. — 241 p.
4. Hurley K. A Gamma-Ray Burst Bibliography, 1972–2005. — Berkeley: UC Berkeley Space Sciences Laboratory, 2005. — URL: [www.ssl.berkeley.edu/ipn3/grb-biblio.pdf](http://www.ssl.berkeley.edu/ipn3/grb-biblio.pdf)
5. Price D. DE Solla. Little Science, Big Science. — New York: Columbia Univ. Press, 1963.
6. Pекacz J. T. Early Printed World Maps, 1200–1700 [Электрон. ресурс]. — URL: <http://www.dal.ca/~histwww/Home.htm>; Bibliography. — URL: <http://www.statcounter.com>
7. Soil Science History Bibliography [Электрон. ресурс]. — URL: <http://chiron.valdosta.edu/ecbrevik/HistoryBibliography.htm>
8. Nicholas J. Higham Nicholas J. Bibliography of Accuracy and Stability of Numerical Algorithms. — Second Edition. — SIAM, 2002. — URL: <http://www.ma.man.ac.uk/~higham/asna/acc-stab-num-alg-2ed.bib>
9. Bateman J. Bibliography on computational linguistics, systemic and functional linguistics, artificial intelligence and general linguistics [Электрон. ресурс]. — URL: <http://www.fb10.uni-bremen.de/anglistik/langpro/bibliographies/00.htm>
10. Брайчевский С. М., Ландэ Д. Б. Современные информационные потоки: актуальная проблематика [Электрон. ресурс]. — URL: <http://poiskbook.kiev.ua/index.html>

Материал поступил в редакцию 29.05.09.