

УДК 1:001

**ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОКОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ**

**Аноприенко А.Я.**

Донецкий национальный технический университет  
Кафедра компьютерной инженерии

*Аноприенко А.Я. Периодическая система развития компьютерных систем и перспективы нанокompьютеризации. В докладе представлены в виде периодической системы основные закономерности развития компьютерных систем. Кратко рассмотрены вытекающие из анализа периодической системы перспективы предстоящей нанокompьютеризации.*

Необходимость понимания и прогнозирования динамики развития компьютерных систем позволяет обеспечить максимальную эффективность исследовательских, проектных и эксплуатационных работ в области компьютерных наук и технологий.

На основе ряда авторских [1-12] и зарубежных [13-33] работ на текущий момент может быть предложена своеобразная периодическая таблица развития компьютерных систем, отражающая основные закономерности развития средств и методов компьютинга (рис.1).

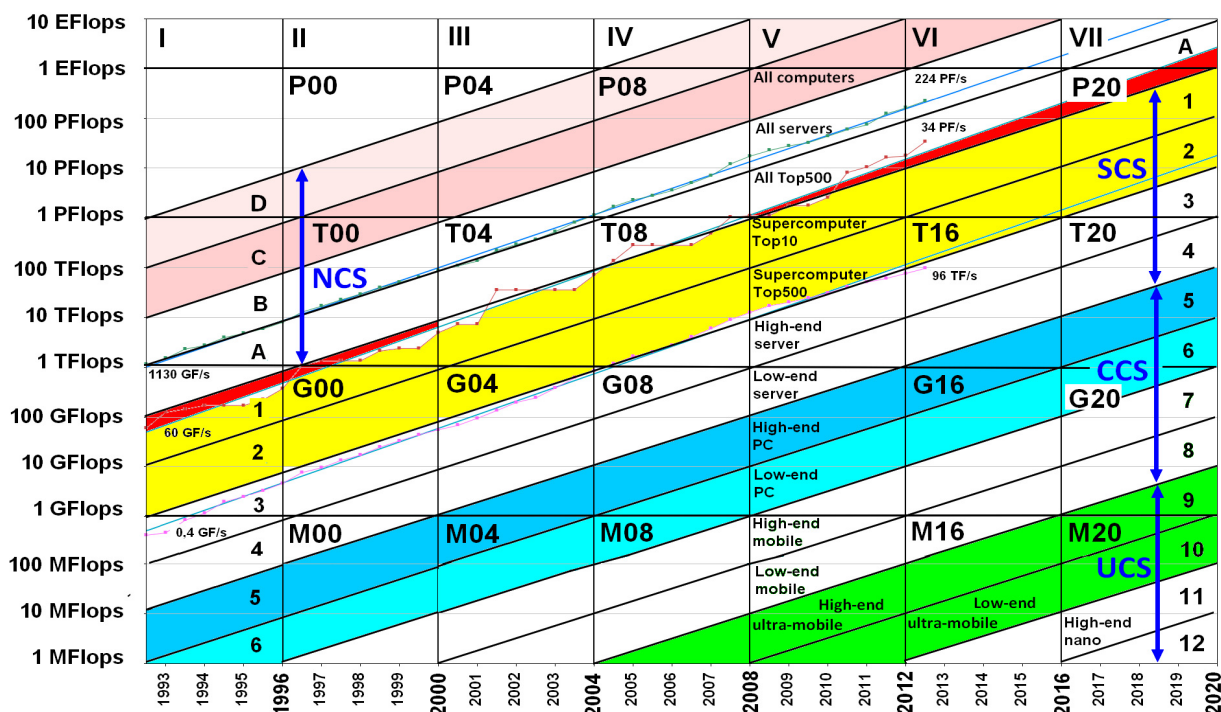


Рисунок 1 – Периодическая система роста производительности различных классов компьютерных систем

Основой для периодизации и классификации компьютерных систем является такой ключевой показатель как производительность. При этом могут выделены характерные группы классов: SCS (Server Computer Systems) – серверные компьютерные системы, к которым отнесены и суперкомпьютерные классы, включающие в себя наиболее производительные вычислительные серверы; CCS (Client's Computer Systems) – клиентские компьютерные системы; UCS (Ultra-mobile Computer Systems) – ультрамобильные и ультракомпактные компьютерные системы, включающие устройства «карманных» и более компактных форм-факторов. Все классы пронумерованы от 1 (наиболее мощные, как правило, единичные системы) до 12 (наиболее массовые наносистемы, появление которых прогнозируется ориентировочно в 2016-м году). По мере развития регулярно появляются новые классы – более компактные и массовые.

Добавлена также группа «сетевых классов» NCS (Network Computer Systems), представляющая собой потенциальное сетевое объединение ресурсов различных классов компьютерных систем: от Top500 суперкомпьютеров (класс А) до гипотетического суперкласса, объединяющего ресурсы всех существующих компьютерных систем и разного рода контроллеров (класс D).

С учетом того, что появление новых классов происходит примерно раз в 4 года, за которые производительность компьютеров в рамках одного класса увеличивается на порядок, целесообразно выделение характерных ячеек, ограниченных 4-летним диапазоном развития и производительностью в диапазоне трех порядков, объединяющих в каждом 4-летнем интервале 4 класса компьютерных систем. Структура каждой такой ячейки включает один класс, который за 4-летний период развития производительности выходит за пределы данной ячейки, 2 класса, развивающихся исключительно в пределах данной ячейки, и один класс, постепенно входящий в диапазон производительности, охватываемый данным классом. Обозначение таких ячеек целесообразно принять как состоящее из соответствующего буквенного символа (М – мегафлопсные системы, G – гигафлопсные системы, T – терафлопсные системы, P – петафлопсные системы) и двух цифр привязки к временной шкале, соответствующим двум последним цифрам завершающего года ячейки (при необходимости этот элемент обозначения может быть состоящим и из 4-х цифр обозначения года).

К данной периодической системе могут быть привязаны и различные прочие закономерности, описывающие изменение других характеристик компьютерных систем, в частности, закономерности

изменения стоимости и объемов производства компьютерных систем различных классов, представленные на рис. 2. В качестве примера на рисунке обозначены объемы производства различных классов компьютерных систем в 2010 году [20, с. 5]: 8 – Top10 суперкомпьютеров, 9 – Top500 суперкомпьютеров, 10 – 20 миллионов серверов, 11 – 350 миллионов настольных персональных компьютеров, 12 – 1,8 миллиарда мобильных устройств (90% которых могут быть отнесены к ультрамобильным в виде смартфонов и других устройств). Символом А обозначены 6 миллиардов ARM-процессоров, что в 20 раз больше общего количества произведенных в 2010 году 80x86-процессоров, большинство из 300 миллионов которых были использованы в серверных и настольных персональных системах. Большинство ARM-процессоров (со сложностью порядка 100 тысяч транзисторов против миллиарда в 80x86-процессорах) использованы во встроенных компьютерных системах, объем производства которых приблизился в 2010 году к 20 миллиардам.

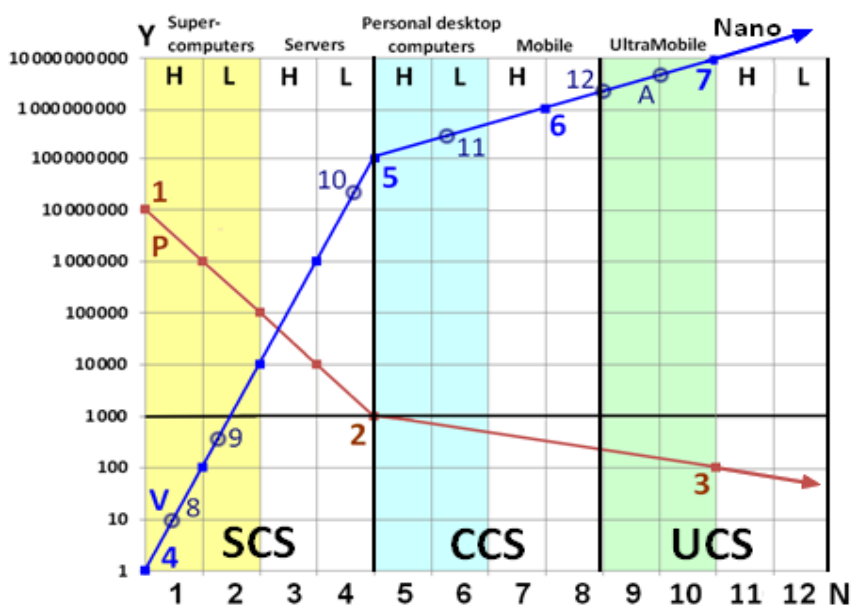


Рисунок 2 – Графики изменения стоимости (нисходящая ломаная P 1-2-3, для которой значения оси Y соответствуют стоимости в долларовом эквиваленте) и примерных объемов ежегодного производства (восходящая ломаная V 4-5-6-7, для которой значения оси Y соответствуют объемам производства в шт.) для различных классов (N) компьютерных систем. Графики представляют преимущественно усредненные значения соответствующих величин, реальный разброс которых может составлять плюс/минус порядок соответствующего значения.

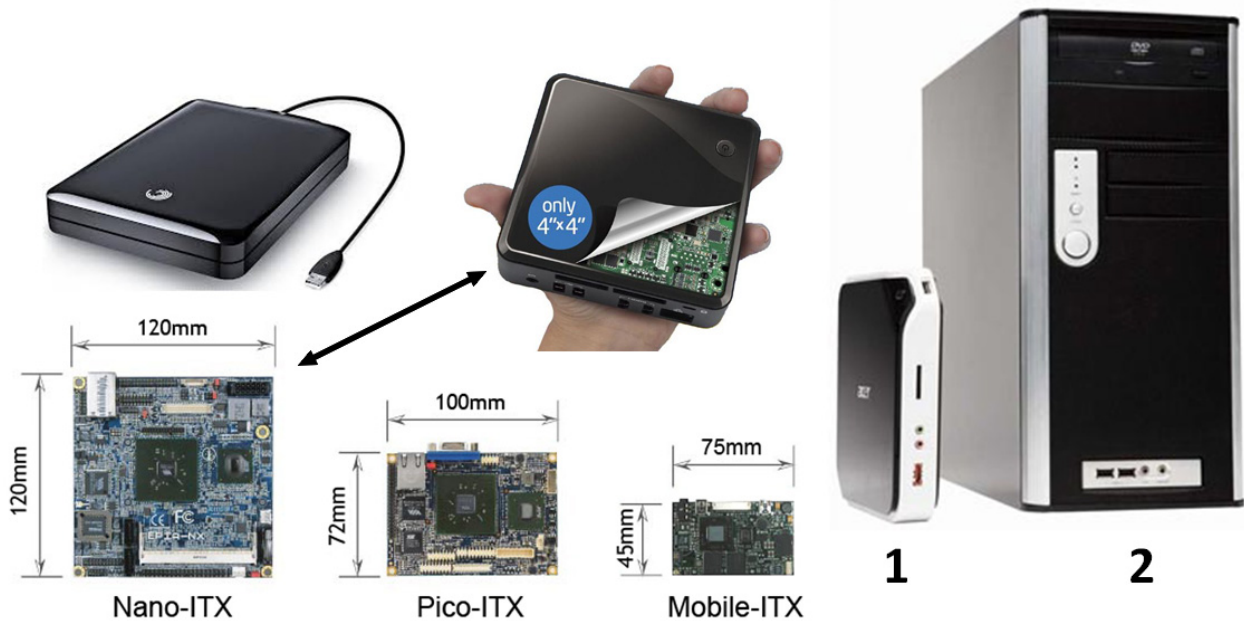


Рисунок 3 – Основные признаки поколения нанокomпьютеров: формфакторы Nano-ITX, Pico-ITX, Mobile-ITX... и внешняя память на базе компактных мобильных носителей (слева сверху). Справа для сравнения рядом с типичным нанокomпьютером (1) представлен корпус классического персонального компьютера (2).

Для классов компьютерных систем 5-12 действует правило массового производства: удвоение общего производства приводит к снижению стоимости на 10-15 %.

**Выпуск фирмой Интел в 2012 году системы NUC (Next Unit of Computer) можно считать началом развития 11-го класса – класса нанокomпьютеров (рис. 3).** В ближайшем будущем ожидается появление «разумной пыли» – десятков и сотен миллиардов беспроводных сенсорных нанокomпьютерных систем классов 12 и далее.

В 2015-2016 гг. технологические нормы при производстве процессоров преодолевают рубеж в 10 нм (рис. 4), что является основным признаком вступления в эпоху нанокomпьютеров и появления 12-го класса компьютерных систем.

Если действие закона Мура продлится примерно до 2050 года, то пределом технологического развития при производстве нанопроцессоров станут размеры транзистора примерно в 0,1 нм, что соизмеримо с размерами атома (рис. 5). Считается, что минимальный программируемый процессор должен содержать не менее 1 тысячи транзисторов (активных элементов), а, следовательно, его размеры будут порядка 1 нм, что соизмеримо с молекулами органических

веществ, например, глюкозы – основного продукта фотосинтеза, а также основного и наиболее универсального источника энергии для обеспечения метаболических процессов в организме человека и животных.

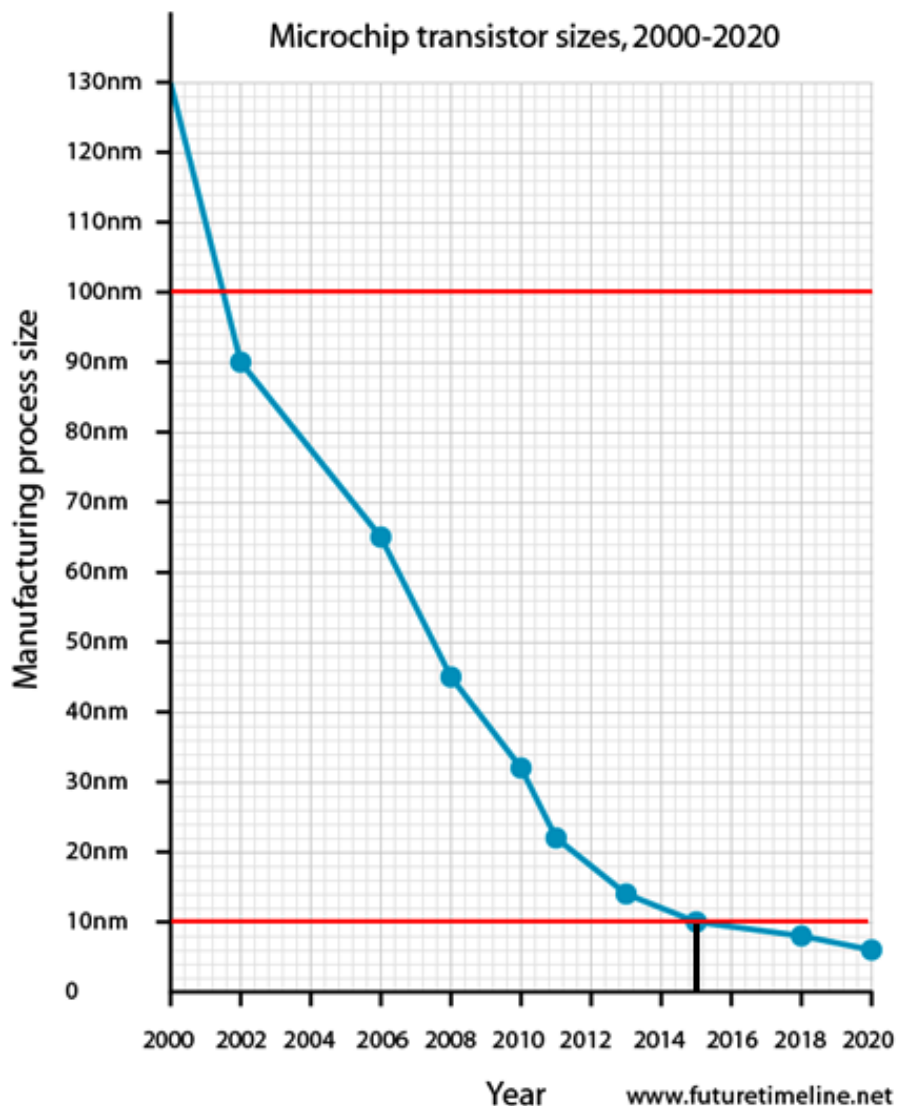


Рисунок 4 – Уменьшение размеров активных элементов (транзисторов) в процессорах с 2000 по 2020 год. С 2015 года начинается период единичных нанометров, что позволяет говорить о вступлении в эпоху нанокomпьютеров, основанных на процессорах с нанометровыми технологическими нормами.



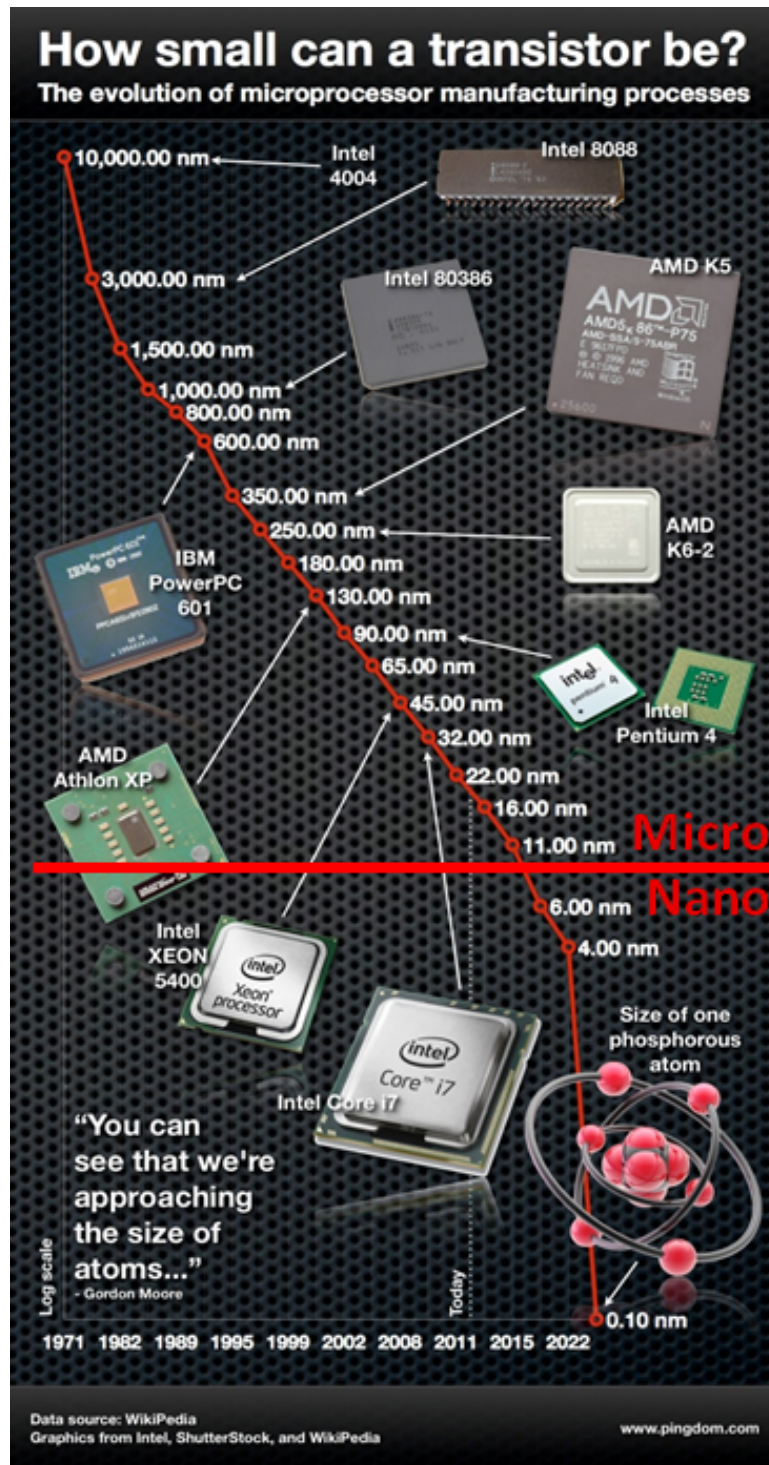


Рисунок 5 – Уменьшение размеров транзисторов определяет переход от эпохи микропроцессоров (выше горизонтальной красной черты) к эпохе нанопроцессоров (ниже красной черты): нанокompьютинг будет основан на технологических нормах в диапазоне от 10 нм до 0,1 нм (размер единичного атома).

### Выводы

В целом, с учетом работ [1-12], можно сделать вывод, что достаточно полная периодическая система развития компьютерных систем может быть сформирована на основе известных ранее и выявленных автором эмпирических закономерностей развития как компьютерных систем в целом, так и отдельных их компонент. Такая периодическая система позволяет достаточно хорошо объяснять динамику развития средств и методов компьютеринга в прошлом и уверенно прогнозировать их развитие в будущем. В частности, на основе периодической системы можно достаточно ясно представить динамику предстоящего развития зарождающегося сегодня класса нанокomпьютеров.

### Список литературы

1. Аноприенко А.Я. Система закономерностей развития средств и методов компьютеринга // Материалы V всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2014)» – 22-23 апреля 2014 г., Донецк, ДонНТУ, 2014. В 2-х томах. Т. 1. С. 11-23.
2. Аноприенко А.Я. Модели эволюции компьютерных систем и средств компьютерного моделирования // Материалы пятой международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика» 24-27 сентября 2013 года, Донецк, ДонНТУ, 2013. С. 403-423.
3. Аноприенко А.Я. Закономерности развития компьютерных систем // «Научная дискуссия: инновации в современном мире». №10 (18): Сборник статей по материалам XVIII международной заочной научно-практической конференции. – М.: Изд. «Международный центр науки и образования», 2013. – С. 19-29.
4. Аноприенко А.Я. Современный компьютеринг и программирование // Материалы IV всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2013)» – 24-25 апреля 2013 г., Донецк, ДонНТУ, 2013. В 2-х томах. Т. 1. С. 11-17.
5. Аноприенко А.Я. Будущее компьютерных технологий в контексте технической и кодо-логической эволюции // Вестник Инженерной Академии Украины. Теоретический и научно-практический журнал Инженерной Академии Украины. Выпуск 3-4, 2011. С. 108-113.
6. Аноприенко А.Я. Ноокомпьютеринг и будущее информационно-компьютерной инфраструктуры // Міжнародний науковий конгрес з розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та розбудови інформаційного суспільства в Україні, м. Київ, 17-18 листопада 2011 р. Тези доповідей. С. 12-13.
7. Аноприенко А.Я. Компьютерные науки и технологии: следующие 50 лет // Материалы II всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2011)» – 12-13 апреля 2011 г., Донецк, ДонНТУ, 2011. Т.1. С. 7-22.
8. Аноприенко А.Я., Иваница С.В. Постбинарный компьютеринг и интервальные вычисления в контексте кодо-логической эволюции. — Донецк: ДонНТУ, УНИТЕХ, 2011. 248 с.
9. Аноприенко А.Я. Вызовы времени и постбинарный компьютеринг // Информатика и компьютерные технологии / Материалы VI международной научно-технической конференции – 23-25 ноября 2010 г. Т. 1. Донецк, ДонНТУ. – 2010. С. 13-31.
10. Аноприенко А.Я. Компьютерные науки и технологии в прошлом, настоящем и будущем// Материалы V международной научно-технической

конференции «Информатика и компьютерные технологии» – 24-26 ноября 2009г., Донецк, ДонНТУ, 2009.С.15-26.

11. Аноприенко А.Я. Обобщенный кодо-логический базис в вычислительном моделировании и представлении знаний: эволюция идеи и перспективы развития // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» (ИКВТ-2005) выпуск 93: – Донецк: ДонНТУ, 2005. С. 289-316.

12. Аноприенко А.Я. Расширенный кодо-логический базис компьютерного моделирования / В кн. «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» (ИКВТ-97). Сборник научных трудов ДонГТУ. Выпуск 1. Донецк, ДонГТУ, 1997, с. 59-64.

13. Dutta S., Mia I. The Global Information Technology Report 2010–2011. Transformations 2.0. 10th Anniversary Edition. – Geneva: World Economic Forum. 2011. – 410 p.

14. Fuller S.H., Millett L.I. The Future of Computing Performance: Game Over or Next Level? – Washington, D.C. The National Academies Press. 2011. – 200 p.

15. Gantz J.F. The Expanding Digital Universe: A Forecast of Worldwide Information Growth Through 2010. – Framingham: IDC Information and Data, 2007. – 24 p.

16. Graham S.L., Snir M., Patterson C.A. Getting up to Speed: The Future of Supercomputing. – Washington, D.C. The National Academies Press. 2005. – 306 p.

17. Gray J. What Next? A Few Remaining Problems in Information Technology. 1998 Turing Lecture. <http://Research.Microsoft.com/~Gray>.

18. Gray J. What Next? A Dozen Information-Technology Research Goals. Microsoft Research Technical Report MS-TR-99-50. June 1999. 25 p.

19. Gray J., Reuter A. Transaction Processing: Concepts and Techniques. – San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1993. 1070 p.

20. Hennessy J.L., Patterson D.A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. Fifth Edition. – Elsevier, Inc. 2012. – 852 p.

21. Hilbert M. Mapping the dimensions and characteristics of the world's technological communication capacity during the period of digitization (1986 - 2007/2010). – Information document of 9-th World Telecommunication/ICT Indicators Meeting (WTIM-11). Mauritius, 7-9 December 2011. – 29 p.

22. Hilbert M., Lypez P. The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. – Science, APRIL 2011, VOL 332, N. 60. P. 60-65.

23. Lypez P., Hilbert M. Methodological and Statistical Background on The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information 2012. – United Nations ECLAC, Annenberg School of Communication. 2012. – 302 p.

24. Moore G. E. Cramming more components onto integrated circuits / Electronics, vol. 38, no. 8, Apr. 1965. P. 114–117.

25. Moore G. E. Progress in digital integrated electronics / Proc. of the International Electron Devices Meeting (IEDM'75), vol.21, 1975. P. 11–13.

26. Schaller R. Technological Innovation in the Semiconductor Industry: A Case Study of the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS). – George Mason University. Fairfax, VA. 2004. – 836 p.

27. Sharov A.A., Gordon R. Life Before Earth / Cornell University Library's online archives arXiv.org. Submitted on 28 Mar 2013. <http://arxiv.org/pdf/1304.3381v1>.



28. Short J.E., Bohn R.E., Baru C. How Much Information? 2010. Report on Enterprise Server Information. - San Diego: Global Information Industry Center, 2011. – 36 p.
29. Solomon R., Sandborn P., Pecht M. Electronic Part Life Cycle Concepts and Obsolescence Forecasting // IEEE Trans. on Components and Packaging Technologies, Dec. 2000. P. 707-717.
30. Sood A., James G.M., Tellis G.J., Zhu J. Predicting the Path of Technological Innovation: SAW Versus Moore, Bass, Gompertz, and Kryder. – Emory University, 2012. – 54 p.
31. Victor N. M., Ausubel J. H. DRAMs as model organisms for study of technological evolution // Technological Forecasting and Social Change. Volume 69, Issue 3, April 2002. P. 243–262.
32. Wu J., Shen Y., Kitt Reinhardt K., Szu H., Dong B. A Nanotechnology Enhancement to Moore's Law / Applied Computational Intelligence and Soft Computing, Volume 2013, Article ID 426962. 13 p.
33. Dean T - Scalable Neuroscience and the Brain Activity Mapping Project // Helen Wills Neuroscience Institute, April 19, 2013.