

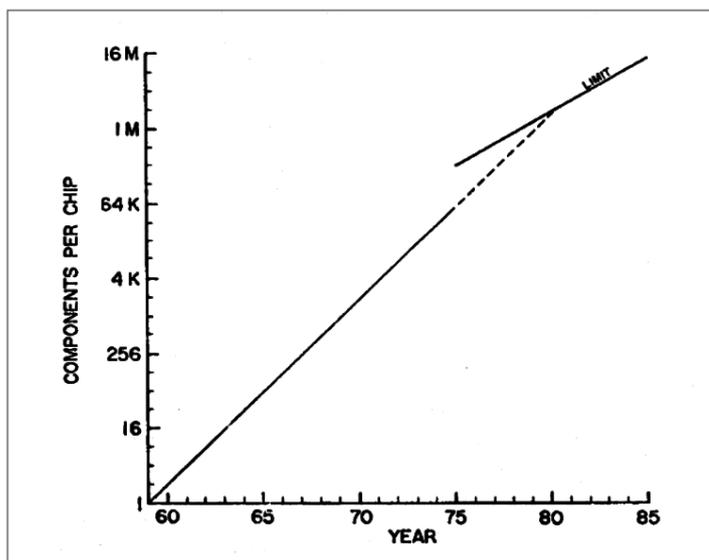
## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

*Аноприенко Александр Яковлевич*

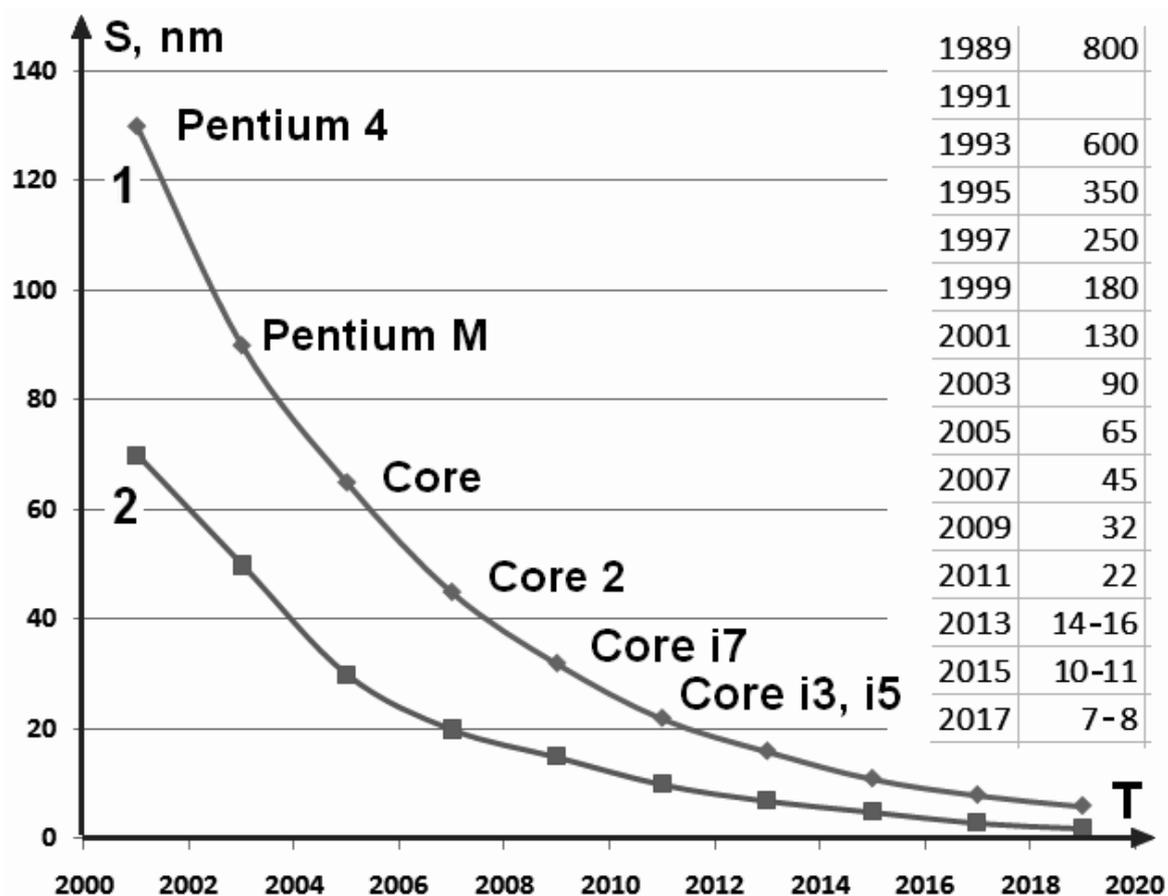
*канд. техн. наук, профессор*

*Донецкого национального технического университета, г. Донецк*

Гордон Мур, один из основателей корпорации Интел, в 1965 году впервые высказал предположение, что интенсивное развитие цифровой микроэлектроники позволит ежегодно удваивать количество активных элементов на кристалле [11]. Однако уже в 1975 году ему пришлось сделать существенное уточнение: в долговременной перспективе удвоение сложности интегральных схем возможно лишь каждые 2 года (рис. 1) [12], что в дальнейшем полностью подтвердилось (рис. 2). Соответственно, сегодня можно говорить как минимум о 2-х вариантах закона Мура (словосочетание «закон Мура» используется с 1970 года), которые можно обозначить в соответствии с годом их появления как «закон Мура 1965» и «закон Мура 1975». Эти 2 варианта формулировки данного закона фактически определили наиболее оптимистичную и наиболее пессимистичную оценки роста соответственно [4].



*Рисунок 1. Этим рисунком завершается доклад Гордона Мура 1975 года [12], в котором фактически декларируется, что десятилетие начального оптимизма «закона Мура 1965» (ежегодное удвоение [11]) закончилось и начинается период реалистичного «закона Мура 1975» (удвоение каждые 2 года)*



**Рисунок 2. «Закона Мура 1975» в действии: уменьшение проектных норм микропроцессоров фирмы Интел в среднем в 2 раза каждые 4 года (1 – серийные микропроцессоры, 2 - экспериментальные) в 1993-2018 гг. позволяет увеличивать количество активных элементов на той же площади кристалла в 2 раза каждые 2 года, но за счет увеличения размеров микропроцессоров обеспечивалось реальное увеличение количества транзисторов примерно в 2 раза каждые 1,5 года.**

Часто цитируемый интервал в 18 месяцев самим Гордоном Муром не рассматривался и связан с прогнозом его коллеги Давида Хауса из Intel, сделавшего в 80-е годы предположение о том, что производительность процессоров должна удваиваться каждые 18 месяцев из-за сочетания роста количества транзисторов и быстродействия каждого из них. В последующем последовали уточнения, что, возможно, реальный период удвоения производительности составляет 20 месяцев. Однако наиболее популярными по-

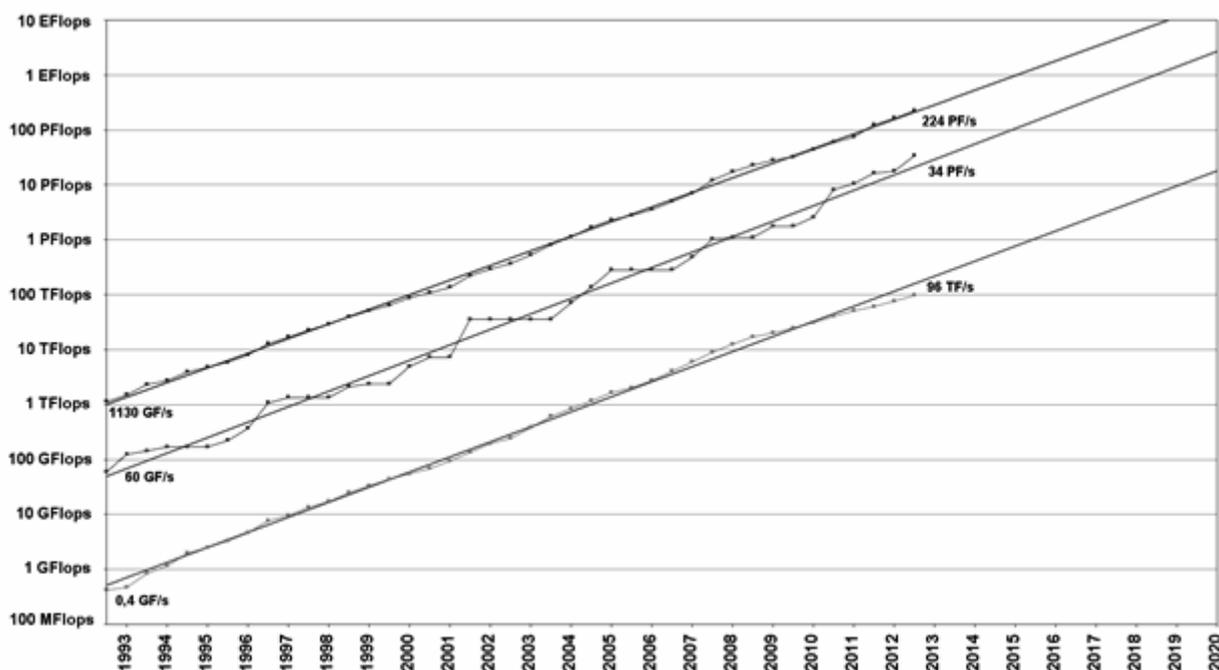
прежнему остаются весьма приближенные оценки удвоения каждые 2 или 1,5 года.

Накопленный к настоящему времени фактический материал позволяет существенно уточнить и обобщить эти оценки. Наиболее значимым источником при этом следует признать на сегодня список 500-т наиболее производительных суперкомпьютеров Top500 – проект, инициированный в 1993 году в университете Манхайма (Германия) и предполагающий публикацию дважды в год рейтинга и статистики по 500-м наиболее производительным суперкомпьютерам по результатам теста Linpack.

По результатам анализа динамики изменений в этом списке и сопоставления ее с данными из других источников ранее уже предпринимались попытки выявления общих закономерностей развития компьютерных систем [1-3]. В том числе были сформулированы предположения о том, что динамика развития суперкомпьютерных систем во многом определяет динамику развития всех классов компьютеров и на этой основе может быть построена своего рода периодическая система развития компьютерных систем различных классов.

Как показали последующие исследования, данная идея явилась достаточно продуктивной. Но для ее полной реализации потребовалось существенное уточнение целого ряда параметров. Наиболее актуальным в этом контексте явилось уточнение коэффициентов роста производительности. Особенно с учетом того, что этот рост по данным списка Top500 демонстрирует удивительную стабильность на протяжении десятилетий, что позволяет делать достаточно уверенные прогнозы на ближайшее будущее (рис. 3).

В результате анализа было выявлено, что существенно более точной оценкой роста производительности являются не традиционные варианты закона Мура, а гипотеза о 10-кратном росте производительности каждые 4 года, предполагающая достаточно точную оценку ежегодного коэффициента роста (ЕКР): 1,77828. Это примерно соответствует значению ЕКР  $\sqrt[4]{10} = 1,7725$  (таблица 1).



*Рисунок 3. Рост производительности суперкомпьютерных систем по данным списка Top500 за 1993-2013 гг. с прогнозом до 2020 года: система №1 в списке – средний график, система №500 в списке – средний график, суммарная производительность всех 500-т систем списка – верхний график*

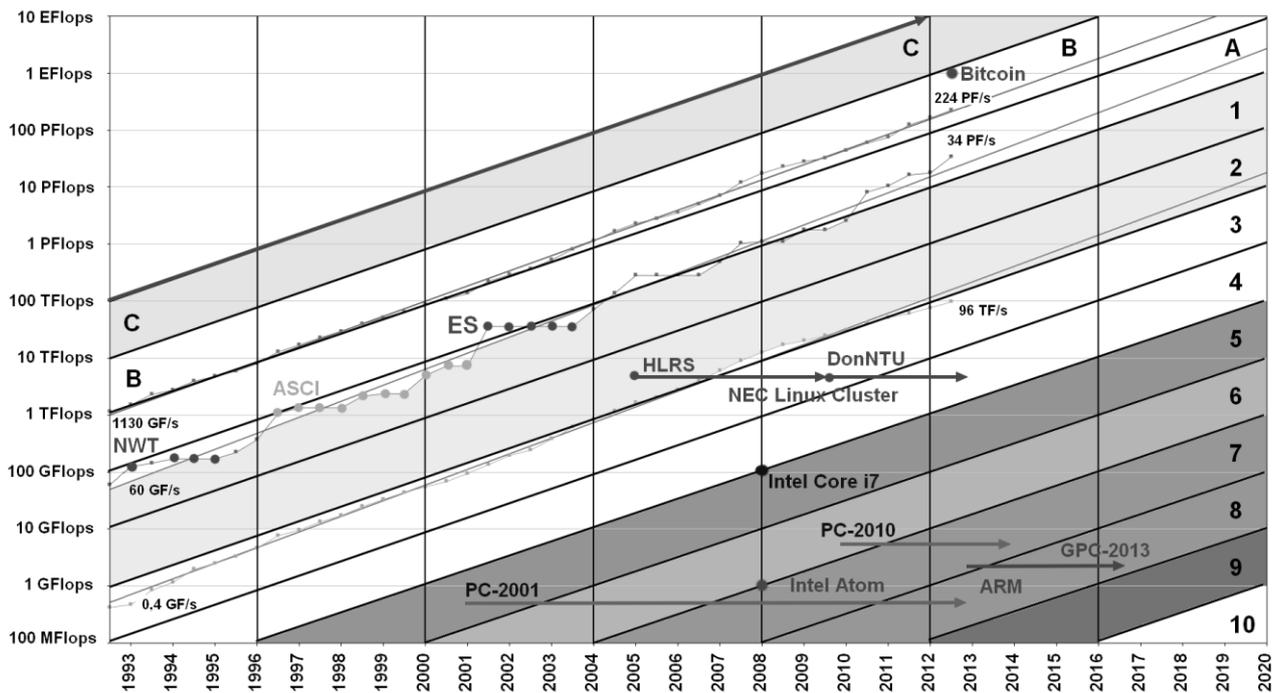
*Таблица 1.*

### Закон Мура и реальные коэффициенты роста

Закономерность	Основной период (лет)	Коэффициент роста за основной период	Ежегодный коэффициент роста (ЕКР)
Закон Мура 1965	1	2	2
Закон Мура 1975	2	2	$\sqrt{2} = 1,4$
Современный «закон Мура»	1,5	2	1.5874
<b>В 10 раз за 4 года</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>1,77828</b>
В $\pi$ раз за 2 года	2	$\pi$	$\sqrt{\pi} = 1,7725$

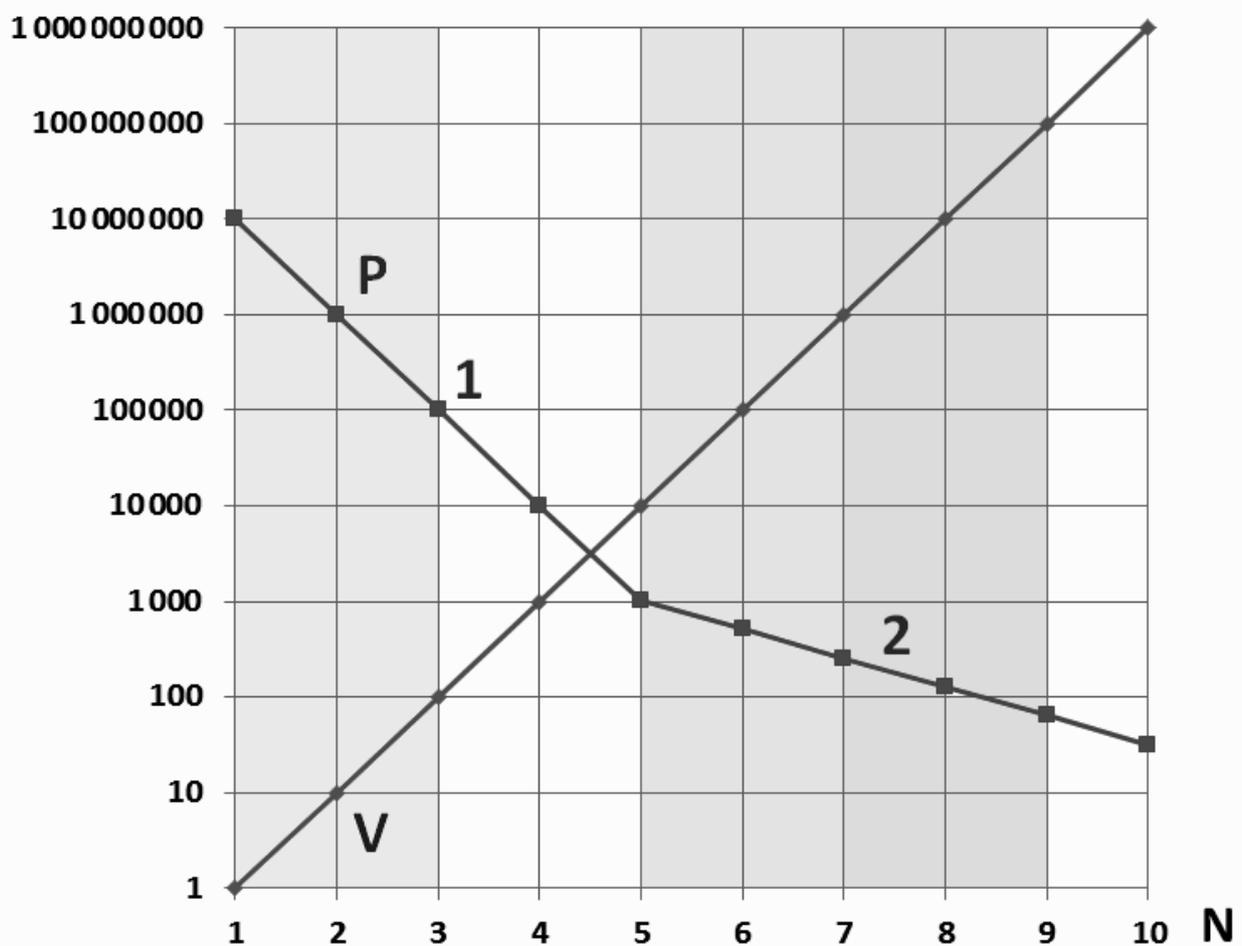
Учитывая, что производительность является основным параметром, характеризующим современные компьютерные системы, уточненные

коэффициенты роста производительности позволяют сформировать своеобразную периодическую систему основных закономерностей развития различных классов компьютерных систем (рис. 4).



**Рисунок 4. Периодическая система основных закономерностей роста производительности различных классов (представленных их номерами N) компьютерных систем в период с 1993 по 2018 гг.: 1 – Top50 суперкомпьютерных систем, 2 – Top500 суперкомпьютерных систем, 3 и 4 – серверные системы различных классов производительности (соответственно High-end и Low-end), 5 и 6 – персональные стационарные системы различных классов производительности, 7 и 8 – мобильные системы различных классов производительности, 9 и 10 – ультрамобильные системы различных классов производительности. А – суммарная производительность Top500 суперкомпьютерных систем (класс GRID-систем), В – суммарная производительность всех компьютерных систем с широкополосным подключением к Интернет (класс облачных систем), С – суммарная производительность всех подключенных к Интернет компьютерных систем.**

Основой для построения такой системы является 4-летний период, который характеризуется ростом производительности для различных классов систем примерно на порядок. За период с 1993 по 2020 год таких классов может быть выделено 10, которые целесообразно обозначить номером  $N$  начиная с класса наиболее производительных систем. В зависимости от значения  $N$  существенно меняются не только показатели производительности, но также и порядок стоимости ( $P$ ) и объем производства ( $V$ ) компьютерных систем соответствующего класса (рис. 5).

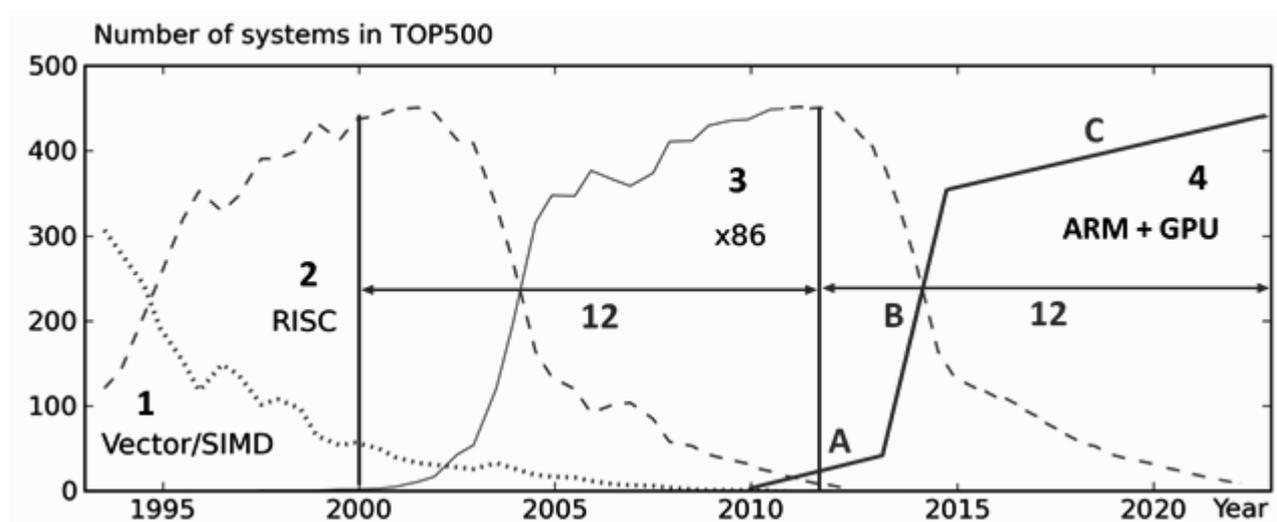


*Рисунок 5. Класс системы ( $N$ ) примерно определяет объем производства систем данного класса ( $V$ ) и их стоимость ( $P$ ).*

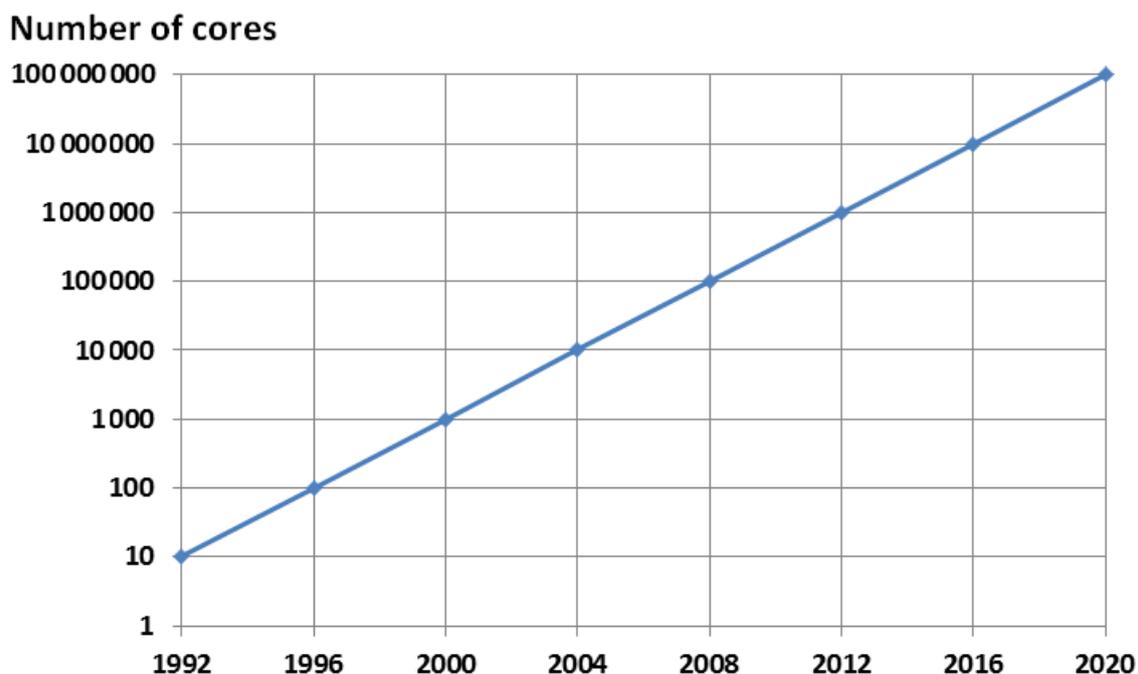
*Стоимостный график (шкала в данном случае может рассматриваться как долларовая) содержит 2 характерных участка: 1 – быстрое изменение стоимости для относительно малотиражных систем; 2 – относительно медленное изменение стоимости для массовых систем.*

Кроме этого могут быть выделены 3 класса своего рода надсистем, обозначенных буквами латинского алфавита (рис. 4). Производительность надсистем носит потенциальный характер и может быть получена лишь в случае их эффективного сетевого объединения в единый ресурс на базе GRID-технологий (наиболее характерных в случае интеграции суперкомпьютерных ресурсов [10]) или облачных технологий, интегрирующих ресурсы существенно более широкого класса компьютерных систем [9].

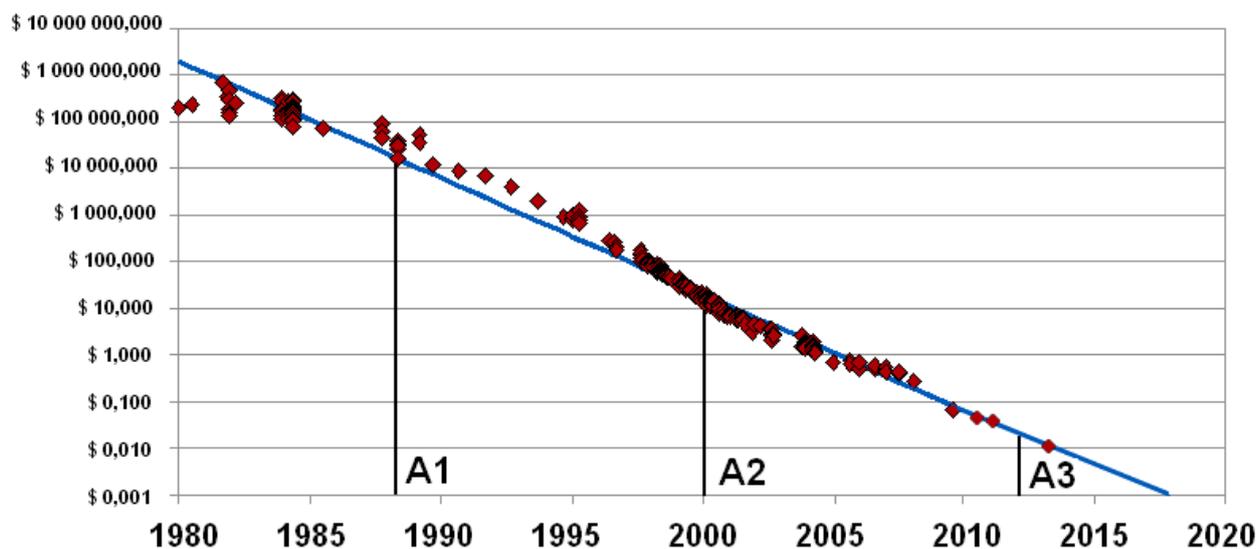
Как показал проведенный анализ, закономерности роста производительности тесно связаны и с другими закономерностями, определяющими развитие компьютерных систем и их компонентов (рис. 6-9).



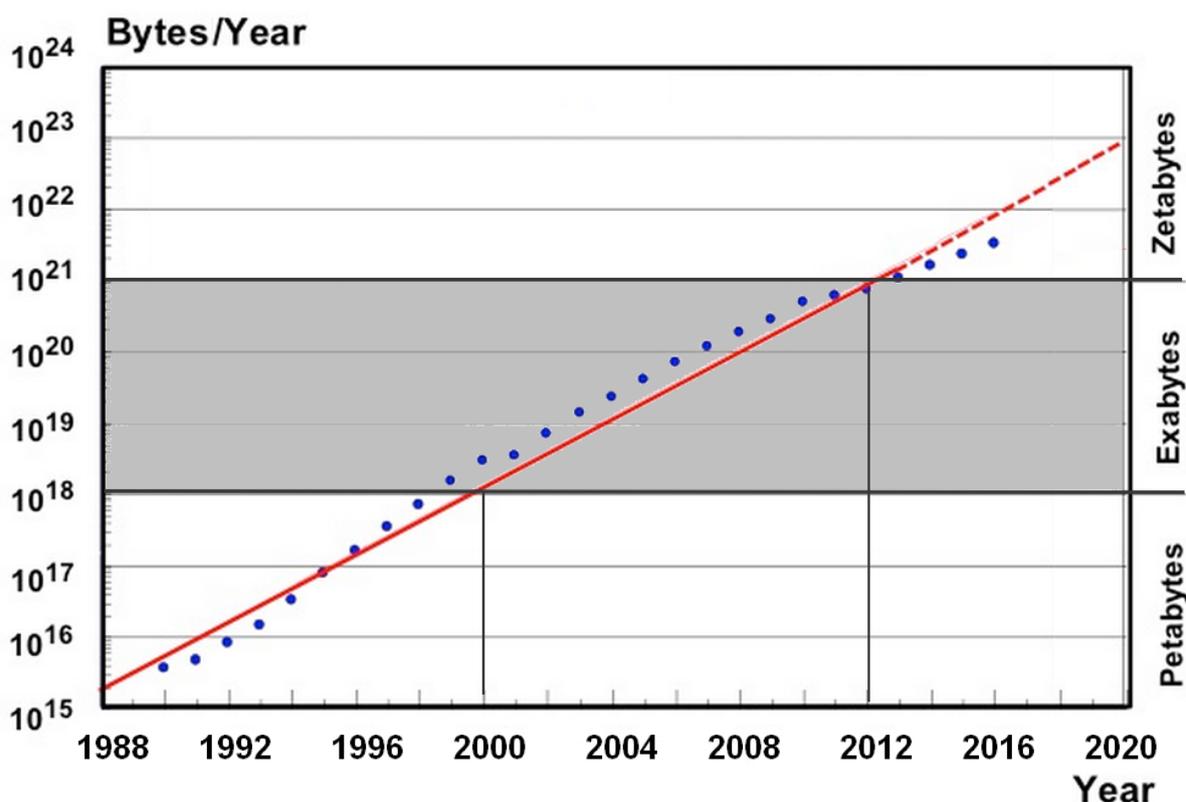
**Рисунок 6. Анализ списка Top500 позволяет выявить закономерность волнообразной смены преобладающих базовых архитектур с периодом примерно в 12 лет (графики за период 1993-2013 гг. построены по данным Top500). Линеаризация такой волны позволяет выделить 3 характерных участка: А – начальный рост (период формирования концептуальных основ новой архитектуры), В – основной рост (общее признание новой концепции и быстрое вытеснение систем предыдущей архитектуры), С – остаточный рост (период уверенного преобладания новой архитектуры).**



*Рисунок 7. Усредненное количество ядер в наиболее производительных суперкомпьютерных системах (для периода 1993-2013 по данным списка Top500): рост в тысячу раз каждые 12 лет или в 1,77828 раз ежегодно*



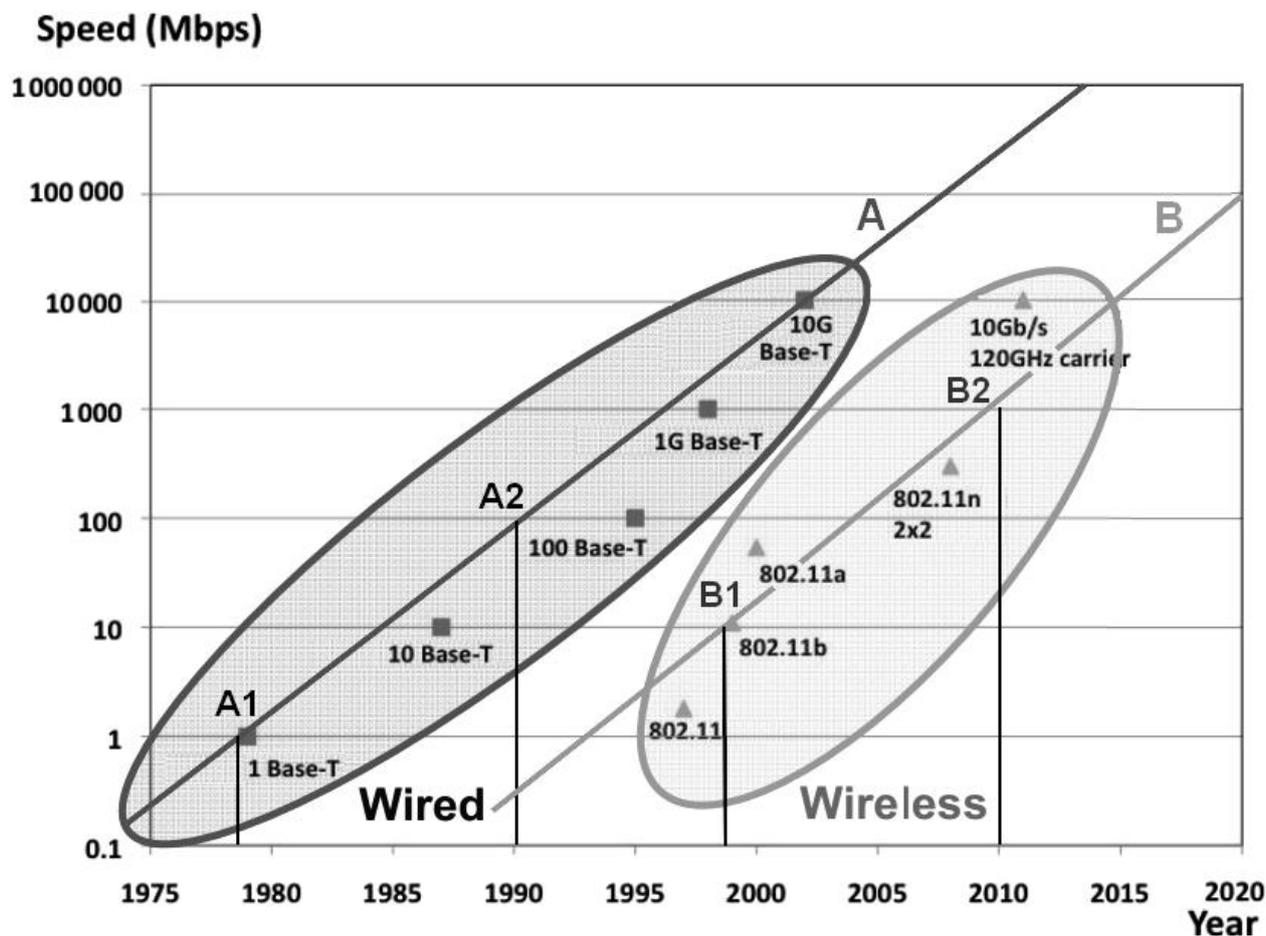
*Рисунок 8. Уменьшение стоимости хранения гигабайта информации на внешних носителях (на жестких дисках) 1982- 2020 гг.: в тысячу раз каждые 12 лет (см. интервалы A1-A2 и A2-A3) или на порядок каждые 4 года или в 1,77828 раз ежегодно*



*Рисунок 9. Глобальное ежегодное производство накопителей на жестких дисках, выраженное в виде их суммарной емкости в 1988- 2020 гг.: рост в тысячу раз каждые 12 лет или в 1,77828 раз ежегодно. После 2012 года суммарная емкость ежегодного производства жестких дисков начинает снижаться за счет перераспределения в пользу SSD-накопителей, но суммарная емкость накопителей этих 2-х видов продолжает сохранять прежние тенденции роста*

При этом чрезвычайно важной является тенденция все более тесной интеграции вычислительных ресурсов, что наиболее ярко выражено в динамике роста пропускной способности компьютерной сетевой инфраструктуры (рис. 10).

Фактически, речь идет о формировании единой глобальной информационно-вычислительной сети – своего рода нервной системы современной цивилизации. Эти процессы можно также рассматривать как становление ноосферы (новый этап компьютеринга в связи с этим наиболее целесообразно назвать ноокомпьютерингом) с присущими ей динамическими закономерностями [5-8].



*Рисунок 10. Периодическая система роста производительности проводных (wired) и беспроводных (wireless) систем компьютерной связи: рост на 2 порядка за 12 лет (см. периоды A1-A2 и B1-B2) с отставанием по производительности беспроводных сетей от проводных примерно на 12-15 лет*

Не исключено, что закономерности развития компьютерных систем являются частным случаем более общих закономерностей развития различных других процессов во Вселенной, в частности, эволюции жизни и генома как ее основы [13-14].

Есть основания также предполагать, что интенсивное развитие нанотехнологий позволит экстраполировать закон Мура и выявленные закономерности по меньшей мере до 60-х годов XXI века [15].

## Список литературы:

1. Аноприенко А.Я. Вызовы времени и постбинарный компьютеринг // Материалы VI международной научно-технической конференции «Информатика и компьютерные технологии» 23-25 ноября 2010 г. Т. 1. Донецк, ДонНТУ. – 2010. С. 13-31.
2. 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 2009 г., Донецк, ДонНТУ, 2009. С.15-26.
3. 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.
4. 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
5. Аноприенко А.Я. Нооритмы и время в информационную эпоху // «Время в зеркале науки». Специальный выпуск сборника научных трудов «Гуманитарные студии». Часть 1. – К.: Центр учебной литературы, 2010. С. 291-305.
6. Аноприенко А.Я. Нооритмы: комплексная эмпирическая модель ноосферной динамики // Международный междисциплинарный симпозиум «Нанотехнология и ноосферология в контексте системного кризиса цивилизации». Сборник тезисов докладов. Симферополь – Ялта, 4-10 января, 2011 г. С. 30-32.
7. Аноприенко А.Я. Нооритмы: модели синхронизации человека и космоса. – Донецк: УНИТЕХ, 2007. – 372 с.

8. Аноприенко А.Я. Цивилизация, ноосфера и нооритмы // «Ноосфера и цивилизация». Научный журнал. Выпуск 7 (10). – Донецк, 2009, с. 62-69.
9. Аноприенко А.Я., Коноплева А.П., Хасан Аль Абабех. Постбинарный компьютеринг, Grid и «облачные вычисления»: новые реальности компьютерного моделирования // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика» 7-9 октября 2009 года, Донецк, ДонНТУ, 2009. 6 С.
10. Foster I., Kesselman C. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Morgan Kaufmann Publishers, 1998. – 701 p.
11. Moore G. E. Cramming more components onto integrated circuits / Electronics, vol. 38, no. 8, Apr. 1965. P. 114–117.
12. Moore G. E. Progress in digital integrated electronics / Proc. of the International Electron Devices Meeting (IEDM'75), vol.21, 1975. P. 11–13.
13. Sharov A.A. Genome increase as a clock for the origin and evolution of life / Biology Direct. Published 12 June 2006. – 10 p.
14. 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>.
15. 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.

---

### **Как правильно ссылаться на данную статью:**

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.