

Сметана Владимир Васильевич,
кандидат философских наук, директор,
АНО НИИ «ЦИФРОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТ»

SMETANA VLADIMIR,
Candidate of philosophical sciences, PhD,
DIGITAL INTELLIGENCE RESEARCH INSTITUTE

**ЗАКОН МУРА: ФИЛОСОФСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДЕТЕРМИНИЗМА, САМОИСПОЛНЯЮЩЕГОСЯ
ПРОРОЧЕСТВА И ПРЕДЕЛОВ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО РОСТА**
**MOORE'S LAW: A PHILOSOPHICAL STUDY OF TECHNOLOGICAL
DETERMINISM, SELF-FULFILLING PROPHECY,
AND THE LIMITS OF EXPONENTIAL GROWTH**

Аннотация. Закон Мура представляет собой одну из центральных дихотомий современной технологической эры. С одной стороны, он функционирует как эмпирическое наблюдение, которое со временем приобрело мифологическую силу, сопоставимую с физическим законом. С другой стороны, он является мощным социальным и экономическим механизмом, который не столько описывал, сколько активно формировал реальность, направляя развитие целой отрасли на протяжении более полувека. Таким образом, «Закон» Мура – это не просто технический прогноз, а сложный социотехнический феномен, чье происхождение, функционирование и постепенное угасание заслуживают глубокого философского осмысления.

Abstract. Moore's Law represents one of the central dichotomies of the modern technological era. On the one hand, it functions as an empirical observation that, over time, has acquired mythological power comparable to a physical law. On the other hand, it is a powerful social and economic mechanism that has not so much described as actively shaped reality, guiding the development of an entire industry for over half a century. Thus, Moore's Law is not simply a technical prediction, but a complex sociotechnical phenomenon whose origins, functioning, and gradual demise deserve profound philosophical reflection.

Ключевые слова: Закон Мура, технологический детерминизм, самоисполняющееся пророчество, экспоненциальный рост, полупроводниковая промышленность, техно-экономический принцип, прогрессивное устаревание, Закон Рока, пост-муроуская эпоха, социотехнический феномен.

Keywords: Moore's Law, technological determinism, self-fulfilling prophecy, exponential growth, semiconductor industry, techno-economic principle, progressive obsolescence, Doom's Law, post-Moore era, sociotechnical phenomenon.

Глава 1: Рождение Предсказания

Закон Мура возник не как великая научная теория, а как pragматичная экономическая экстраполяция, сделанная в уникальном историческом контексте. Цифровая революция, катализатором которой стало изобретение транзистора в Bell Labs в 1947 году, привела к бурному росту полупроводниковой промышленности, особенно в районе залива Сан-



Франциско, где и работал Гордон Мур. Впервые он публично озвучил свои идеи на заседании секции Электрохимического общества (ECS) в Сан-Франциско в конце 1964 года, незадолго до публикации своей знаменитой статьи.

19 апреля 1965 года журнал *Electronics Magazine* опубликовал четырехстраничную статью Мура под названием «Втискивая больше компонентов в интегральные схемы» [1]. На тот момент Мур занимал должность директора по исследованиям и разработкам в компании Fairchild Semiconductor. Его прогноз был основан на крайне ограниченном наборе данных – всего на пяти точках, отражающих количество компонентов на интегральной схеме с 1959 по 1964 год. Экстраполируя эту тенденцию, он предсказал, что к 1975 году на одном чипе можно будет разместить 65 000 компонентов, что соответствовало удвоению их числа каждый год.

Десять лет спустя, в 1975 году, на заседании IEEE International Electron Devices Meeting, Мур, уже будучи сооснователем Intel, пересмотрел свой прогноз. Он отметил, что темпы роста начали замедляться из-за усложнения технологий, и предсказал, что удвоение числа компонентов будет происходить не каждый год, а каждые два года [2]. Именно эта двухлетняя периодичность стала канонической и наиболее цитируемой версией Закона Мура.

Фундаментально важно, что Закон Мура с самого начала был не просто технологическим, а техно-экономическим принципом. Его основой было не то, что технически возможно, а то, что экономически оптимально. Ключевая фраза в его оригинальном анализе — «сложность при минимальной стоимости компонентов» (*complexity for minimum component costs*) [1]. Мур анализировал точку, в которой стоимость производства одного компонента на чипе минимальна. Если делать компоненты слишком плотными, процент брака растет, и стоимость рабочего чипа увеличивается. Если же размещать их слишком редко, площадь кристалла используется неэффективно.

Таким образом, «Закон» описывал движущуюся «золотую середину» на кривой производственных затрат. Он предсказывал траекторию экономической эффективности, а не просто физической плотности. Это переосмысление показывает, что двигателем прогресса была не чистая наука, а постоянный поиск экономической выгоды, что и объясняет, почему этот принцип стал таким мощным ориентиром для всей индустрии.

Глава 2: Экспонента как двигатель мысли

Закон Мура стал мощным инструментом мышления, поскольку он «одомашнил» непостижимо быстрый технологический прогресс, превратив его в предсказуемый и управляемый процесс. В его основе лежит концепция экспоненциального роста – явления, которое человеческий мозг интуитивно воспринимает с трудом. Оригинальный график Мура, построенный на логарифмической шкале, наглядно демонстрировал эту закономерность: экспоненциальный рост на нем выглядел как прямая линия, что делало будущее визуально предсказуемым [1].

Последствия этого экспоненциального роста были колossalны. Он лежал в основе появления персональных компьютеров, интернета, мобильной связи и, в конечном итоге, искусственного интеллекта. Этот рост проявлялся не только в увеличении количества транзисторов, но и в связанных с ним метриках: росте вычислительной мощности, увеличении емкости памяти (RAM и флеш-памяти), улучшении сенсоров и даже увеличении числа пикселей в цифровых камерах, при одновременном снижении стоимости хранения данных и повышении энергоэффективности.

С философской точки зрения, Закон Мура функционировал как когнитивный артефакт, который сделал будущее исчислимым. В условиях хаотичного и стремительного развития технологий он предоставил простую и запоминающуюся эвристику, которая позволила целой экосистеме – инженерам, инвесторам, маркетологам и потребителям – синхронизировать свои ожидания и действия. Отрасль, для которой требовалось долгосрочное планирование



многомilliардных инвестиций в строительство заводов (фабов) и научные исследования, получила простой и понятный ориентир. Закон Мура свел сложную многофакторную проблему прогнозирования к одной переменной: «удвоение каждые два года». Это стало общим знаменателем, общим «ритмом» для всей индустрии. Эта простота позволила инвесторам оценивать риски, инженерам – ставить конкретные цели, а разработчикам программного обеспечения – создавать продукты для оборудования, которое еще не существовало, будучи уверенными, что оно появится в срок.

Таким образом, Закон Мура не просто предсказывал будущее; он создавал общую временную структуру, превращая потенциально хаотичную революцию в упорядоченный, почти ритуальный процесс инноваций.

Глава 3: Закон как дорожная карта и экономический двигатель

Превращение Закона Мура из наблюдения в самоисполняющееся пророчество – один из самых ярких примеров социального конструирования технологии. Это произошло не из-за мистической веры, а через создание системы конкурентного принуждения и отраслевой координации.

Механизм этого пророчества был закреплен на институциональном уровне. Отраслевые организации, такие как Semiconductor Industry Association, начали публиковать технологические дорожные карты, которые формально закрепляли темп, заданный «Законом», в качестве официальной цели для всех участников рынка [3]. Это создало огромное давление на компании. Как выразился сам Мур, «каждый в отрасли признает, что, если вы не будете придерживаться этой кривой, вы отстанете». В результате, Закон Мура превратился из простого прогноза в мощный инструмент конкуренции, заставляя производителей вкладывать огромные средства в исследования и разработки, чтобы не уступить соперникам.

Этот процесс можно описать как создание «динамического равновесия»: устойчивой модели взаимодействия, при которой рациональные игроки продолжают делать рискованные и дорогостоящие инвестиции, чтобы не проиграть, тем самым поддерживая саму модель и подтверждая ее предсказательную силу. Пророчество было реализовано через механизм экономического принуждения, а не простого консенсуса. Термин «самоисполняющееся пророчество» может звучать пассивно, но реальная динамика была гораздо более жесткой. Как ярко описал ее исследователь из AT&T Bell Laboratories Эндрю Одлызко: «Руководство не говорит исследователю: «Вы лучший, кого мы смогли найти, вот вам инструменты, пожалуйста, идите и найдите что-то, что позволит нам обойти конкурентов». Вместо этого позиция такова: «Либо вы и ваши 999 коллег удвойте производительность наших микропроцессоров в следующие 18 месяцев, чтобы не отстать от конкуренции, либо вас уволят»» [4]. Это не вдохновение, а ультиматум. В условиях жесткой конкуренции ни одна компания не могла позволить себе игнорировать заданный темп, поскольку была уверена, что конкуренты ему следуют. Это создало ситуацию, подобную «гонке вооружений», где доминирующей стратегией для всех стало вложение огромных ресурсов для поддержания темпа.

Таким образом, «Закон» был не просто общей верой, а жесткой рыночной структурой, которая принуждала участников рынка действовать так, чтобы подтверждать его истинность, что и объясняет его поразительную устойчивость на протяжении десятилетий.

Глава 4: Социокультурные последствия: оптимизм и устаревание

Закон Мура породил глубокий культурный парадокс. С одной стороны, он культивировал беспрецедентный технологический оптимизм. Сам Мур с юмором называл свой закон «нарушением закона Мерфи», где «все становится лучше и лучше» [1]. Это предсказание сформировало у общества устойчивые ожидания постоянного улучшения технологий и дало уверенность стартапам для инвестиций в электронику, зная, что вычислительная база для их инноваций будет неуклонно расти.



С другой стороны, этот же неумолимый темп прогресса укоренил в потребительской экономике цикл запланированного устаревания. Постоянное удвоение мощности «гарантировало быстрое устаревание большинства потребительских электронных устройств». Потребители чувствовали себя «вынужденными» регулярно заменять свои персональные компьютеры, а циклы обновления смартфонов стали еще короче. Этот процесс тесно связан с бизнес-стратегией запланированного устаревания, когда продукты целенаправленно разрабатываются с ограниченным сроком службы для стимуляции будущего спроса. Закон Мура стал естественным и мощным двигателем этого процесса в ИТ-индустрии.

Это привело к возникновению уникальной формы «прогрессивного устаревания». В отличие от классического запланированного устаревания, когда вещь просто ломается, устройства, созданные в эпоху Закона Мура, не столько выходили из строя, сколько становились культурно и функционально неадекватными. Новое программное обеспечение разрабатывалось с расчетом на возможности следующего поколения оборудования, делая старые устройства медленными и неспособными поддерживать современные функции. Это породило темпоральный парадокс потребительства: долгосрочная вера в светлое технологическое будущее подпитывалась краткосрочной неудовлетворенностью настоящим. Покупка нового гаджета стала актом не просто потребления, а участия в прогрессе, ритуалом, подтверждающим веру в технологическое будущее. Этот парадокс – вера в будущее, обесценивающая настоящее – стал мощнейшим двигателем потребительской экономики конца XX и начала XXI века.

Глава 5: Стена реальности: физические и экономические барьеры

«Конец» Закона Мура – это не внезапное событие, а процесс постепенной фрагментации его обещаний, вызванный столкновением с фундаментальными физическими и экономическими пределами. Сам Гордон Мур еще в 2005 году признавал, что «материалы состоят из атомов, и это фундаментальное ограничение, и оно не так уж далеко», а позже предсказывал, что закон исчерпает себя примерно к 2025 году [3].

Физические пределы становятся очевидными, когда размеры транзисторов приближаются к атомарным масштабам (несколько нанометров). На этом уровне начинают доминировать законы квантовой механики, а не классической физики.

- Квантовое туннелирование: Электроны начинают «просачиваться» через изоляционные барьеры, которые в классическом мире должны их сдерживать. Этот эффект приводит к утечкам тока, увеличению энергопотребления и ошибкам в вычислениях, подрывая надежность транзисторов [5].

- Тепловыделение (Power Wall): По мере увеличения плотности транзисторов растет и количество тепла, выделяемого на единицу площади. Примерно в 2005 году прекратило действовать так называемое «масштабирование Деннарда», которое гласило, что плотность мощности остается постоянной при уменьшении размеров транзисторов [6]. После этого простое увеличение тактовых частот стало невозможным из-за перегрева, что привело к переходу на многоядерные архитектуры.

Экономические пределы не менее серьезны. Закон Рока (Rock's law) или второй закон Мура, сформулированный в середине 90-х годов Юджином Мейераном и утверждающий, что стоимость фабрик по производству полупроводников аналогично закону Мура удваивается примерно каждые 4 года [7]. Это делает дальнейшую миниатюризацию экономически непомерно дорогой. Принцип «меньше значит дешевле» перестал работать; теперь для производства более совершенных чипов требуются колоссальные капиталовложения, которые могут позволить себе лишь несколько компаний в мире.

Таким образом, «смерть» Закона Мура – это, по сути, распад тройственного союза, который лежал в его основе: 1) больше транзисторов, 2) выше производительность и 3) ниже



стоимость. В «золотой век» закона эти три аспекта были неразрывно связаны. Телловая стена разорвала связь между плотностью и скоростью одного ядра. Закон Рока разорвал связь между плотностью и стоимостью. В результате индустрия все еще может увеличивать плотность транзисторов (например, с помощью 3D-интеграции), но это уже не дает «бесплатного» прироста производительности и не всегда приводит к снижению стоимости. «Закон» не умер, он распался на составляющие, каждая из которых теперь представляет собой отдельную, сложную инженерную и экономическую проблему.

Заключение.

Закон Мура был не просто технологическим прогнозом, а центральным мифом эпохи цифрового оптимизма. Он определил наше понимание прогресса как предсказуемого, экспоненциального и, казалось бы, неизбежного. Его постепенное угасание – это не только техническая проблема, но и глубокий культурный сдвиг. Он знаменует конец эры «бесплатного обеда» в приросте производительности, когда разработчики программного обеспечения могли просто ждать, пока оборудование станет быстрее, чтобы решить проблемы с производительностью. Теперь бремя инноваций все больше ложится на программное обеспечение, алгоритмы и архитектуру систем.

Пост-муровская эпоха заставляет нас отказаться от идеи единого технологического детерминизма и принять более сложную, неопределенную и многообразную модель будущего. Прогресс больше не гарантирован единым «законом», а должен быть завоеван на множестве различных и часто не связанных между собой фронтов. Наследие Закона Мура – это не столько точность его предсказаний, сколько тот мир, который был построен на вере в них. Он оставил нам не только смартфоны и интернет, но и глубокие вопросы о природе прогресса, взаимосвязи технологий и общества, а также о пределах экспоненциального роста в конечном физическом мире.

Список литературы:

1. Gordon E. Moore, “Cramming More Components onto Integrated Circuits,” *Electronics*, April 19, 1965. URL: <https://www.cs.utexas.edu/~fussell/courses/cs352h/papers/moore.pdf> (дата обращения: 11.11.2025)
2. G. E. Moore, “Progress in Digital Integrated Electronics.” © 1975 IEEE URL: https://www.eng.auburn.edu/~agrawvd/COURSE/E7770_Spr07/READ/Gordon_Moore_1975_Speech.pdf (дата обращения: 11.11.2025)
3. Moore, Gordon (2006). "Chapter 7: Moore's law at 40" (PDF). In Brock, David (ed.). *Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation*. Chemical Heritage Foundation. ISBN 978-0-941901-41-3. URL: https://web.archive.org/web/20160304050107/http://www.chemheritage.org/Downloads/Publications/Books/Understanding-Moores-Law/Understanding-Moores-Law_Chapter-07.pdf (дата обращения: 11.11.2025)
4. The Space Review: "Permission to believe" in a Moore's Law for space launch? URL: <https://thespacereview.com/article/180/2> (дата обращения: 11.11.2025)
5. Razavy, Mohsen. *Quantum theory of tunneling*. 2003. River Edge, NJ ; Singapore : World Scientific. ISBN 978-981-256-488-7.
6. Streetman, Ben G.; Banerjee, Sanjay Kumar (2016). *Solid state electronic devices*. Boston: Pearson. p. 341. ISBN 978-1-292-06055-2. OCLC 908999844.
7. Аноприенко, А. Я. Закономерности развития компьютерных технологий и обобщенный закон Мура / А. Я. Аноприенко // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2016. – № 2(2). – С. 3-17. – EDN XEEEDV.

