

Новые закономерности динамики технологических революций и экспоненциальной эволюции

Причина Ольга Сергеевна,
д. э. н., профессор,
профессор кафедры «финансы и кредит»
Российского государственного социального университета
olgaprichina@mail.ru

Орехов Виктор Дмитриевич,
канд. техн. наук,
директор научно-образовательного центра
Международного института менеджмента ЛИНК,
vorehov@yandex.ru

Горшенин Владимир Петрович,
д. э. н., профессор
советник ген. директора АО «НПО Лавочкина»
gorvp.58@mail.ru

Аннотация: В настоящее время мир стоит на пороге новой технологической революции, но какой она будет и какова система этих революций? Ряд авторов по-разному интерпретируют происходящие изменения в мире технологий и направления дальнейшего их развития [1–3]. В данной работе ставится задача исследовать закономерности динамики промышленных революций и сопутствующей им экспоненциальной эволюции технологий.

Методология исследования базируется на математическом анализе работ предыдущих авторов, в том числе на использовании исторического метода. Выявляются характерные особенности рассматриваемого явления и их количественные характеристики, формулируются гипотезы о возможных закономерностях. Далее осуществляется математическая обработка имеющихся данных и выявляются новые взаимосвязи между параметрами. Затем осуществляется сравнение полученной математической закономерности с рассмотренными ранее данными различных авторов и определяется степень их согласования. При анализе закономерностей экспоненциальной эволюции производится математическое моделирование ключевых параметров соответствующих промышленных эпох.

Выявлены новые закономерности динамики технологических революций. Показано, что даты этих революций выражаются геометрической прогрессией $T_n = 50 + 1970 \cdot (1 - 2^{-n/2})$. Технологические революции попарно связаны, и

промежутки времени между парами отличаются в два раза. Изучен феномен экспоненциальной эволюции характерных показателей революций, причем изменение этих показателей на протяжении пары технологических эпох описывается единой экспонентой: 1896, 1932 годы (производство электроэнергии) и 1957, 1975 годы (закон Мура и производительность суперкомпьютеров).

Результаты исследования могут быть использованы, прежде всего, в сфере прогнозирования и долгосрочного стратегического планирования развития науки и техники. Ввиду очень высокой значимости полученных результатов и наличия альтернативных мнений важно также провести исследования по разносторонней проверке полученных результатов и гипотез.

Точная идентификация направленности промышленных революций важна для экономики, поскольку дает ориентиры изобретателям, инноваторам, инвесторам и законодателям в их деятельности по промышленному развитию. Отсутствие таких ориентиров приводит к задержке темпов роста соответствующей технологии, стагнации общественного развития и потерям, исчисляющимся многими триллионами долларов.

В разных странах процессы осознания лидирующих направлений технологического развития и освоения новых технологий идут с различной скоростью [6, 89-93]. Отстающим приходится приобретать дорогие инновационные продукты у более развитых стран, а самим заниматься производством более дешевых товаров и услуг, характерных для предыдущих технологических эпох [7, 64-67]. В результате эти страны более бедны. Поэтому, с точки зрения эффективности экономики труда, важно правильно понимать динамику технологических революций и актуальные направления их движения.

Ценность данной работы заключается в том, что она нацелена на количественную оценку происходящих технологических изменений и дает основания для отличия революционных изменений от экспоненциальной эволюции. Работа может быть использована специалистами в области экономики труда для прогнозирования и планирования роста ВВП на душу населения с учетом будущих радикальных изменений в области технологического развития и формирования экономики знаний.

Ключевые слова: технологические революции, экспоненциальный рост, эволюция, мегатренд, промышленная революция, знание.

New regularities in the dynamics of technological revolutions and exponential evolution

Pricina Olga Sergeevna,
Doctor of Economics, Professor,
professor Russian State Social University
olgaprichina@mail.ru

Orekhov Viktor Dmitrievich,
PhD, Director of Scientific-Educational Center
International Institute of Management LINK
vorehov@yandex.ru

Gorshenin Vladimir Petrovich,
Doctor of Economics, Professor, Advisor to the General
Director NPO Lavochkin
gorvp.58@mail.ru

Abstract: Now the world is on the verge of a new technological revolution, but what will it be and what is the system of these revolutions? A number of authors interpret differently the current changes in the world of technology and the direction of their further development. In this paper, the task is to investigate the patterns of the dynamics of industrial revolutions and the accompanying exponential evolution of technology.

The methodology of the study is based on a mathematical analysis of the works of previous authors, including the use of the historical method. The characteristic features of the phenomenon under consideration and their quantitative characteristics are revealed, hypotheses about possible regularities are formulated. Further, the mathematical processing of the available data is performed and new relationships between the parameters are revealed. Then, the obtained mathematical regularity is compared with the data of various authors considered earlier and the degree of their agreement is determined. When analyzing the patterns of exponential evolution, mathematical modeling of the key parameters of the corresponding industrial epochs is performed.

New regularities in the dynamics of technological revolutions are revealed. It is shown that the dates of these revolutions are expressed by the geometric progression $T_n = 50 + 1970 \cdot (1 - 2^{-n/2})$. Technological revolutions are connected in pairs and the time intervals between pairs are two times different. The phenomenon of exponential evolution of characteristic indicators of revolutions is studied, and the change in these indicators over a couple of technological epochs is described by a single exponential:

1896, 1932 (electricity generation) and 1957, 1975 (Moore's law and supercomputer performance).

The results of the research can be used, first of all, in the field of forecasting and long-term strategic planning for the development of science and technology. In view of the very high importance of the results obtained and the availability of alternative opinions, it is also important to conduct studies on a comprehensive verification of the results and hypotheses.

The precise identification of the direction of industrial revolutions is important for the economy, as it provides guidance to inventors, innovators, investors and legislators in their industrial development activities. The absence of such guidelines leads to a delay in the rates of growth of the corresponding technology, stagnation of social development and losses amounting to many trillions of dollars.

In different countries, the processes of understanding the leading areas of technological development and the mastery of new technologies are proceeding at different rates [6, 89-93]. The laggards are forced to purchase expensive innovative products from more developed countries, and themselves to produce cheaper goods and services characteristic of the previous technological epochs [7, 64-67]. As a result, these countries are poorer. Therefore, from the point of view of the efficiency of the labor economy, it is important to correctly understand the dynamics of technological revolutions and the current trends in their movement.

The value of this work is that it is aimed at quantifying the technological changes that occur and gives grounds for distinguishing revolutionary changes from exponential evolution. The work can be used by specialists in the field of labor economics to predict and plan GDP per capita growth taking into account future radical changes in the field of technological development and the formation of a knowledge economy.

Keywords: technological revolutions, exponential growth, evolution, megatrend, industrial revolution, knowledge.

Человечество в течение тысяч лет строит систему своих знаний, последовательно развивая различные подсистемы, причем это строительство идет в двух основных измерениях. Одно из них – пространство познания (рис. 1) [4], в котором вначале появляются фантазии, гипотезы, затем мысли, идеи, научное знание, которое через обучение входит в технологии и практику людей, а затем устаревает и становится ненужным, а иногда даже вредным.

В другом пространстве координатная сетка задается технологическими революциями. Система знания не развивается с одинаковой скоростью во всех дисциплинарных областях, а делает рывки именно в тех направлениях, для развития которых созрели условия, и которые дают наибольшую пользу человечеству именно в это время [18].

Так, сейчас мы получаем максимальный рост благ от информационных технологий, ранее пользовались успехами научно-технической революции, еще раньше – промышленной и так далее.

Именно в области технологической революции развитие науки и производства идет наиболее быстрыми темпами, что характеризуется и наивысшей производительностью труда. Данная работа посвящена исследованию системы и динамики технологических революций, как важнейших факторов, влияющих на экономику труда страны.

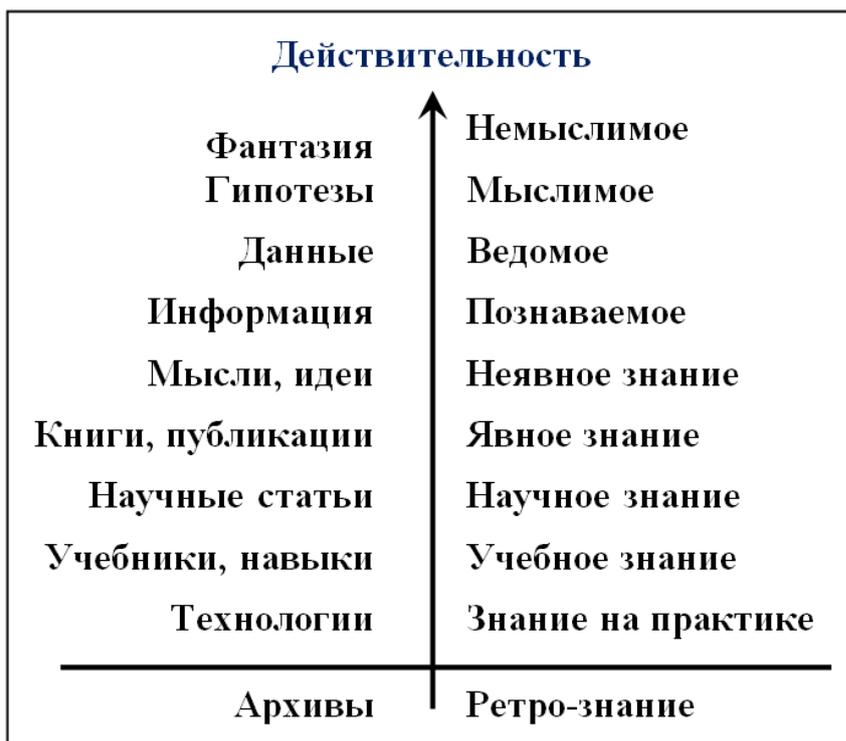


Рис. 1. Формы знания в процессе познания

В работе американского социолога Элвина Тоффлера [1], изданной в 1981 году, провозглашен переход к третьей технологической революции. На смену первой волне (аграрной цивилизации, возникшей 10 000 лет назад) и второй

(индустриальная цивилизация, появившаяся в результате промышленных революций) приходит третья – сверхиндустрия, производительными силами которой будут знания и информация. Датой начала третьей волны Э. Тоффлер считает 1956 год, когда в Соединенных Штатах «белые воротнички» и служащие численно превзошли заводских рабочих с «голубыми воротничками». Тоффлер считает, что экономическим костяком третьей волны будут электроника и ЭВМ, космическое производство, использование глубин океана и биоиндустрия [1].

Влиятельный американский экономист и эколог Jeremy Rifkin также говорит о третьей промышленной революции [2]. Приоритетной задачей ЕС, по его словам, «должно стать лидерство в третьей промышленной революции», поскольку «в июле 2008 г. глобальная экономика остановилась. Это экономическое потрясение возвестило о начале конца эры ископаемого топлива» [2]. Вторая промышленная революция, считает Рифкин, – это сочетание электроснабжения, энергетики на базе нефти и автомобилизации. Новую экономическую эру может сформировать создание коммуникационно-энергетической инфраструктуры. Европарламент одобрил декларацию о третьей промышленной революции 14 мая 2007 года. План третьей промышленной революции Рифкин представил в мае 2011 г. в обращении к 50-й конференции OECD в Париже, где присутствовали главы государств и министры 34 стран-участниц. Однако экономический форум в Давосе в 2015 году прошел под лозунгом «Четвертая промышленная революция» [3]. По мнению швейцарского экономиста Клауса Мартина Шваба, в центре третьей революции находилась электроника и информационные технологии, автоматизировавшие производство. Началась она в середине прошлого века. По его мнению, первая промышленная революция продолжалась в развитых странах почти до конца XIX века, вторая произошла в начале XX века. Теперь заявлено о новой «революционной ситуации» – немецкой концепции «Индустрия 4». Четвертая промышленная революция как бы выходит из третьей. Она характеризуется слиянием технологий и стиранием граней между

физическими, цифровыми и биологическими сферами. Драйвером очередной технологической революции, как это видят немецкие промышленники, будет «интеграция киберфизических систем».

В своей работе Клаус Шваб отмечает три технологических мегатренда, выделенных экспертным сообществом: физический, цифровой и биологический. К первому относится беспилотный транспорт, 3D-печать, робототехника и новые материалы. Во втором блоке выделяются сетевые платформы, упрощающие контакты и сделки между людьми, а также интернетизация вещей. Именно эти два мегатренда и составляют основу «киберфизических» систем. В то же время биологический мегатренд рассматривается К. Швабом относительно ограниченно.

На закономерность циклического развития экономики одним из первых указал Николай Дмитриевич Кондратьев [5], который выявил длинноволновые циклы экономической деятельности продолжительностью примерно в 50 лет. Считается, что в основе эндогенного механизма волн Кондратьева находится циклическая замена основных капитальных благ, в частности, периодичность длинных волн определяется средним сроком жизни производственных инфраструктурных сооружений. Однако с помощью теории Н.Д. Кондратьева и его последователя Й.А. Шумпетера [8] не удалось предсказать глобальный финансово-экономический кризис, начавшийся в 2008 году.

В отличие от Н.Д. Кондратьева и Й.А. Шумпетера, такие авторы, как Р. Курцвел, В. Виндж, С.П. Капица, К. Татеиси [9–12] и другие, считают, что революционные изменения в истории человечества происходят, ускоряясь со временем по мере приближения к точке условной технологической сингулярности, которая соответствует примерно 2025 году.

Например, весьма интересным выглядит прогноз Кадзума Татеиси, главы корпорации «Омрон». Около 1970 года он разработал теорию SINIC, согласно которой с древних времен до наших дней в истории человечества произошло десять главных инновационных сдвигов [12]. Предсказанная им 45 лет назад революция, которая, как он считал, будет биотехнологической, состоялась с

точностью в 2-3 года, если считать датой революции точку явного проявления кризиса. Для долговременных прогнозов такая точность (~5%) может считаться очень высокой. Согласно К. Татеиси даты революций следуют в ускоряющемся темпе по времени.

Подводя результаты проведенного обзора представлений различных авторов о системе технологических революций, суммируем следующие итоги:

1. Различные авторы предсказывают наступление: третьей, четвертой, десятой и т.д. научной революции.
2. В качестве мегатренда последней революции выделяют: знание-информационный, коммуникационно-энергетический, киберфизический, биоиндустриальный и др. При этом одни утверждают, что революция характеризуется единым мегатрендом, а другие считают, что их может быть несколько одновременно.
3. Одни авторы считают, что революции следуют через равные промежутки времени, а другие – ускоряясь по времени.
4. Одни считают, что ускорение следования революций ведет к технологической сингулярности, а другие – к последующему снижению темпов роста по типу S-образной (логистической) зависимости.
5. Ряд авторов соединяют революции в пары, близкие по содержанию.
6. Отмечается закономерное следование революций на протяжении тысяч лет.
7. В качестве причин закономерного следования революций отмечается необходимость замены основных капитальных благ, технологические инновации и рост объема явных знаний человечества [13].

Для определения математической зависимости, которой подчиняются даты технологических революций, представим в виде таблицы даты всех важнейших инновационных сдвигов в течение последних 2000 лет (табл. 3) [3, 5, 6, 9, 10, 11]. В предпоследней строке приведено среднее значение даты $T(n)$ по каждому столбцу с номером n , а в последней – период между революциями – $\Delta T(n)$.

Видно, что в начале нашей эры промежутки между революциями достаточно большие, а затем они уменьшаются (рис. 2). После 1960 года промежутки между революциями $\Delta T(n)$ начинают медленно увеличиваться.

Такая закономерность, скорее всего, связана с гиперболическим законом роста численности человечества (1) до 1960 года [11, 12]; здесь T – время, измеряемое в годах, $C \approx 180$ млрд – постоянная с размерностью [чел.·лет], а $T_S \approx 2025$ год.

$$N \approx C/(T_S - T). \quad (1)$$

Таблица 3. Даты технологических революций, по мнению разных авторов

Автор	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Кондратьев Н.Д.					1789	1845	1898	1949		1985	2018	
Шумпетер Й.А.					1785	1845	1900	1950		1990	2020	
Глазьев С.Ю.					1770	1830	1880	1930	1970		2010	
Яковец Ю.В.	450	1350			1731					1973		
Татейси К.	700	1302			1765		1876	1945	1955	1974	2005	2025
Панов А.Д.	500		1500			1835		1950		1991		
Facchini F.	500		1500			1840			1960		2005	2050
Капица С.П.	500		1500			1840		1955		2000		2050
Schwab, К.М.					1784		1870		1956			2025
Молчанов А.В.	630	1325		1674		1848		1934		1978		
Орехов В.Д.	630	1325		1674		1848		1935		1978	2010	2040
Bunch, В <i>et al.</i>	530		1453	1660	1735	1820	1895	1945		1972	2003	
Подлазов А.В.	250	1350			1770			1930		1990		
Bell D.									1961			
Среднее $T(n)$	521	1330	1488	1669	1766	1839	1887	1942	1960	1983	2010	2038
$\Delta T(n)$, лет		809	158	181	97	73	48	55	18	23	27	28

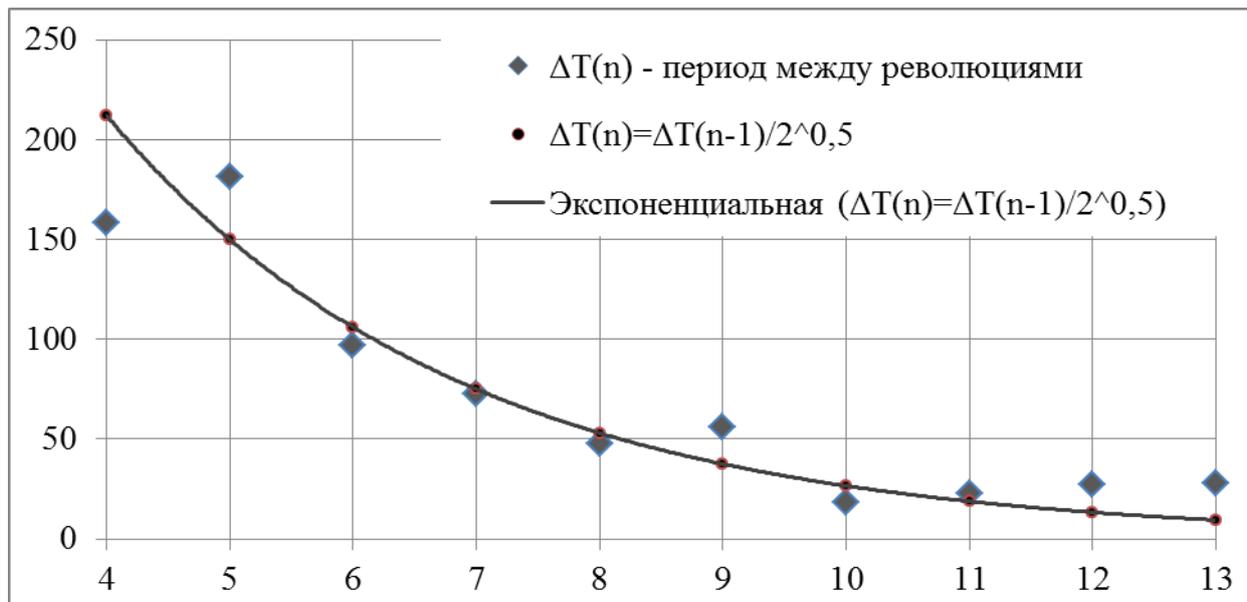


Рис. 2. Периоды между технологическими революциями

С приближением к дате сингулярности T_S (примерно с 1960 года) происходит так называемый демографический переход, и рост числа людей становится более медленным, чем по гиперболе (1). При этом технологические революции также начинают происходить через большие периоды $\Delta T(n)$, чем в соответствии с геометрической прогрессией, члены которой выражаются формулой (2), как видно из рис. 2.

$$\Delta T(n) = \Delta T(n-1)/2^{0,5} \quad (2)$$

Характерно, что знаменатель этой прогрессии равен $1/2^{0,5} \approx 0,707$, а за две революции период между революциями уменьшается вдвое. Таким образом, выражение для суммы членов прогрессии (2) имеет вид

$$T(n) = A + B \cdot (1 - 2^{-n/2}). \quad (3)$$

Для определения коэффициентов A и B используем средние значения $T(n)$ из таблицы 3 при $n = (3...11)$, а также метод среднеквадратичной аппроксимации. Величина $T(n = 4)$ является выпадающей, поэтому эту точку не будем использовать. Для определения значений A и B используем метод градиентного спуска. В результате получим, что $A = 50$, $B = 1970$, среднеквадратичное отклонение равно 7,4 (все величины в годах). Значения A и B округлены до целых значений. Если не отбрасывать точку $n = 4$, то $A = 45$,

$B = 1970$, среднеквадратичное отклонение – 14,7. Таким образом, формула (3) может быть представлена в виде (4)

$$T_n = 50 + 1970 \cdot (1 - 2^{-n/2}). \quad (4)$$

Средние значения дат технологических революций $T(n)$ из таблицы 3, а также значения $T(n)$, рассчитанные по формуле (4), приведены в таблице 4 (нумерация революций в левой части таблицы несколько изменена).

Таблица 4. Даты технологических революций в новой эре

№ революции	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Среднее $T(n)$		521		1330	1488	1669	1766	1839	1887	1942	1960	1983
$T(n)$ по ф-ле (4)	50	627	1035	1323	1527	1671	1773	1845	1896	1932	1957	1975
Погрешность		106		-7	39	2	7	6	9	-10	-3	-8

Видно, что по сравнению с таблицей 3 появились две дополнительные даты: 50 и 1035 годы, которые не были учтены в предыдущих работах. Остальные же даты революций достаточно хорошо аппроксимируются формулой (4) примерно до 1980 года. Характерно, что при $n \rightarrow \infty$ согласно формуле (4) $T_n \rightarrow 2020$ году, то есть к дате близкой к сингулярности. Здесь даты революций указаны с точностью до одного года. Однако ясно, что реальные технологические сдвиги происходят не точно в указанное время и более корректно округлять их примерно до десятилетий.

1. Сочетание революций и экспоненциальной эволюции

Являются ли происходящие в современном обществе изменения технологической революцией или эволюцией? Изучение книги Клауса Шваба «Четвертая промышленная революция» вряд ли делает этот вопрос яснее. С одной стороны, предъявляется потенциал для относительно серьезных социально-технических изменений, а с другой стороны, в основе этих изменений лежит эволюционный процесс совершенствования кибернетической техники.

Закон Мура [15], согласно которому удвоение числа транзисторов на микросхеме происходит примерно раз в полтора года, привел к увеличению производительности компьютерных устройств в миллиарды раз. Это произошло не только за счет экспоненциального роста количества элементов

микросхем, но и в результате столь же быстрого увеличения скорости их работы. На рис. 3 в логарифмической системе координат представлены зависимости роста параметров микросхем и суперкомпьютеров от времени до настоящего времени [16]. Здесь N – число транзисторов на микрочипе, F – производительность суперкомпьютеров в флопсах.

На оси ординат приведен десятичный логарифм величин F, N; $x=T-1960$. Видно, что обе зависимости экспоненциальные (в логарифмической системе координат – линейные) и выражаются формулами (5, 6):

$$\text{Log}(N) = 1,39 + 0,15(T - 1960) \quad (5)$$

$$\text{Log}(F) = 3,91 + 0,23(T - 1960) \quad (6)$$

Принято считать революцией радикальное изменение, резкое изменение в развитии. Но закон Мура характеризует эволюционное, непрерывное изменение производительности компьютерных систем в соответствии с одной закономерностью – экспонентой. С другой стороны, масштаб этих изменений (до 10 порядков и больше) приводит к качественным – революционным и быстротечным изменениям в других технологических и социальных сферах.

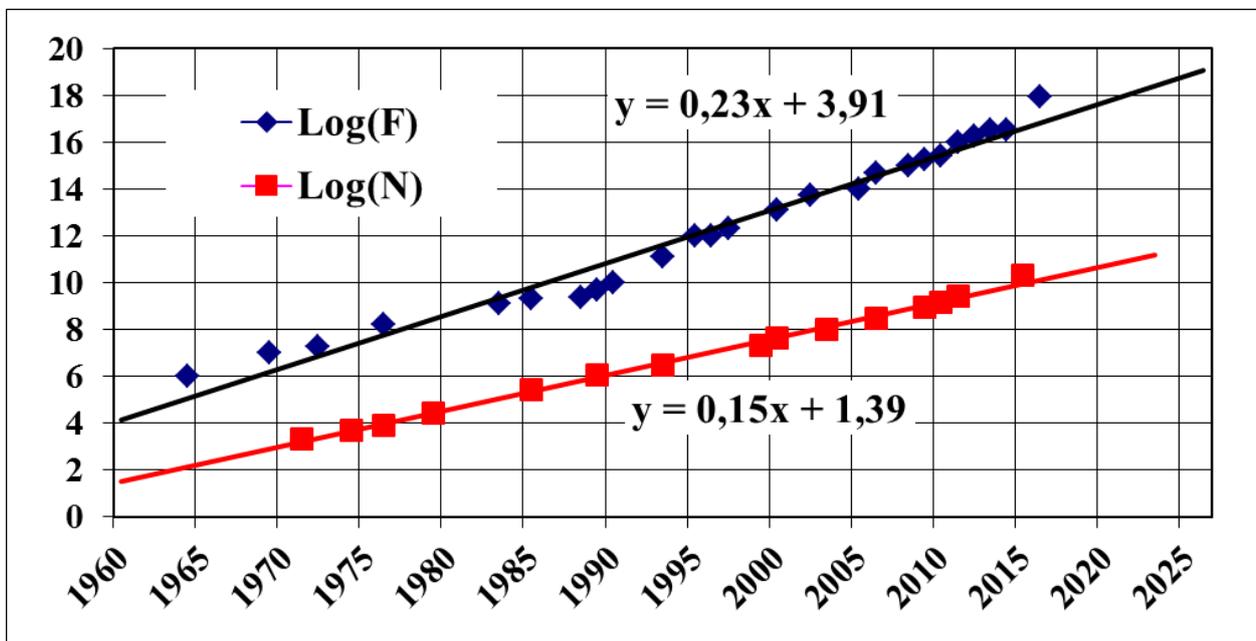


Рис. 3. Закон Мура и производительность суперкомпьютеров (в флопсах)

Если соотнести сроки действия закона Мура (рис. 3) с датами технологических революций из таблиц 3, 4, то мы увидим, что он продолжал действовать на протяжении двух технологических эпох с 1960 по 2010 годы и продолжает действовать далее. Тем самым он выразил собой действие *двух технологических революций кибернетического типа* и продолжает работать.

Если ретроспективно окинуть взором изменения, произошедшие в промышленном производстве со времени первой промышленной революции, то тоже можно увидеть во многих сферах рост на многие порядки. Так, мощность первой трехфазной электростанции, созданной Т. Эдисоном в 1882 году, составляла 500 кВт, а сейчас мировые генерирующие мощности составляют около 4 млрд кВт, т.е. примерно на семь порядков больше. Характерно, что дата создания первой трехфазной электростанции близка к дате соответствующей технологической революции (около 1890 года), и далее, на протяжении двух эпох научно-технических революций (НТР) (примерно с 1900 по 1970 год), рост производства электроэнергии (рис. 4) [17] происходил в соответствии с экспонентой, растущей в 2,35 раза за 10 лет, что указывает на генетическую связь НТР с электроэнергетикой и электротехникой.

После 1980 года рост производства электроэнергии стал более медленным, но также экспоненциальным с темпом роста 3,2% в год, что примерно соответствует темпу роста мирового ВВП. На рассмотренных выше примерах НТР и кибернетических революций мы видим попарное объединение соответствующих длинных волн на единой технологической основе, что можно наблюдать по некоторым важнейшим для данной технологии параметрам.

Можно также утверждать, что в качестве времени их начала следует принимать дату, с которой в результате некоторого фундаментального изобретения начинается экспоненциальный рост соответствующего важного для данной технореволюции параметра. Именно период экспоненциального роста определяет данную технологическую эпоху, хотя окончиться экспоненциальный рост может несколько позже завершения соответствующей эпохи.

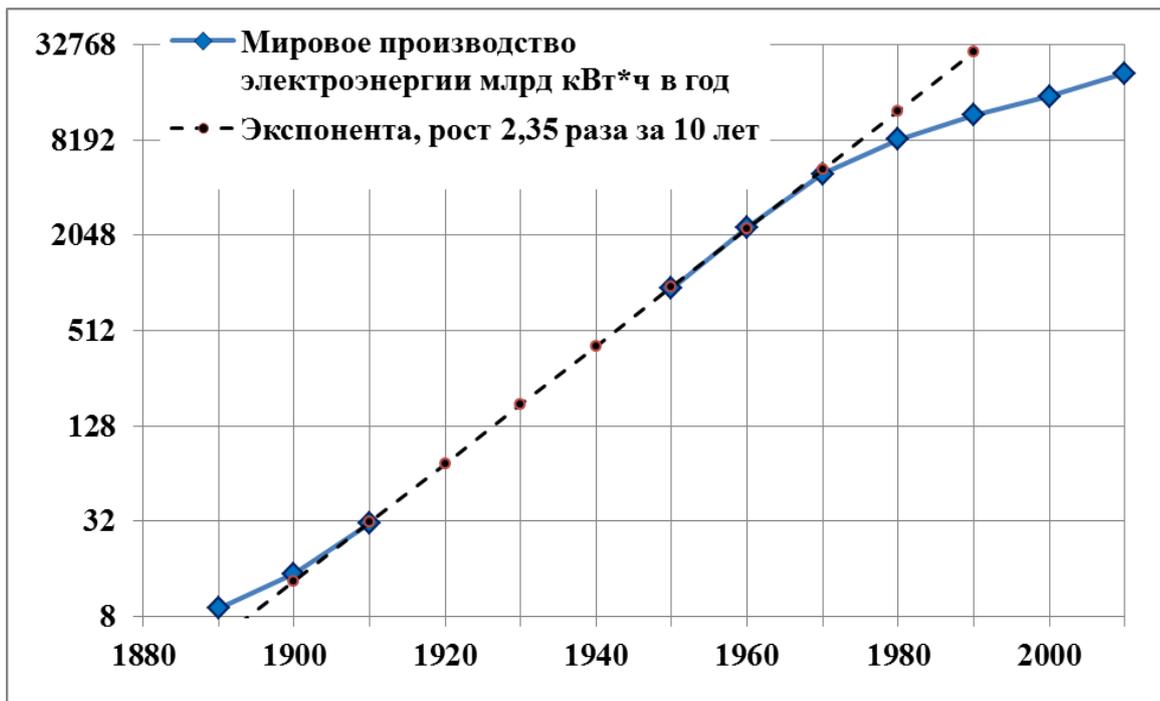


Рис. 4. Мировое производство электроэнергии (млрд кВт*ч в год)

Такое объединение в пары, вероятно, является результатом того, что первая из пары революций задает вектор инновационных изменений в технологической сфере, но количественно она не способна радикально изменить жизнь людей. Вторая же революция за счет экспоненциального роста объема внедрения технологии достигает значимого влияния на жизнь людей и реализует значительную часть своего потенциала. Из этого следует гипотеза о том, что следующая технологическая революция не должна быть кибернетической, поскольку пара таких революций уже произошла и ИТ-технологии уже совершили радикальное изменение жизни людей.

В своей работе [3] Клаус Шваб отмечает три технологических мегатренда: физический, цифровой и биологический. Два первых мегатренда составляют основу «киберфизических» систем. В то же время третий мегатренд рассматривается относительно ограниченно, хотя именно биотехнологии могут дать обществу наиболее радикальные выгоды: увеличение срока жизни, лечение болезней, биотопливо, продукты питания, утилизацию углекислого газа и других отходов, искусственные интеллектуальные системы и т.д.

Выбор между этими двумя направлениями является принципиально важным, поскольку в соответствии с ним следует определять направления опережающего развития. Неправильный выбор для всего мира будет стоить десятки триллионов долларов, а для отдельных стран – возможность обеспечить высокую эффективность экономики труда и занять достойное место в мировом разделении труда.

Литература

1. Toffler A., *The Third Wave*, London, Pan Books Ltd, 1981.
2. Rifkin, J. *The Third Industrial Revolution How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*, – New York: Palgrave Macmillan, 2011. – 291 pp.
3. Schwab, K. *The Fourth Industrial Revolution*, Crown Business, New York, 2017, 192 p. (Перевод на русский язык Шваб К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб — «Эксмо», 2016).
4. Орехов В.Д. Современное понимание концепции «знание». Вестник МИМ ЛИНК, №2, 2016.
5. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. – 1925. – Т. I. – Вып. 1.
6. Ленковская Р.Р., Шиловская А.Л. Защита информации в сети интернет // Проблемы экономики и юридической практики. 2017. № 5. С. 89-93.
7. Ленковская Р.Р., Шиловская А.Л. Особенности защиты авторских прав в сети интернет// Социально-политические науки. 2017. № 5. С. 64-67.
8. Schumpeter J. A. A Theorist's Comment on the Current Business Cycle. *Journal of the American Statistical Association* V.30(189), 1935.
9. Vinge V. "The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era". *Whole Earth Review*, 1993.
10. Kurzweil R. *The Singularity Is Near*. N. Y.: Viking, 2005.
11. Капица С.П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. – М., 2012. – С. 79.

12. Tateisi K. The Eternal Venture Spirit: An Executive's Practical Philosophy. Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1989.
13. Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания. Моногр. – Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. – 210 с.
14. Foerster, H. von, Mora, P. and Amiot, L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science 132:1291–5. 1960.
15. Moore G. Cramming More Components onto Integrated Circuits. Electronics, pp. 114–117, April 19, 1965.
16. Закон Мура. – Википедия, 2014. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
17. Мировая энергетическая статистика. Ежегодник 2016, <https://yearbook.enerdata.ru>
18. Степанова Н.А., Ленковская Р.Р., Гриднева О.В., Незнамова А.А., Лутовинова Н.В., Жестеров П.В. Правовое регулирование предпринимательской деятельности. Учебное пособие / Москва, 2017.