

МОСКОВСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ журнал 2/2022



Научная статья

Original article

УДК 330.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕЗИСА, НАПРАВЛЕНИЙ РЕАЛИЗАЦИИ И ДАТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕВОЛЮЦИЙ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С РАЗВИТИЕМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА

THE STUDY OF THE GENESIS, DIRECTIONS OF IMPLEMENTATION AND DATES OF TECHNOLOGICAL REVOLUTIONS IN RELATION TO THE HUMAN CAPITAL DEVELOPMENT

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского
фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта*

№ 19-29-07328

Блинникова Алла Викторовна, канд. экон. наук, доцент, Государственный университет управления, 109542, РФ, г. Москва, Рязанский пр., д. 99. e-mail: allarest@mail.ru; тел. 8 903 258 3041. ORCID ID: 0000-0003-4561-8894

Орехов Виктор Дмитриевич, канд. техн. наук, научный сотрудник,
Международный институт менеджмента ЛИНК, 140181, РФ, г. Жуковский,

ул. Менделеева, д. 11/4. E-mail: vorehov@yandex.ru; тел. 8 903 258 3075. ORCID ID: 0000-0002-5970-207X

Андрющенко Галина Ивановна, доктор экон. наук, профессор кафедры, Российский гос. университет нефти и газа им. И.М. Губкина 119991, РФ, г. Москва, Ленинский просп., дом. 63. E-mail: galina1853@rambler.ru тел. 8 916 446 0048 ORCID ID: 0000-0003-3914-7619

Blinnikova Alla Viktorovna, PhD in economics, docent, Associate Professor, State University of Management, 109542 Russia, Moscow, Ryazan Ave. 99.

Orekhov Viktor Dmitrievich, Candidate of Technical Sciences, Researcher, International Institute of Management LINK, 140181, Russia, Zhukovsky, Mendeleev str., 11/4.

Andryushchenko Galina Ivanovna, Doctor of Economics Sciences, Professor, Russian state University of Oil and Gas THEM. Gubkina, 119991, Russian Federation, Moscow, Leninsky prospect, building 63

Аннотация

Работа посвящена актуальной проблеме прогнозирования динамики технологических революций. Предметом исследования является система факторов, определяющих генезис технологических революций и связанных с человеческим капиталом. Основными методами исследований являются анализ данных о феномене технологической революции и онлайн-опросы респондентов. Цель работы – исследование генезиса и направлений реализации технологических революций во взаимосвязи с развитием человеческого капитала. Показано, что континуум технологических революций до 1980 года выражается геометрической прогрессией $T_n = 2027 - 2190 \cdot 2^{-n/2}$, где n – номер революции. Даты революций количественно связаны с ростом человеческого капитала через рост населения Земли и явного знания человечества. Доминирующим направлением НИОКР в мире является медико-биологическое, которое охватывает около 35% всех публикаций. Компьютерные технологии и искусственный интеллект представлены примерно 8% статей. Анализ поля сил с использованием интернет-опроса показал,

что выгоды для общества от киберфизической революции примерно на 0,3 балла по 5-балльной шкале привлекательнее, чем от медико-биологической, а величина сил у нее на 0,4 выше. Малая дифференциация сил и выгод тормозит выбор инвесторами направлений инвестиций. Среди поддерживающих киберфизическую революцию наибольшую величину имеют: сила интересов ИТ-компаний (оценка 4,4) и элиты Всемирного экономического форума (4,4). Наиболее влиятельные силы медико-биологической революции – фармкомпании, производящие вакцины (4,3), и передовые медицинские компании (4,1).

Ключевые слова: технологическая революция, человеческий капитал, экономическая динамика, экспоненциальный рост, киберфизическая революция, медико-биологическая революция, знание, датировка революций.

Abstract

A challenging issue of how to forecast technological revolutions in their dynamics is considered in the present article. The system of factors governing the genesis of technological revolutions and being simultaneously related to the human assets constitutes the subject of this research. The key research techniques selected include the technological revolution phenomenon-based data analysis and online interviewing of the respondents. The object of the study covers the evaluation of the genesis and implementation concepts of the technological revolutions combined with the progression of human assets. Continuity of the technological revolutions before 1980 is known to be exponentially expressed as follows: $T_n = 2027 - 2190 \cdot 2^{-n/2}$ where n is the revolution number. There is a definite quantitative correlation between the dates of revolutions and the growth of human assets conditioned by the population growth and extension of mankind's explicit knowledge. 35% of world publications are devoted to the medical and biological sphere, as a dominating direction in Research and Technological Development. Approximately 8% of publications cover the area of computer technologies and artificial intelligence. Online interviewing and a 5-point scale applied to conduct the field of forces analyses proved the revolution in cyberphysical sphere to be 0.3 points more fascinating and having 0.4 higher magnitude of the force in comparison with medicine and biology.

Investors experience difficulties in choosing the investment patterns due to low differentiation of force and profit. The spheres supporting the cyberphysical revolution may be distributed quantity-wise as follows: the force of IT-companies concern (grade 4,4), and elite of World Economic Forum (4,4). Vaccine-producing pharma companies (4,3) and the leading medical companies (4,1) constitute dominant support of the medical and biological revolution.

Key words: technological revolution, human capital, economic dynamics, exponential growth, cyber-physical revolution, biomedical revolution, knowledge, dating of revolutions.

Введение

Одним из основных факторов экономической динамики являются технологические революции, в ходе которых происходит трансформация мировой промышленности на основе качественно новой технологии. Эта трансформация сопровождается глобальным экономическим кризисом и следующим далее подъемом деловой активности. Достаточно часто эти кризисы выливаются в ожесточенные военные столкновения, вплоть до мировых войн.

Начавшийся в 2008 году экономический кризис и современное состояние мировой экономики можно воспринимать как индикаторы наступления технологической революции. Однако ряд феноменов, которыми сопровождается эта технологическая трансформация, дают противоречивые сигналы относительно направленности данной технологической революции.

В частности, прогнозируемый рядом авторов киберфизический характер очередной революции противоречит логике принципиальной новизны направления технологической трансформации, поскольку революция кибернетического (информационного) типа началась около 60 лет назад.

Важной проблемой является то, что многие авторы предлагают принципиально различные механизмы, движущие технологические революции, но убедительные доказательства того, какие из них действуют в реальности, отсутствуют.

Для России очень важно правильно понимать направленность очередной технологической революции и силы, которые ее инициируют, с тем чтобы не отстать от происходящих в мире изменений и обеспечить человеческому капиталу страны возможность эффективного приложения своих творческих способностей.

Целью работы является исследование генезиса и направлений реализации технологических революций во взаимосвязи с развитием человеческого капитала.

1. Обзор

Первую теорию циклической экономической динамики разработал Н.Д. Кондратьев [1], который ввел понятие «длинных волн», имеющих продолжительность 50–60 лет. Он также отметил, что на завершающем этапе понижательной стадии волны наблюдается активизация внедрения инноваций. Развивая это наблюдение, J. A. Schumpeter [2] указал, что именно инновации придают активность циклической динамике и важную роль играют предприниматели, которые реализуют наиболее плодотворные инновации в сочетании с имеющимися факторами производства.

В начале 70-х годов G. Mensch [3] показал, что в развитии экономики регулярно возникает патовая ситуация, выход из которой не реализуется в рамках существующих технологий. Согласно его теории, каждая длинная волна имеет вид S-образной кривой, характеризующей жизненный цикл технологического способа производства. Период перехода к новому способу производства он именуется технологическим патом. Затем следует относительно короткий период технологической революции, а за ним следует длительный эволюционный период роста. G. Mensch отметил, что период экономического подъема начинается с наиболее важных «базисных» инноваций.

C. Perez [4] детально проанализировала взаимосвязь длинных волн и финансовых кризисов. Она отмечает, что каждая новая технологическая революция приводит к смене техноэкономической парадигмы, которая представляет собой лучшую деловую практику в новых условиях. Взаимодействие между финансовым и производственным капиталом определяет темп и направление развития технологических эпох. Финансовый капитал производит агрессивное

инвестирование в новую технологию, что приводит к созданию пузыря на рынке ценных бумаг. Примерно на середине волны производственный капитал перехватывает инициативу и обеспечивает упорядоченный процесс технологического развития.

После финансового кризиса 2008 года активизировались работы в области исследования длинных волн. D. Smihula [5] выявил в историческом развитии до промышленных революций признаки длинных волн и показал, что длительность этих волн с течением времени сокращается. В частности, он указал на волну, связанную с внедрением бумажного производства, и волну Возрождения.

Основатель Всемирного экономического форума К. Schwab [6] уделил значительное внимание предсказанию характеристик очередной технологической революции. Он указал на три мегатренда этой революции: цифровой, физической и биологической. В отличие от Н.Д. Кондратьева и большинства других авторов он выделяет вдвое меньше технологических революций в период с начала XVII века.

Имеется большое количество прогнозов дат технологических революций, что делает актуальным вопрос о системе взаимосвязи этих дат.

2. Методика

Исследование относится к теоретико-прикладному типу. Направлено на применение полученных знаний для прогнозирования направлений развития технологических революций. Основным методом исследования является метатеоретический системный анализ, который позволяет построить целостную модель исследуемого феномена технологической революции.

Кроме того, в работе используются следующие методы:

- Кабинетное исследование датировки технологических революций;
- Математическая модель динамики технологических революций;
- Повторные трендовые исследования зависимости показателей технологического развития в ходе промышленных революций;
- Методы управления знаниями, позволившие выявить связь объема явных знаний человечества с динамикой технологических революций;

- Библиометрические методы, выявившие доминирующие направления научных и конструкторских исследований в период назревания техно революции;
- Интернет-опрос. Выявлена востребованность продуктов различных инновационных направлений, а также выгоды различных субъектов технологических революций;
- Анализ поля сил, предложенный Kurt Lewin для моделирования проведения изменений;
- Построение системных схем;
- Анализ информации из открытых баз данных.

3. Результаты

3.1. Периодичность технологических революций

Для анализа закономерностей следования технологических революций вначале рассмотрим даты начала кризисов и технологических сдвигов, отмеченных различными авторами, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Датировка технологических революций в различных работах

Источник	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Глазьев С.Ю. [9]						1770	1830	1880	1930	1970		2010	
Гринин Л.Е. [10]		800		1430	1600	1730	1830	1890	1929	1955	1995		2030
Капица С.П. [11]	500			1500			1840			1955		2000	2050
Кондратьев Н.Д. [1]						1789	1845	1898		1949	1985	2018	
Молчанов А.В. [12]	630		1325		1674		1848		1934		1978		
Орехов В.Д. [7]	630	1038	1342	1531	1668	1770	1844	1899	1939	1968	1990	2006	2026
Панов А.Д. [13]	500			1500			1835			1950	1991		
Подлазов А.В. [14]			1350			1770			1930		1990		
Яковец Ю.В. [15]	450		1350			1731					1973		
Attaly J. [16]		1200	1350	1500	1620	1788		1890	1929		1980		2030
Bell D. [17].										1961			
Berry B. [18]					1619	1729	1817	1866	1921		1981		
Bunch B. I. [19]	530			1453	1660	1735	1820	1895	1945	1972		2003	
Facchini F. [20]	500			1500			1840			1960		2005	2050
Perez C. [4]						1771	1829	1875	1908	1971			
Tateisi K. [21]	700		1302			1765		1876	1945	1955	1974	2005	2025
Tofler A. [22]						1800				1956			2025
Schumpeter J. A. [2]						1780	1840	1900		1955	1990	2015	
Schwab K. M. [6]						1784		1870		1956			2025
Smihula D. [5]	300	930	1340	1470	1600	1780	1840	1880	1940		1985	2015	2035
Unctad [23]						1775	1830	1875	1908	1971		2007	

Wallerstein I. [24]				1450	1640	1730	1840						
Среднее T(n)	527	992	1337	1482	1635	1765	1835	1884	1930	1960	1984	2008	2033
S, %	118	169	18	32	30	24	9	12	12	8,0	7,1	5,9	10
$\Delta T(n)$		465	345	145	154	129	71	49	46	30,4	24,1	24,1	24,5

В первой строке таблицы указан условный номер (n) революции примерно с 500 года новой эры. В последних трех строках таблицы указаны среднее значение даты – T(n) для каждого столбца с номером n, среднеквадратичное отклонение – S, а также период между революциями – $\Delta T(n) = T(n) - T(n-1)$. Аналогичные исследования были проведены авторами в работах [7, 8]. Однако в данной работе количество источников данных о революциях увеличено в полтора раза и нумерация некоторых дат революций уточнена.

На рис. 1 приведены средние значения периодов между революциями $\Delta T(n)$ в годах, в зависимости от их номера (n), а также экспоненциальный тренд для этих точек, который при десятичном основании имеет вид (1), где ^ – знак показателя степени.

$$\Delta T(n) = 800 \cdot 10^{(-0,332 \cdot n)} \quad (1)$$

Для сравнения на рис. 1 приведены точки значений геометрической прогрессии, которая выражается формулой (2), где $\Delta T(1) = 600$ лет, и эти точки близки к линии тренда.

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

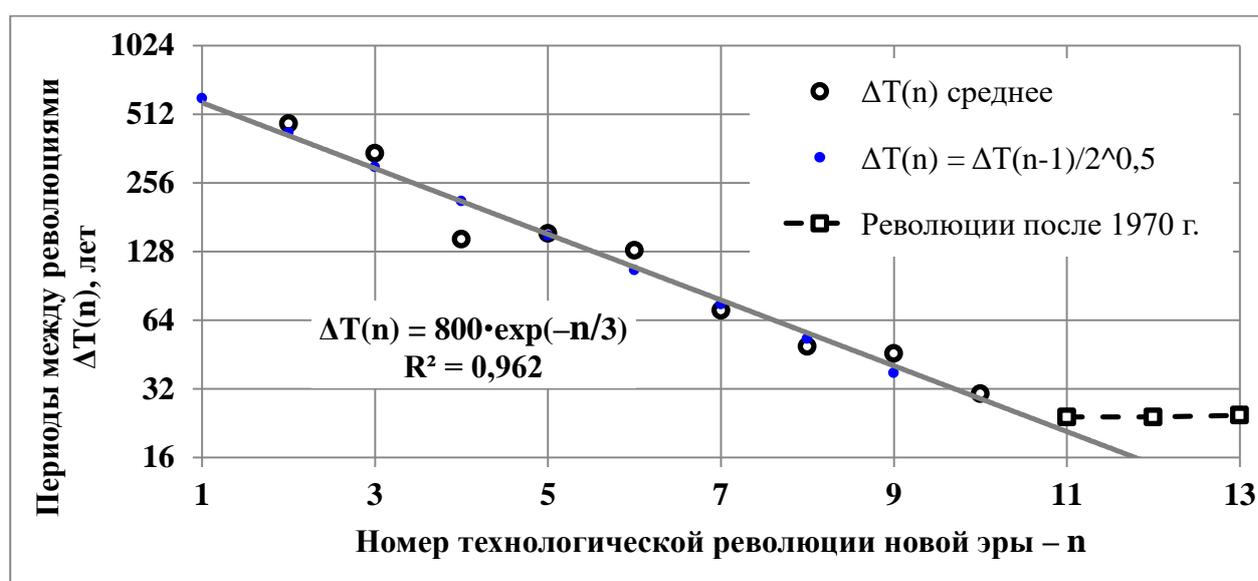


Рис. 1. Зависимость периода между революциями от номера революции

Видно, что после $n = 10$ (примерно с 1980 года) значения $\Delta T(n)$ не соответствуют экспоненциальному тренду (1) и близки к постоянному значению $24,3 \pm 0,2$ года. Остальные точки достаточно близки к линии тренда, что характеризуется высоким значением коэффициента детерминации $R^2 = 0,962$.

Полученные зависимости (1), (2) значительно отличаются от утверждения о примерно постоянном периоде между длинными волнами Кондратьева. Геометрическая прогрессия периодов между революциями может быть связана с гиперболическим законом роста численности населения [11, 25], согласно которому число людей выражается формулой (3)

$$N \approx C/(T_S - T) \quad (3)$$

Здесь T – время, измеряемое в годах, $C \approx 200$ млрд – постоянная с размерностью [чел.·лет], а T_S – условная дата сингулярности (примерно 2025 год). При приближении к дате сингулярности закономерность роста населения Земли начинает отставать от гиперболической зависимости (3), и это может быть причиной того, что периоды между технологическими революциями перестают сокращаться, как это видно из рис. 1. Сумма геометрической прогрессии типа (2) со знаменателем $2^{-1/2} \approx 0,707$ имеет вид (4)

$$T(n) = A - B \cdot 2^{-n/2} \quad (4)$$

Для определения коэффициентов A и B зададим начальные значения этих коэффициентов и определим разность $\Delta(n)$ между значениями $T(n)$ согласно формуле (4) и величиной $T(n)$ из таблицы 1. Затем, варьируя величину B , найдем такое ее значение, которое обеспечивает минимум среднеквадратичного отклонения S_B для величины $\Delta(n)$ на континууме революций № 4–11. Далее определим коэффициент A , для которого минимально среднеквадратичное отклонение S_A для величины $-\Delta(n)/\Delta T(n)$, применительно к революциям № 1–11. Полученные оптимальные значения равны: $A = 2027$, $B = 2190$. При этом $S_B(\Delta(n)) = 5,5$ года, а $S_A(\Delta(n)/\Delta T(n)) = 11\%$. Соответственно, формула для дат технологических революций (4) примет вид (5)

$$T_n = 2027 - 2190 \cdot 2^{-n/2} \quad (5)$$

Сравнение разности $\Delta(n)$ дат технологических революций $T(n)$, согласно таблице 1 и формуле (5), приведено в таблице 2. Видно, что для революций индустриальной эпохи разность $\Delta(n)$ не превосходит 13 лет, а отношение $\Delta(n)/\Delta T(n)$ не выше 12%.

Таблица 2. Даты революций, согласно формуле (5) и средние из таблицы 1

№ революции	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Среднее $T(n)$		527	992	1337	1482	1635	1765	1835	1884	1930	1960	1984
$T(n)$ по ф-ле (5)	-163	478	932	1253	1480	1640	1753	1833	1890	1930	1959	1979
Разность $\Delta(n)$		-48	-60	-84	-2	5	-11	-2	6	0	1	-5
$\Delta T(n)$ по (5)		641	454	321	227	160	113	80	57	46	30	24
$\Delta(n)/\Delta T(n)$, %		-8	-13	-26	-1	3	-10	-2	11	1	-5	-22

Отметим, что при $n \rightarrow \infty$ в соответствии с формулой (5) $T_n \rightarrow 2027$, то есть к дате, близкой к условной сингулярности – T_S . Поэтому для революций, начиная с 1984 года, формула (5) дает значения, существенно отклоняющиеся от представленных в таблице 1.

3.2. Пары технологических революций

Представленная выше датировка технологических революций, начиная с 1765 года, соответствует длинным волнам Н.Д. Кондратьева [1]. Однако, согласно нумерации К.М. Schwab [6], число волн вдвое меньше, то есть их можно сгруппировать парами. Содержание технологических революций отражается в их наименовании или названии соответствующей технологической эпохи. Так, С. Perez называет первую из этих революций «Промышленной», иногда ее называют «Первой промышленной» [4]. Следующие эпохи она называет: «Эпоха пара и железных дорог», «Эпоха стали, электричества и тяжелой промышленности», «Эпоха нефти, автомобиля и массового производства» и «Эпоха информации и телекоммуникаций». Если проанализировать изобретения, которые характеризуют разные эпохи, то несложно понять, что они попарно связаны.

Так, эпоха Возрождения (с 1482 г.), которая прошла под знаменем книгопечатания и возрождения науки, дала миру такие нововведения, как конный плуг, токарный станок, зеркало, огнестрельное ружье, товарное производство,

авторское и патентное право, гуманитарные науки, аналитическая геометрия, таблица логарифмов [19]. Развитию наук способствовали труды таких исследователей, как Леонардо да Винчи, Н. Коперник, Г. Галилей, И. Кеплер, Е. Торричелли, Ф. Парацельс.

Следующую эпоху (с 1648 г.) можно характеризовать как эру становления классической науки, основанной на измерениях. Ее характеризуют следующие нововведения [19]: телескоп, микроскоп, маятниковые часы, термометр, арифмометр, фрезерный станок, паровой двигатель, оружие с кремниевым затвором, научный подход, академия наук, научный журнал, дифференциальное исчисление, педагогика, законы И. Ньютона. Эти две эпохи вводят в широкое использование печатную книгу, как инструмент для распространения явных знаний, и научные исследования на основе измерений и вычислений для получения проверенных знаний. В дальнейшем это позволило осуществить промышленные революции.

Взаимосвязь Первой и Второй промышленных революций (1750, 1830 годы) основывается на едином базисе возрастающего применения механизмов, паровых двигателей и фабричной организации производства. Хотя паровой двигатель был разработан еще в начале 17-го века, но модель, получившая широкое распространение, была запатентована Д. Уаттом в 1769 году [19]. Далее число паровых машин и их мощность быстро росли. Динамика суммарной мощности паровых двигателей в Великобритании в 1760–1907 годах представлена на рис. 2 [26].

Данные на рис. 2 аппроксимируются единой экспоненциальной зависимостью на протяжении Первой и Второй промышленных революций с коэффициентом детерминации 0,97. Однако видно, что к концу этого периода темп роста мощности двигателей снижается. Также в работе [26] отмечается, что на протяжении Первой промышленной революции вклад паровых двигателей в экономический рост был невелик и только после 1830 года они стали давать существенный вклад в производительность труда. Это было связано с малой

эффективностью двигателей и доминированием энергии воды в промышленности. К концу XIX века британская экономика исчерпала выгоды роста паровой энергии.

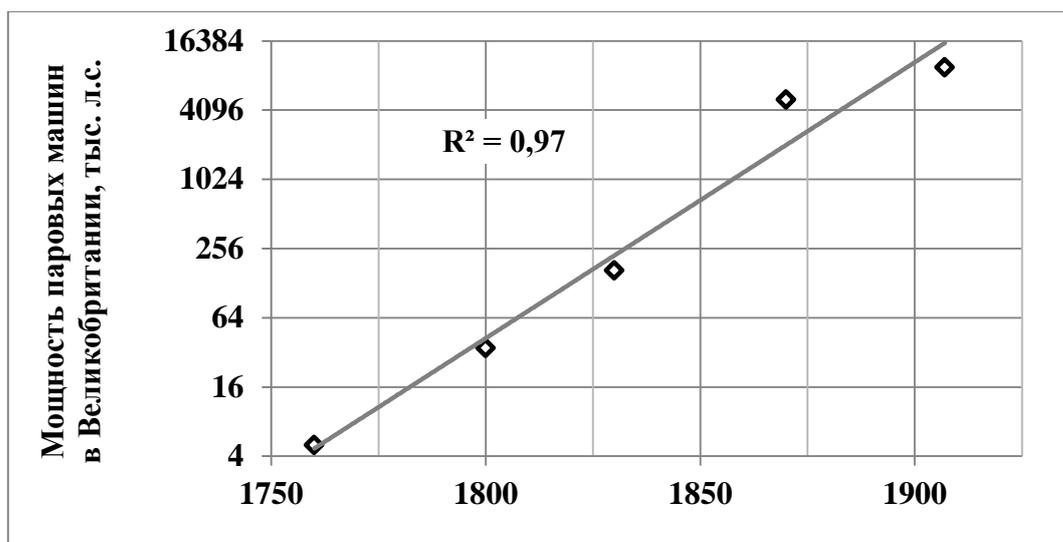


Рис. 2. Мощность паровых двигателей в Великобритании

Следующая пара революций, начавшаяся в конце XIX века, в качестве инновационной основы содержит использование электричества (электротехники) и автоматики. Революционным изобретением, которое дало толчок широкому развитию электроэнергетики, стало изобретение Н. Тесла в 1887 году [19, 27] системы переменного тока, включая генератор, электродвигатель и трансформатор. Если первая электростанция, созданная в 1882 году Т. Эдисоном, имела мощность 500 кВт, то затем, на протяжении около 80 лет, рост производства электроэнергии происходил в соответствии с единой экспонентой, возрастающей в 2,35 раза за 10 лет (рис. 3) [8, 28, 29]. Это указывает на генетическую связь двух технологических эпох, начиная примерно с 1890 года.

Нужно отметить, что к 1900 году электротехника уже имела серьезный фундамент в виде законов А. Ампера, М. Фарадея, Д. Максвелла и других ученых, а также большое количество изобретений в этой области [19]. Однако именно трехфазные генераторы и электродвигатели обеспечили экономичный способ преобразования механической энергии в электрическую и обратно и быстрое развитие электроавтоматической индустрии.

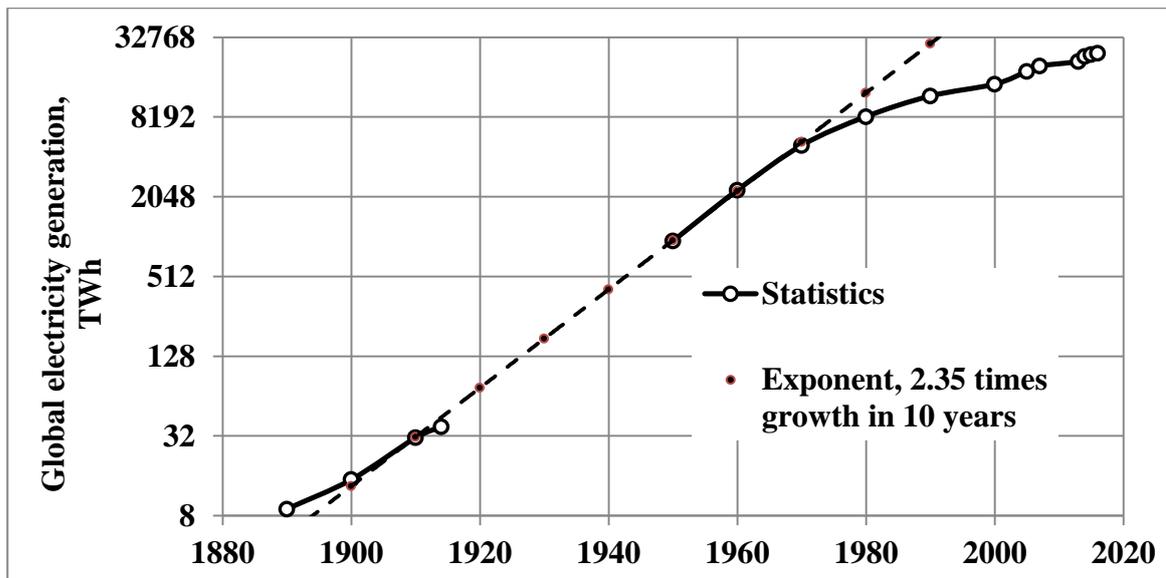


Рис. 3. Мировое производство электроэнергии, TWh

Если промышленные революции избавили человека от тяжелой физической работы, создав механическую индустрию, использующую энергию пара, то эпоха электричества освободила человека от необходимости управлять механизмами, создав на основе электрического привода автоматическое управление.

Однако автоматика может обеспечить лишь управление относительно простыми процессами, что стало тормозить дальнейшее развитие технологий. Первый программируемый ламповый электронный компьютер ENIAC был создан в 1946 году [40] и весил 30 тонн. В дальнейшем было разработано несколько десятков электронных вычислительных машин, но преодолеть их принципиальный недостаток (габариты) не удалось.

В начале 60-х годов в полупроводниковой промышленности произошел прорыв – были созданы первые полупроводниковые микросхемы. И уже в 1963 году вошел в строй первый транзисторный суперкомпьютер CDC 6600 [31], который ознаменовал старт кибернетической эпохи. Процесс развития кибернетической техники можно отследить с использованием закона Мура [32]. Согласно ему увеличение числа транзисторов на микросхеме происходит в соответствии с экспоненциальной зависимостью и удваивается примерно за 1,5–2 года. Так же быстро росла скорость быстрогодействия суперкомпьютеров. На рис. 5 представлены зависимости от времени десятичного логарифма (Lg) числа

транзисторов на микрочипе (N) и производительности суперкомпьютеров в флопсах (F) [33–35].

Видно, что обе зависимости экспоненциальные. Если соотнести эти закономерности с датами технологических революций (таблица 3), то увидим, что они действовали на протяжении двух технологических эпох, начиная с 1960 года, и продолжают действовать до сих пор. Причем за 60 лет производительность компьютерных устройств выросла в миллиарды раз. И хотя вторая кибернетическая революция в начале 80-х годов ознаменовалась резким расширением применения компьютерной техники за счет распространения персональных компьютеров, но из рис. 4 видно, что генетически это единая технологическая революция.

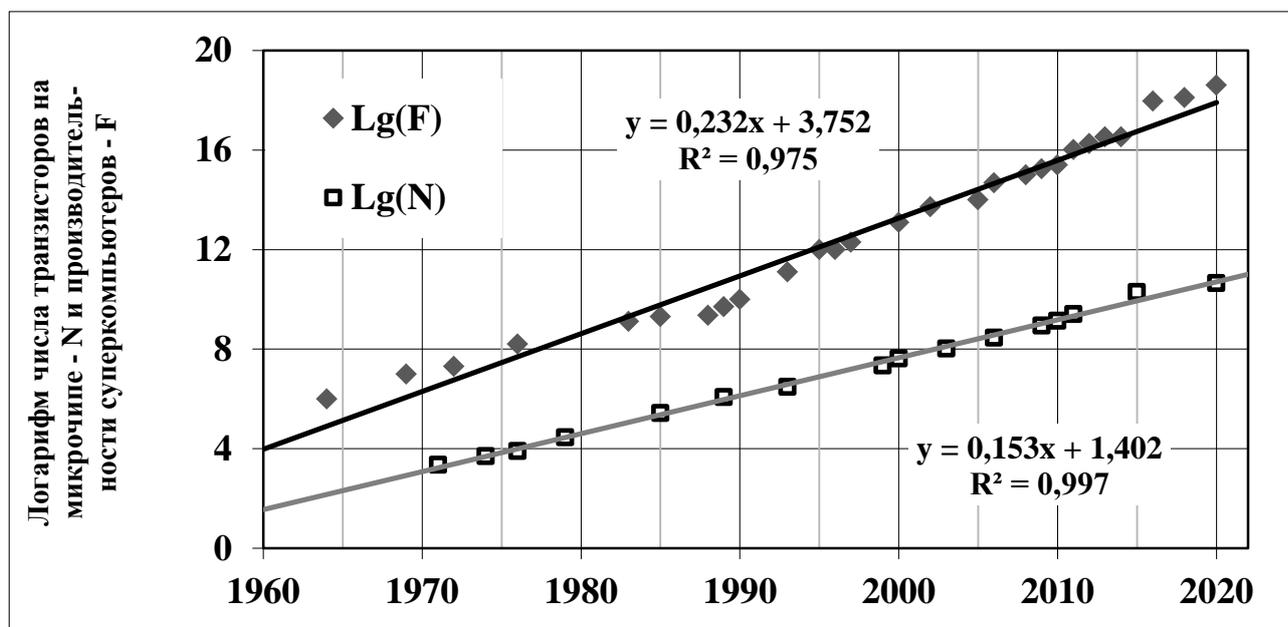


Рис. 4. Закон Мура и производительность суперкомпьютеров в флопсах

Суммируя закономерности динамики технологических революций, можно отметить, что они следуют парами, базирующимися на единой технологической основе: книгопечатание и научное исследование (1480–1750 гг.), механизация и использование силы пара (1750–1890 гг.), электричество и автоматизация (1890–1956 гг.), кибернетика и информатизация – 1956 год и далее. На протяжении этих технологических эпох происходит экспоненциальная эволюция характеристик базовых технологий. Содержание разных пар революций достаточно

принципиально отличается. Группировка революций в пары позволяет более контрастно понять принципиальное отличие технологий каждой пары.

Технологические революции происходят не внезапно, а в результате длительного развития технологий. Ко времени первой из каждой пары технологической революции уже наработан значительный технологический задел, и старт новой революции дает относительно небольшое, но важное улучшение уже созданной техники. Так, паровая машина Д. Уатта отличалась от машины Т. Ньюкомена, в основном, наличием конденсатора и кривошипно-шатунного механизма. Идея использования трехфазного тока вместо постоянного позволила резко повысить эффективность электрических машин и сделать электротехнику массовой и относительно недорогой. Микросхемы, давшие толчок кибернетической революции, были созданы на основе уже имевшейся полупроводниковой элементной базы, теории кибернетики и с учетом опыта создания ламповых компьютеров.

Можно предполагать, что и следующая пара технологических революций будет реализована на основе уже имеющихся технологий, которые после некоторых инноваций начнут развиваться экспоненциально. При этом опыт следования предыдущих революций подсказывает, что это вряд ли опять будет революция из разряда кибернетических, хотя она и будет широко использовать достижения информационных технологий.

3.3. Связь дат технологических революций и характеристик человеческого капитала

Таким образом, мы выяснили, что технологические революции следуют друг за другом в соответствии с зависимостью экспоненциального типа (5) с высокой точностью ($R^2 = 0,962$), что предполагает наличие в высокой степени детерминированного, а не стохастического процесса. Поскольку периоды между смежными революциями отличаются в $2^{1/2}$ раза, то период между парами революций отличается в 2 раза, что также свидетельствует об относительно простом механизме инициации технологических революций.

Анализ датировки революций позволил выявить их связь с гиперболическим законом роста численности населения (3), а также временным пределом использования этой зависимости – примерно до 1980 года. Поэтому логично проверить наличие более тесной взаимосвязи между человеческим капиталом и технологическими революциями. Используя формулы (3) и (5), при $T_S \approx A$ получим выражение для численности населения Земли в моменты начала технологических революций в зависимости от их номера n

$$N_n = C / (T_S - T_n) \approx C / B \cdot 2^{-n/2} \quad (6)$$

Приблизленно $C/B = 200$ млрд чел.·лет /2180 лет ≈ 92 млн чел. Из этой формулы следует, что численность населения Земли между двумя последовательными революциями увеличивается примерно в $2^{0,5} \approx 1,414$ раза, а за пару революций – в 2 раза.

Поскольку численность населения является одним из основных показателей человеческого капитала, то тем самым мы подтверждаем наличие зависимости дат технологических революций от величины человеческого капитала. Более того, мы можем использовать эту зависимость для прогнозирования дат следующих технологических революций. В частности, численность человечества в дату следующей революции (относительно современной даты) должна вдвое превосходить численность, соответствующую революции 1981 года ($N_{11} = 4,45$ млрд чел.), и составлять $N_{13} = 8,9$ млрд чел. Согласно среднему прогнозу ООН [36] это произойдет в 2035 году, что близко к среднему значению $T(n) = 2033$, приведенному в таблице 1.

Однако эмпирическая зависимость (6) не раскрывает механизм связи технологических революций с человеческим фактором, поэтому рассмотрим ее более детально. Как отметил С.П. Капица [11], гиперболическая закономерность роста числа людей (3) означает, что скорость роста популяции пропорциональна квадрату численности человечества $dN/dT = N^2/C$. Это значит, что существует коллективное взаимодействие, которое «...определяется механизмом распространения и размножения обобщенной информации в масштабе

человечества» [11]. Можно предположить, что это взаимодействие реализуется на основе роста объема явных знаний человечества.

Чтобы оценить их динамику, можно использовать информацию об объеме хранения книг и брошюр в наиболее крупных мировых библиотеках, например в библиотеке Конгресса США [37–39]. Соответствующая зависимость числа книг (Z) в мире от количества людей (N) дана на рис. 5. Численность населения Земли при этом соответствует данным ООН [36]. В аналитическом виде эта зависимость незначительно отличается от линейной и может быть выражена формулой

$$Z = 4,45 \cdot N^{1,066} \quad (7)$$

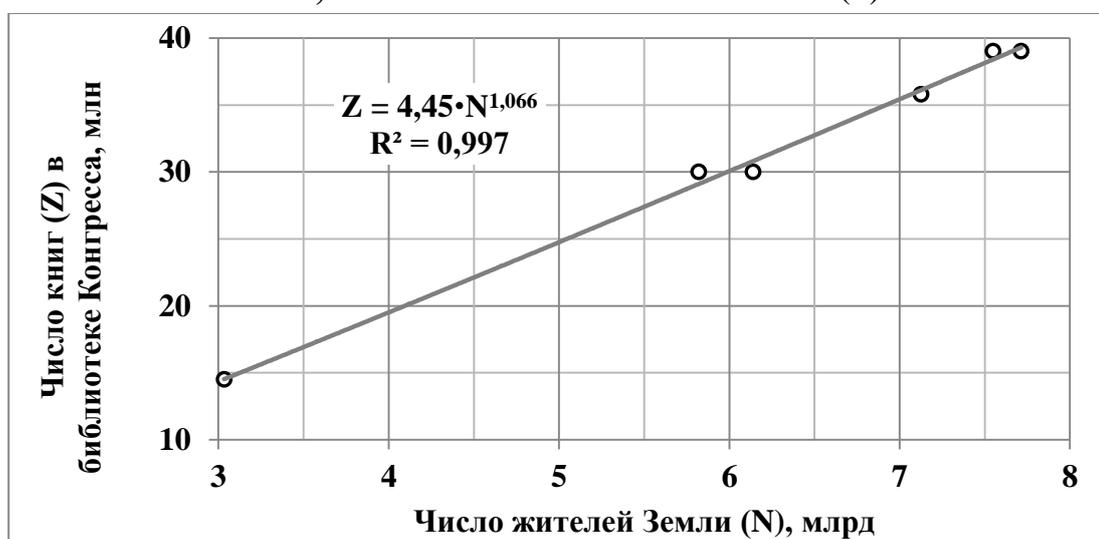


Рис. 5. Зависимость числа книг в мире от количества людей

С использованием формулы (7) можно оценить, при каком изменении количества явных знаний происходят технологические революции. Соответствующие данные приведены в таблице 3 с использованием средних дат революций из таблицы 1. Численность человечества (N) до 1930 года определялась с помощью формулы (3), а позднее – в соответствии с данными ООН [36].

Таблица 3. Изменение объема знаний между революциями

n	T(n)	N, млрд	Z, млн	Z(n+1)/Z(n)	n	T(n)	N, млрд	Z, млн	Z(n+1)/Z(n)
0	-163	0,10	0,38		7	1835	1,05	4,71	1,40
1	527	0,13	0,52	1,38	8	1884	1,42	6,47	1,37
2	992	0,19	0,77	1,49	9	1930	2,10	9,82	1,52
3	1337	0,29	1,19	1,54	10	1960	3,09	14,81	1,51
4	1482	0,37	1,53	1,29	11	1984	4,87	24,06	1,62
5	1635	0,51	2,18	1,42	12	2008	6,79	34,28	1,42
6	1765	0,77	3,36	1,54	13	2033	8,78	45,07	1,31

Как следует из таблицы 3, среднее изменение количества явных знаний между смежными революциями составляет примерно $Z(n+1)/Z(n) \approx 1,45$, а среднеквадратичное отклонение равно 9,8%. Наибольшее отклонение величины скачка знаний от среднего значения наблюдается во время революции Возрождения (1482 год). Это, видимо, связано с высокой смертностью от чумы в Европе перед этой революцией (1346–1353 годы) и снижением численности населения. Рост скачка 1984 года, вероятно, связан с ускоренными темпами роста населения в послевоенный период.

Снижение скачка в будущей революции (примерно 2033 год), видимо, связано с погрешностью прогнозирования. Исходя из выявленной выше закономерности, объем знаний (книг) на дату начала этой революции должен быть в 1,45 раза больше, чем в 2008 году, и равняться $Z = 34,3 \cdot 1,45 = 49,7$ млн книг. Численность населения, в соответствии с формулой (7), будет равна $N = 9,62$. Согласно среднему прогнозу ООН такая численность населения будет достигнута в 2048 году. Именно такова прогнозируемая в соответствии с данной закономерностью дата следующей технологической революции. Отметим, что это вторая из пары революций, первая из которых приходится на 2008 год.

Полученная в данном разделе закономерность свидетельствует о том, что при существующих закономерностях роста числа людей и явных знаний человечества это будет последняя из технологических революций. Для того чтобы произошла следующая технологическая революция, объем явных знаний (книг) должен достигнуть $Z = 49,7 \cdot 1,45 = 72,1$ млн, а численность населения Земли $N = 13,6$ млрд. Такая численность населения может быть достигнута только в соответствии с высоким прогнозом ООН в 2081 году, что достаточно маловероятно.

Но и этого хватит еще только на одну технологическую революцию. Таким образом, существует вероятность, что человечество остановится в своем технологическом развитии в результате замедления роста населения, если не произойдут революционные изменения в технологии создания знаний. И это означает, что 14-я технологическая революция по своей целевой направленности должна быть связана со знаниями.

3.4. Перспективные направления технологических революций

Как было показано выше, важнейший толчок для технологической революции дает накопление знаний. Производством же знаний занимается наука, а точнее, деятельность в области НИОКР (R&D). Инновации играют роль своеобразного моста между наукой и производством. Ясно, что, для того чтобы произошел революционный скачок в новой области, знания должны накапливаться именно в этой области. Таким образом, для того чтобы оценить потенциальные направления технологических революций, необходимо рассмотреть, по каким направлениям наиболее активно идут исследовательские работы.

С этой целью проведем анализ тематики научных работ в мире на основе крупнейшей библиометрической базы SCImago Journal & Country Rank (SCImago JR). Всего в базе в 2019 году представлено 33 340 журналов [40]. На рис. 6 представлено распределение статей по предметным областям, количество которых несколько сжато по сравнению с базой SCImago JR [41].



Рис. 6. Публикационная активность SCImago JR по предметным областям

Видно, что максимальное число статей относится к блоку дисциплин: медицина, здоровье, фармакология, токсикология, фармацевтика, стоматология и сестринское дело – 20%. Вместе с близкими к ним науками (биохимия, генетика, молекулярная биология, иммунология, психология, нейронауки, агрокультуры, биология, ветеринария) они занимают 34% статей и 29% журналов. Второе место по числу статей занимают инженерные науки – 11,7% (11% журналов).

Третье место принадлежит компьютерным наукам и искусственному интеллекту – 8% статей и 10,3% журналов. Далее следуют химия и химические технологии – 7,8% статей и физика с астрономией 6,8%.

Несколько неожиданно, что направлению «Энергетика» посвящено лишь 2,7% статей и 2,4% журналов. В сфере образования и E-learning в 2019 году было опубликовано 1,3% статей в 2,8% журналов.

Для учета значимости публикаций могут быть использованы показатели индекса Хирши журналов. Учет «веса» журналов по Хирши несколько меняет распределение мест. На первом месте по-прежнему медицина с ближайшими смежными профессиями – 20%, а с биохимией, генетикой и т.д. – 35%. Второе место занимают химия и химические технологии (11,6%), третье – физика с астрономией (8,9%), четвертое – инженерное дело (8,5%), а компьютерные науки и искусственный интеллект (ИскИн) отодвигаются на пятое место (8,5%).

Разница доли статей с учетом веса по Хирши связана с тем, что в некоторых дисциплинах большую долю занимают журналы, на которые относительно редко ссылаются в публикациях и которые имеют квартиль Q3 или Q4 или совсем без квартиля. Так, в компьютерных науках 72% журналов не имеют квартиля и индекс Хирши, а соответственно, и численность ссылок на эти журналы в среднем в 4 раза меньше, чем на журналы с первым квартилем.

Для того чтобы оценить разницу по численности ссылок на статьи в разных дисциплинах, на рис. 7 показано, сколько журналов, относящихся к квартилям Q1 и Q2, действует в различных предметных областях. Видно, что в медицинской сфере журналов с высоким уровнем ссылок значительно больше, чем в других областях, и в 4,5 раза больше, чем в области компьютерных наук.

В целом же данный анализ показывает, что ключевыми научными направлениями являются те, которые нацелены на улучшение здоровья человека и, соответственно, развитие человеческого капитала. Компьютерные технологии и ИскИн сложно отнести к лидирующему научному направлению.



Рис. 7. Число журналов с квартилями Q1 и Q2 в предметных областях

Группа ученых из Высшей школы экономики, которую возглавляли А.Л. Гринин и Л.Е. Гринин, также считает, что шестой технологический уклад будет характеризоваться прорывом в медицинских технологиях, способных объединить вокруг себя ряд других [42]: «Ведущим сектором в шестом технологическом укладе, на наш взгляд, станет медицина, в которую будут направлены огромные экономические и интеллектуальные ресурсы. Это связано, прежде всего, с глобальным старением, ростом продолжительности жизни и необходимостью социализации и трудоустройства пожилых людей и инвалидов в условиях сокращения рабочей силы.

Самые различные технологии будут направлены на поддержание и улучшение здоровья. Уже сегодня в медицине зреют прорывные инновации, которые станут ощутимыми через два-три десятилетия (а некоторые и ранее). Современная медицина неразрывно связана с биотехнологиями, фармацевтикой, генной инженерией, промышленной химией и другими отраслями. Если посмотреть на динамику темпов роста заявок на изобретения по типам технологий

для мира относительно 1985 г., очевидно, что медицинские технологии прорываются в лидеры» [42] (рис. 8).

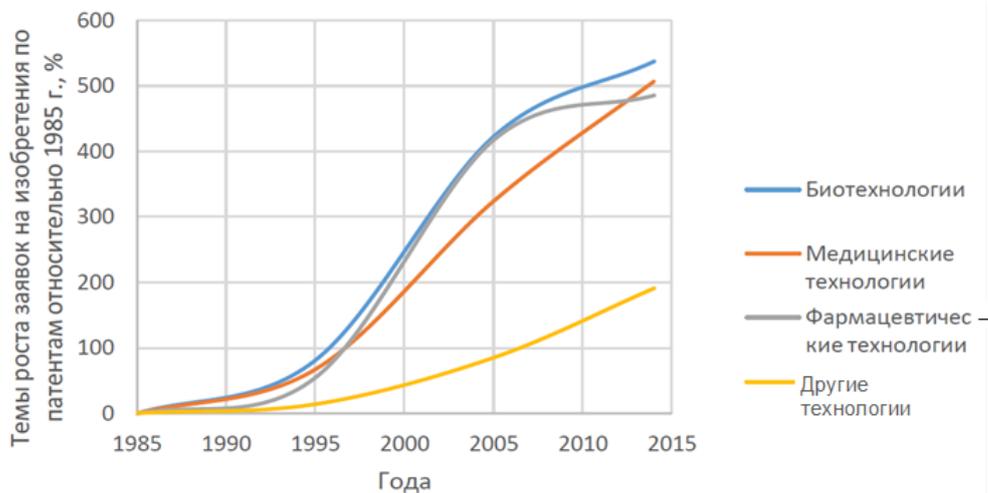


Рис. 8. Динамика роста заявок на изобретения по типам технологий [42]

Еще один подход к оценке перспективности различных направлений технологических революций был реализован путем онлайн-опроса 400 потенциальных потребителей. Результаты 5-балльной оценки востребованности различных типов инновационных продуктов представлены в таблице 4 [43].

Видно, что продукты медико-биологической направленности имеют более высокие оценки, причем у 8 продуктов оценки находятся в области $C_{2.5} = 4,13-4,08$, что больше, чем лучший продукт в киберфизической области (компактные суперкомпьютеры – $C_{2.5} = 4,02$). Среди более низких оценок различие в оценках этих направлений становится еще больше.

Средняя оценка для медико-биологических продуктов $C_{2.5} = 3,9$, что также больше, чем для киберфизических – $C_{2.5} = 3,6$. Область распределения оценок находится в диапазоне $C_{2.5} = 2,94 - 4,13 \approx 1,2$, поэтому отмеченное различие средних значений относительно велико и составляет около четверти всего диапазона оценок. Тем не менее сложно утверждать однозначно, что медико-биологическое направление принципиально превосходит киберфизическое.

Таблица 4. Оценка востребованности инновационных продуктов

Киберфизические	C₂₋₅	Медико-биологические	C₂₋₅
Компактные суперкомпьютеры	4,02	Успешное лечение инфаркта и инсульта	4,13
Умный дом	4,00	Восстановление зрения	4,11
Системы защиты от киберпреступности	3,95	Успешное лечение 95% больных раком	4,09
Цифровые платформы для бизнеса	3,89	Предотвращение генетических заболеваний	4,09
Игровые обучающие ИскИны	3,85	Лечение наркомании и алкоголизма	4,08
Интернет вещей	3,82	Восстановление слуха	4,08
Мультимедийные обучающие технологии	3,82	Регенерация органов человека	4,06
Открытые электронные библиотеки	3,76	Физическая реабилитация органов	4,05
Беспилотные автомобили	3,75	Безвредная вакцина от Covid-19	3,97
Идеальный синхронный перевод	3,70	Улучшение здоровья пожилых людей	3,96
Краудсорсинг и краудфандинг	3,64	Создание искусственного сердца	3,96
ИскИн высокого уровня	3,64	Выращивание искусственных органов	3,93
Полная компьютеризация банков	3,59	Вакцина от СПИД	3,91
Связь с квантовым шифрованием	3,58	Рост среднего срока жизни до 100 лет	3,90
Надежная биометрическая идентификация	3,57	Персонализированные лекарства	3,82
Доминирование электронной торговли	3,48	Усиление умственных способностей	3,80
Интерфейс человек – цифровая среда	3,45	Методы улучшения обучаемости	3,79
АСУ предприятия на основе ИскИнов	3,45	Системы направленной доставки лекарств	3,76
Широкое распространение криптовалют	3,41	Методы устранения ожирения	3,73
Компьютерные имитаторы реальности	3,30	Прогнозирование вирусных эпидемий	3,68
Роботизированная охрана	3,25	Система скоростного создания вакцин	3,64
Электронное правительство	3,22	Диагностика преступных наклонностей	3,56
Киберработники умственного труда	3,16	Диагностика повреждений генома людей	3,55
Тотальная видеорегистрация людей	2,94	Управление микрофлорой человека	3,39
Среднее	3,59	Среднее	3,88

3.5. Факторы, движущие различные технологические революции

Как было показано выше, время начала очередной технологической революции уже прошло примерно в 2008 году. Об этом свидетельствуют оценки экспертов (таблица 1), накопленный объем знаний человечества и произошедший финансово-экономический кризис [4], за которым следует длительный спад в мировой экономике. Тем не менее явных проявлений наступления такой революции не наблюдается. Хотя идентифицировать наступление технологической революции в ее начале достаточно сложно.

Существует мнение [6], согласно которому уже сейчас реализуется революция кибернетического типа. Но, как мы показали выше, технологические революции происходят парами, и пара кибернетических эпох уже прошла. Достигнутый рост производительности информационных технологий составляет более 10 порядков (рис. 4), и это результат гиперболической эволюции, которая

еще некоторое время будет продолжаться. Отличить гиперболическую эволюцию от технологической революции такого же типа, как предыдущая эпоха, крайне сложно.

Наука в кибернетическом направлении, как показано выше, развивается относительно медленно, и есть направления, значительно опережающие кибернетику в области научного прогресса. Но технологическая революция происходит тогда, когда широкие массы финансовых инвесторов [4] поверят в нее и начнут вкладывать свои инвестиции. А это происходит недостаточно активно.

Нужно отметить, что система факторов, влияющих на осуществление технологических революций, в рамках экономической динамики, достаточно сложна [7, рис. 5.9]. Видение авторами ее системной схемы приведено на рис. 9.

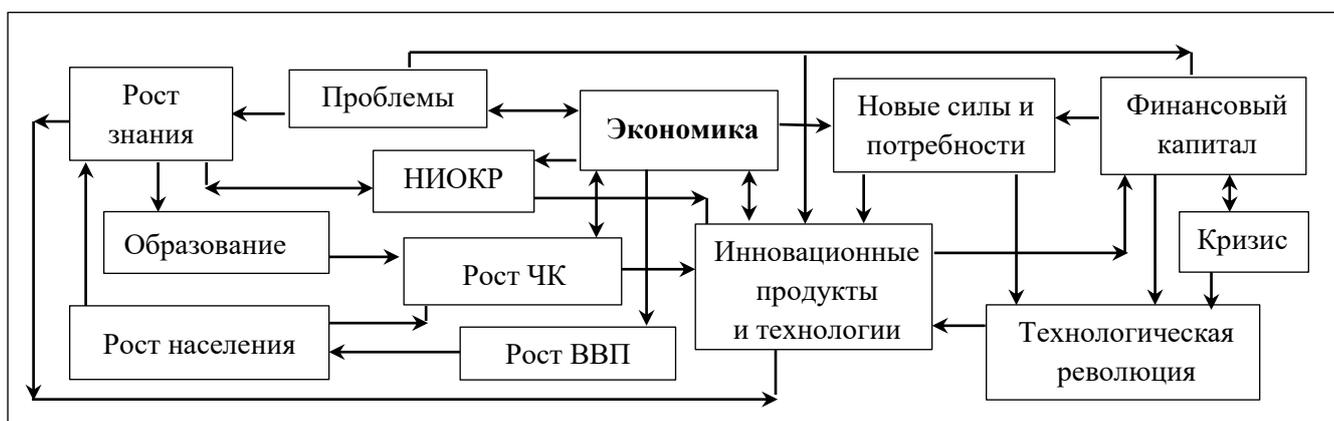


Рис. 9. Система факторов, ведущих к наступлению технологической революции

Ясно, что на наступление технологической революции влияет не только непосредственно рост объема знаний (рис. 5), хотя, как мы видели выше, этот фактор является доминирующим. Но также влияет и то, какие проблемы существуют в обществе, какие возникают потребности по мере экономического роста и какие общественные силы способствуют наступлению революции. Важную роль играет поведение финансового капитала и возникающий финансовый кризис.

Для понимания того, в каком направлении будет реализоваться очередная революция, рассмотрим основные силы, действующие в данной области. Воспользуемся для понимания данной ситуации моделью поля сил, введенной Kurt Lewin [44, 45], для анализа возможностей проведения изменения. Согласно ей, для проведения изменения необходимо сосредоточить большие силы, чтобы

преодолеть состояние равновесия между поддерживающими и сопротивляющимися изменению силами. Каждая такая сила, как правило, представлена социальными группами (здесь – субъекты), имеющими важное влияние на ситуацию, а также необходимые политические, финансовые, информационные и другие ресурсы. В отличие от К. Левина мы будем анализировать не движущие и сопротивляющиеся силы, а силы, смещающие технологические изменения в разные стороны.

Для анализа основных сил, поддерживающих киберфизическую и медико-биологическую революции, на основе анализа научной литературы с использованием мозгового штурма были сформированы карты основных сил потенциальных революций, включая основные типы субъектов этих сил, а также их основные выгоды и действия (таблицы 5, 6).

Таблица 5. Карта основных сил за киберфизическую революцию

Сила	Основная выгода	Субъект	Действие субъекта	Величина выгоды	Величина силы
Интересы ИТ-компаний	Продолжение получения высоких доходов	ИТ-компании	Выпуск новых продуктов	4,7	4,7
Всемирный экономический форум	Привлечение финансового капитала	Промышленная элита	Продвижение своих идей	3,9	4,0
Возможность контроля за обществом через социальные сети	Новые возможности управления обществом	Государство	Разработка законодательства по ИТ-контролю за обществом	4,4	4,4
Успехи развития информационных технологий	Жизнь в среде ИТ и сетевых сообществ	Молодое поколение	Спрос на новейшие ИТ-изделия	4,5	4,2
Перспективы создания ИИ высокого уровня	Создание инновационных бизнесов	Компании-инноваторы	Внедрение ИИ, заменяющих труд людей	4,3	4,0
	Новые услуги	Население	Осознание пользы и вреда	3,9	3,6
Перспективы разработки квантовых компьютеров	Технологическое превосходство	Государство	Поддержка разработки	4,0	3,8
		Компании	Участие в разработках	4,1	4,1
Среднее значение				4,2	4,1

Также был проведен опрос 30 экспертов относительно величины этих сил и выгод для потребителей. Респонденты оценивали величину этих сил и выгод как малая (3), средняя (4) или высокая (5). Осредненные значения оценок за

киберфизическую революцию даны в таблице 5, а за медико-биологическую – в таблице 6. Среднеквадратичное отклонение оценок составляло 0,7, что меньше шага оценок – 1.0. Согласно результатам опроса, среди факторов, которые приносят наибольшую выгоду субъектам в результате киберфизической революции, отмечается получение высоких доходов ИТ-компаниями (оценка 4,7) и стремление молодого поколения жить в среде ИТ и сетевых сообществах (4,5). Наибольшими силами за данную революцию являются интересы ИТ-компаний (4,7) и возможность контроля государством общества через социальные сети (4,4).

Таблица 6. Карта основных сил за медико-биологическую революцию

Сила	Основная выгода	Субъект	Действие субъекта	Величина выгоды	Величина силы
Старение населения	Продление работоспособности населения	Государства	Программы страховой медицины	3,9	3,9
	Качество жизни	Население	Спрос на продукты	4,3	4,1
	Новые ниши рынка	Бизнес	Разработка новых продуктов	4,2	4,1
Стремление быть здоровым	Качество жизни	Население	Спрос на современную медицину	4,7	4,2
Новые научные достижения	Реализация научных достижений	Научные специалисты	Инновационная активность	4,3	4,1
Опасность очередной пандемии	Устойчивость власти	Государства	Поддержка создания новых вакцин	4,5	4,5
	Получение высоких доходов	Фарм-компании	Разработка новых вакцин	4,8	4,4
Возможность продления сроков жизни	Стремление долго жить	Население	Спрос на продукцию геронтологии	4,2	4,0
Высокая смертность от рака	Выжить, если заболел	Население	Готовность платить много	4,6	4,3
Опасность генетических болезней детей	Здоровые дети	Население	Спрос на генетические анализы	4,2	4,0
Среднее значение				4,4	4,2

Медико-биологическая революция способна принести наибольшую выгоду фармкомпаниям, противодействующим опасностям новых пандемий (4,8). Также для населения важной выгодой является возможность повышения качества жизни за счет улучшения здоровья (4,7). Самыми большими силами является стремление

противостоять пандемии, причем государство обеспечивает при этом устойчивость власти (4,5), а фармкомпании – получение высоких доходов (4,4).

В целом группы разнонаправленных сил сравнимы по величине, и именно поэтому равновесие между ними почти не сдвигается, хотя пандемия Covid-19 повысила шансы медико-биологической революции.

Для более детального изучения действующих сил был также проведен опрос с помощью системы интернет-анкетирования (Яндекс-Взгляд) 500 респондентов относительно величины этих сил и выгод для потребителей. В связи с форматом интернет-опроса описание сил и их субъектов было сгруппировано в единые вопросы, содержание которых приведено в таблице 7. Вопросы, получившие в первом опросе минимальные оценки, были удалены.

Таблица 7. Основные силы очередных технологических революций

1	ИТ-компании, стремящиеся продолжить получение высоких доходов
2	Элиты, объединенные Всемирным экономическим форумом
3	Государства, стремящиеся использовать возможность контроля над обществом через социальные сети
4	Молодежь, желающая жить и работать, используя новейшие ИТ-изделия и возможности сетевых сообществ
5	Компании-инноваторы, стремящиеся использовать искусственный интеллект высокого уровня для создания успешных бизнесов
6	Государства, стремящиеся добиться технологического превосходства над другими странами за счет разработки квантовых компьютеров
7	Компании, стремящиеся добиться конкурентных преимуществ в бизнесе путем успешной разработки квантовых компьютеров
8	Люди в возрасте 60+, желающие повысить качество жизни за счет медицины
9	Компании, планирующие получать доходы на растущем рынке товаров для людей в возрасте 60+
10	Люди, нацеленные на высокое качество жизни и поддержание здоровья с использованием медицинских услуг
11	Передовые компании, стремящиеся реализовать новейшие достижения в области медицины и генетики
12	Государства, предпринимающие усилия по поддержанию стабильности общества в условиях угрозы пандемий
13	Фармкомпании, нацеленные на получение высоких доходов за счет массовой продажи вакцин
14	Люди, стремящиеся к значительному продлению сроков жизни за счет медицины и генетики
15	Люди, испытывающие страх перед возможностью заболеть раком и надежду получить лечение

Для выявления мнения различных возрастных групп респондентов были проведены опросы групп по 100 человек с минимальным возрастом 25–35 лет и

максимальным – свыше 55 лет (55+). Основная масса респондентов (300 человек) не была дифференцирована по возрастам – свыше 25 лет (25+).

Результаты опроса выгод приведены на рис. 10, а сил – на рис. 11. Формулировки вопросов на рисунках сокращены для компактности представления. В верхней части рисунков приведены результаты оценок восьми сил медико-биологической революции, а в нижней – семи сил киберфизической революции.

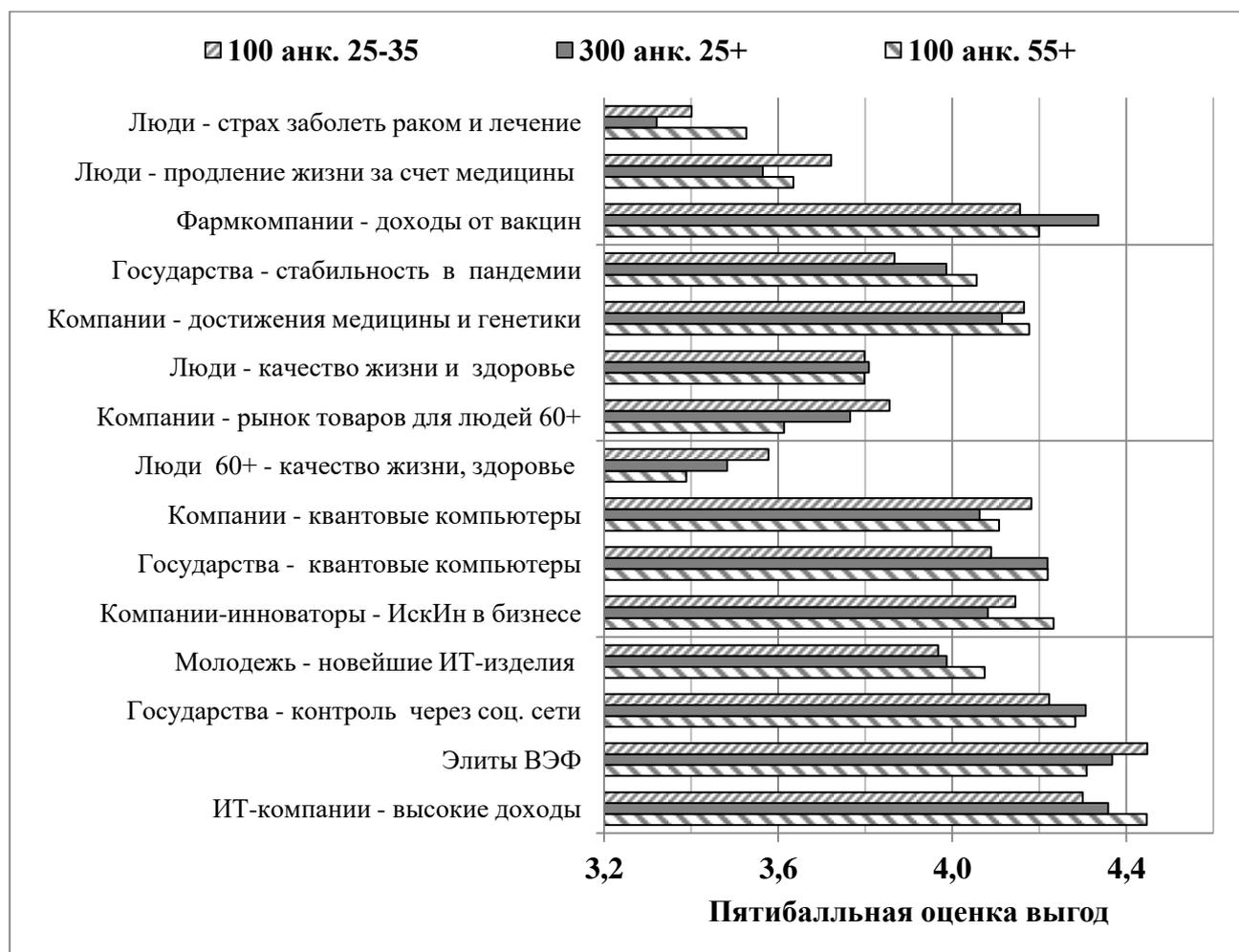


Рис. 10. Оценки выгод для субъектов двух типов технологических революций

В среднем оценки сил за субъекты киберфизической революции больше, чем за медико-биологические (4,2 против 3,9). Исследование выгод, которые получают эти силы, дает близкое по величине среднее соотношение – выгоды сил за киберфизическую революцию выше (4,2 против 3,8). Возрастная разница оценок, в среднем, невелика, хотя по некоторым вопросам она значительна. В противоположность этому при опросе экспертов (таблицы 5 и 6) средние оценки за

медико-биологическую революцию были на 0,1–0,2 выше: по выгодам 4,4 против 4,2, а по силам 4,2 против 4,1.

Согласно онлайн-опросу, наибольшие выгоды в результате киберфизической революции получают: ИТ-компании (4,4), элиты Всемирного экономического форума (4,4) и государства, которые смогут контролировать общество через социальные сети (4,3). Эти же субъекты имеют наибольшую силу.

В результате медико-биологической революции наибольшие выгоды получают: фарм-компании, производящие вакцины (4,3), передовые медицинские компании (4,1) и государства, устраняющие угрозы пандемий (4,0). Они же имеют наибольшую силу.

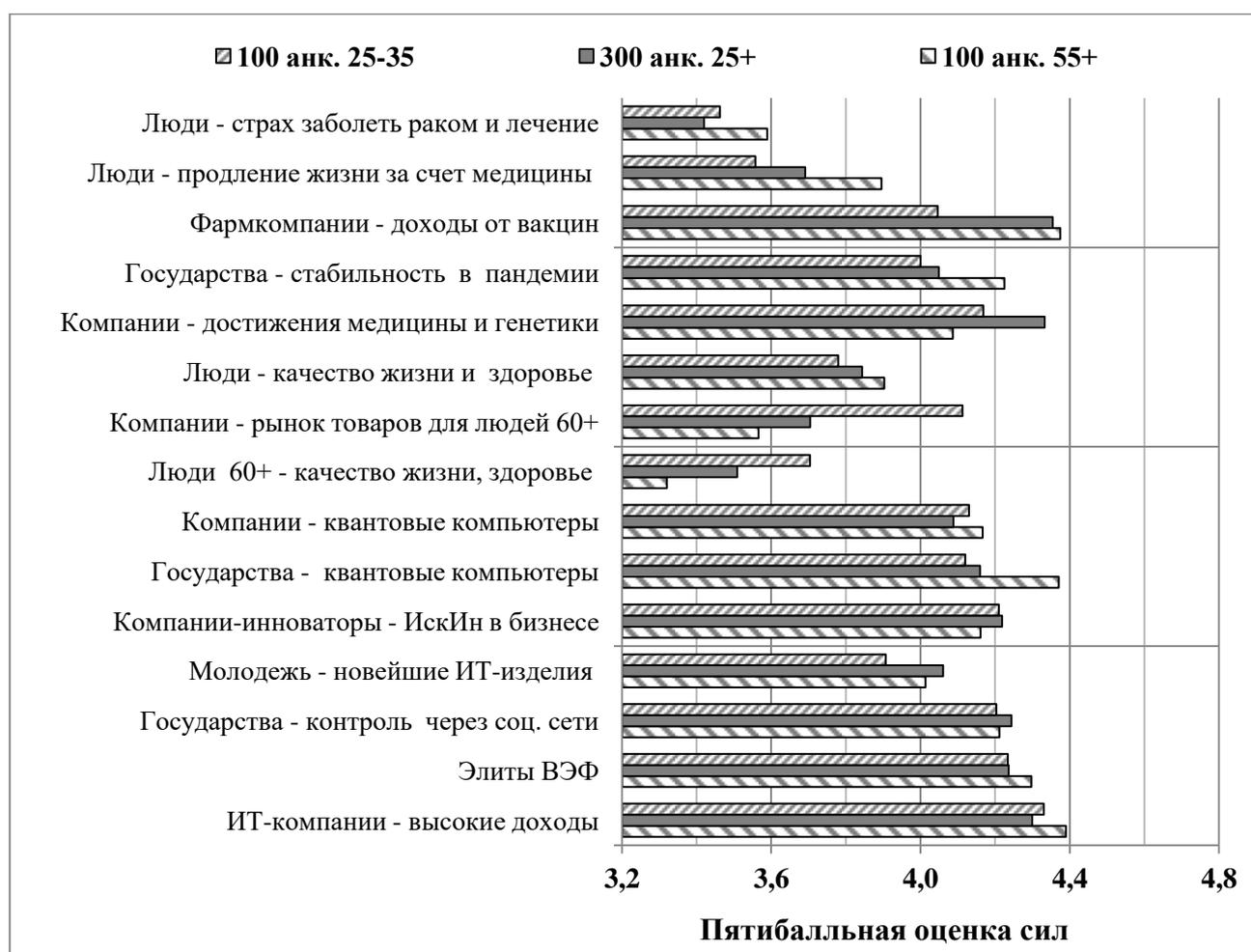


Рис. 11. Оценки сил за субъекты двух типов технологических революций

Характерно, что остальные представленные в анкете субъекты медико-биологической революции получили низкие оценки выгод и сил в диапазоне 3,4–3,8, тогда как все субъекты киберфизической революции оценены не ниже, чем на

4,0. Это может быть связано с тем, что киберфизические технологии начали внедряться раньше и их субъекты лучше организованы и известны обществу.

Из результатов онлайн-опроса следует, что выгоды и силы медико-биологической революции пока меньше известны в общественном мнении.

Обсуждение

Согласно мнению многих экспертов, кризис 2008 года является предиктором наступления периода смены технологической парадигмы. Однако явных индикаторов того, что происходит технологическая революция, не наблюдается. Возможны несколько причин такой ситуации. В частности, согласно системному подходу, в период смены состояния системы практически невозможно прогнозировать направление, по которому пойдет изменение.

Важным фактором, который может маскировать проявления технологической революции, являются большие финансовые ресурсы, накопленные промышленным капиталом ИТ-индустрии, которая стремится продлить период получения сверхдоходов. Это можно сделать за счет того, что производственная и глобальная логистические инфраструктуры находятся в работоспособном состоянии и достаточно относительно небольших маркетинговых улучшениях продуктов, чтобы продлить их жизненный цикл. Это позволяет оказывать мощное информационное давление на общество относительно направлений новой технологической революции.

Играют роль и другие факторы. Так, фармакологическая продукция традиционно очень тщательно проверяется, что закономерно, но приводит к торможению начала технологической революции. Даже в период пандемии вакцины очень долго проходят проверку, что само по себе приводит к избыточной гибели людей. В противоположность этому, ИТ-продукция очень мало тестируется, хотя вред, который она может нанести, весьма велик. Достаточно обратить внимание на игроманию, которая фактически ведет к исключению многих людей из общественной жизни. Дальнейшее развитие киберфизических технологий может привести к многомиллионной безработице достаточно квалифицированных

специалистов, но эта угроза кажется не столь опасной, как ускоренное внедрение вакцин.

Выводы

Проведены исследования генезиса и движущих сил технологических революций и обоснована модель основных факторов, характеризующих их протекание.

На основе результатов исследований 22 авторов показано, что континуум технологических революций до 1980 года выражается геометрической прогрессией $T_n = 2027 - 2190 \cdot 2^{-n/2}$. Данная прогрессия связана с ростом человеческого капитала посредством роста численности населения Земли и явного знания человечества.

Технологические революции следуют парами, близкими по содержанию и имеющими единые показатели технологического развития. Эти показатели растут экспоненциально в течение пары эпох, в частности: мощность паровых машин с 1760 по 1900 год; мировое производство электроэнергии с 1900 по 1970 год; число транзисторов на микрочипе и производительность суперкомпьютеров с 1970 по 2020 год. Разные пары революций существенно отличаются по своей парадигме, и динамика показателей их технологического развития с приходом новой пары революции значительно меняется.

Максимальное число научных статей в базе SCImago JR в 2019 году относится к медико-биологическому блоку и составляет около 35%. Компьютерные технологии и искусственный интеллект представлены в 8% статей. Ключевыми научными направлениями являются те, которые нацелены на улучшение здоровья человека и, соответственно, развитие человеческого капитала.

Анализ поля сил с использованием интернет-опроса 500 респондентов показал, что выгоды для общества от киберфизической революции примерно на 0,3 балла по 5-балльной шкале более привлекательны, чем от медико-биологической, а величина сил у нее на 0,4 выше. Малая дифференциация сил и выгод тормозит выбор инвесторами направлений инвестиций.

За киберфизическую революцию наибольшую величину имеют сила интересов ИТ-компаний (оценка 4,4) и элиты Всемирного экономического форума

(4,4). Наиболее влиятельные силы медико-биологической революции – фармкомпании, производящие вакцины (4,3), и передовые медицинские компании (4,1), реализующие новейшие достижения в области медицины и генетики.

Литература

1. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. – 1925. – Т. I. – Вып. 1.
2. Schumpeter J. A. A Theorist's Comment on the Current Business Cycle. *Journal of the American Statistical Association* V.30 (189), 1935.
3. Mensch, Gerhard: *Das technologische Patt: Innovationen überwinden die Depression*. Frankfurt a.M. 1975.
4. Perez C. (2002) *Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
5. Daniel Šmihula. *Long Waves of Technological Innovations. Štúdie a analýzy*
URL: https://www.sav.sk/journals/uploads/04201200SPS_2_2011_D%20%20Smihula.pdf
6. Schwab, K. *The Fourth Industrial Revolution*, Crown Business, New York, 2017, 192 p.
7. Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. – Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. – 210 с. URL: <http://world-evolution.ru/monograph/monography.pdf>
8. Орехов В.Д., Причина О.С., Горшенин В.П. Новые закономерности динамики технологических революций и экспоненциальной эволюции. Проблемы экономики и юридической практики. 2017. № 6. С. 43–48. М., Юр-ВАК.
9. Глазьев С.Ю., Львов Д.С. Теоретические и прикладные аспекты управления НТП // *Экономика и математические методы*. – М., 1986. – № 5. – С. 793–804.
10. Grinin L., Grinin A., Korotayev A.A. (2020). Quantitative analysis of worldwide long-term technology growth: From 40,000 BCE to the early 22nd century. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume: 155. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.119955

11. Капица С.П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. – М., 2012. – С. 79.
12. Молчанов А.В. Развитие теории С.П. Капицы. Гипотеза сети сознания // Око планеты. – 2009 // Естествознание. – 2009 // Наука и техника. – 2009. <http://oko-planet.su/science/scienceclassic/page,1,3371-a.v.-molchanov-razvitie-teorii-s.p.-kapicy.html>
13. Панов А.Д. Единство социально-биологической эволюции и предел ее ускорения. Историческая психология и социология истории. № 2, 2008. – С. 35.
14. Подлазов А.В. Теоретическая демография как основа математической истории. – М., 2002.
15. Яковец Ю.В. Циклы. Кризисы. Прогнозы. – М., 1999. – Табл. 9. <http://abuss.narod.ru/Biblio/jakovets.htm>
16. Attali J. (2011). A Brief History of the Future: A Brave and Controversial Look at the Twenty-first Century. Skyhorse Publishing Inc.
17. Bell, D. The coming of post-industrial society: A venture of social forecasting. N.Y.: Basic Books, 1973.
18. Berry B. J. Seven Long Waves in America's History. School of Economic, Political and Policy Sciences at the University of Texas at Dallas. – 2017
19. Bunch, B., Hellemans, A. The history of science and technology. Houghton Mifflin company, Boston – New York, 2004. http://eknigi.org/nauchno_populjarnoe/138496-the-history-of-science-and-technology.html
20. Facchini F. Le origini l'uomo. Introduzione alla paleoantropologia/ Pref. di Y. Coppens. Milano: JACA Book, 1993.
21. Tateisi K. The Eternal Venture Spirit: An Executive's Practical Philosophy. Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1989.
22. Toffler A., The Third Wave, London, Pan Books Ltd, 1981.
23. Catching technological waves Innovation with equity. Technology and innovation report 2021. United Nations conference on trade and development UNCTAD. Geneva.

24. Wallerstein I. The Modern World-System I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century. University of California Press, 2011. P. 14–65.
25. Foerster, H. von, Mora, P. and Amiot, L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science 132:1291–5. 1960.
26. Nicholas Crafts. Steam as a General Purpose Technology: A Growth Accounting Perspective. The Economic Journal. Vol. 114, No. 495 (Apr., 2004), pp. 338-351
27. Margaret Cheney. Tesla: Man Out of Time. – Simon and Schuster, 2001. – С. 33. – 422 с.
28. Электроэнергия. Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электроэнергия>
29. Global Energy Statistical Yearbook 2016, URL: <https://yearbook.enerdata.ru>
30. The Eniac, an Electronic Computing Machine // Nature (12 October 1946) vol. 158. – P. 500–506.
31. Control Data Computer Exceeds Specifications. (англ.) // Missiles and Rockets: The Weekly of Space Systems Engineering. – Washington, D.C.: American Aviation Publications, Inc., September 2, 1963. – Vol.13 – No. 10 – P. 39.
32. Moore's Law Transistor Count 1970-2020.png. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moore%27s_Law_Transistor_Count_1970-2020.png Accessed: 16.06.2021.
33. Moore G. Cramming More Components onto Integrated Circuits. Electronics, pp. 114–117, April 19, 1965.
34. Denning P. J., Lewis T. G. Exponential Laws of Computing Growth. Communications of the ACM, January 2017, Vol. 60 No. 1, P. 54–65.
35. FLOPS. Wikipedia URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/FLOPS> Accessed: 16.06.2021.
36. World Population Prospects 2019. United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019).
37. Library of Congress. About the Library. General Information. Year 2019 at a Glance. <https://www.loc.gov/about/general-information/#year-at-a-glance> Accessed: 11.04.2021.

38. Ushakov K. Khranilishche vechnosti [Depository of eternity]. // СЮ № 7 – М., 13.08.2007.
39. Сукиасян Э.Р. Библиотека Конгресса США, 1996 // Науч. и техн. б-ки. – 1997. – № 6. – С. 33–45. URL: http://www.gpntb.ru/win/ntb/ntb97/6/f6_05.html Accessed: 03.05.2021.
40. Scimago Journal & Country Rank. 2019. URL: <https://www.scimagojr.com/journalrank.php?year=2019&area=2400> Accessed: 17.06.2021.
41. Prichina O.S., Orekhov V.D., Blinnikova A.V. и др. (2020). Developing and Testing the Forecasting Algorithm for the Technological Revolution Theme through the Analysis of the SCImago JR Scientific Journal Database” Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, Volume 12, 04-Special Issue, p. 712–724.
42. Гринин А.Л., Гринин Л.Е. Ведущие технологии шестого технологического уклада. 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323996170>
43. Орехов В.Д., Блинникова А.В., Каранашев А.Х. Исследование генезиса инновационных продуктов и профессий будущего в условиях технологических революций // Вестник Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова. 2021; 3. DOI: 10.29025/1994-7720-2021-3-143-156
44. Lewin K. A. Dynamic Theory of Personality. New York; London: McGraw Hill Book Company, 1935.
45. Lewin, K. (1951) Field Theory in Social Science, Harper & Row.

References

1. Kondratiev N.D. Big cycles of conjuncture // Questions of conjuncture. - 1925. - Т. I. - Issue. one.
2. Schumpeter J. A. A Theorist's Comment on the Current Business Cycle. Journal of the American Statistical Association V.30 (189), 1935.
3. Mensch, Gerhard: Das technologische Patt: Innovationen überwinden die Depression. Frankfurt a.M. 1975.

4. Perez C. (2002) Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
5. Daniel Smihula. Long Waves of Technological Innovations. Štúdie a analýzy
URL:
https://www.sav.sk/journals/uploads/04201200SPS_2_2011_D%20%20Smihula.pdf
6. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution, Crown Business, New York, 2017, 192 p.
7. Orekhov V.D. Forecasting the development of mankind, taking into account the factor of knowledge: Monograph. - Zhukovsky: MIM LINK, 2015. - 210 p. URL:
<http://world-evolution.ru/monograph/monography.pdf>
8. Orekhov V.D., Reason O.S., Gorshenin V.P. New regularities in the dynamics of technological revolutions and exponential evolution. Problems of economics and legal practice. 2017. No. 6. P. 43–48. M., Yur-VAK.
9. Glaziev S.Yu., Lvov D.S. Theoretical and applied aspects of STP management // Economics and Mathematical Methods. – M., 1986. – No. 5. – S. 793-804.
10. Grinin L., Grinin A., Korotayev A.A. (2020). Quantitative analysis of worldwide long-term technology growth: From 40,000 BCE to the early 22nd century. Technological Forecasting and Social Change, Volume: 155. DOI:
[10.1016/j.techfore.2020.119955](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119955)
11. Kapitsa S.P. Paradoxes of growth: the laws of global development of mankind. – M., 2012. – S. 79.
12. Molchanov A.V. The development of the theory of S.P. Kapitsa. Hypothesis of the network of consciousness // Eye of the planet. – 2009 // Natural sciences. – 2009 // Science and technology. – 2009. <http://oko-planet.su/science/scienceclassic/page,1,3371-a.v.-molchanov-razvitie-teorii-s.p.-kapicy.html>
13. Panov A.D. The unity of socio-biological evolution and the limit of its acceleration. Historical psychology and sociology of history. No. 2, 2008. – P. 35.
14. Podlazov A.V. Theoretical demography as the basis of mathematical history. - M., 2002.

15. Yakovets Yu.V. cycles. Crises. Forecasts. – M., 1999. - Table. 9.

<http://abuss.narod.ru/Biblio/jakovets.htm>

16. Attali J. (2011). A Brief History of the Future: A Brave and Controversial Look at the Twenty-first Century. Skyhorse Publishing Inc.

17. Bell, D. The coming of post-industrial society: A venture of social forecasting. N.Y.: Basic Books, 1973.

18. Berry B. J. Seven Long Waves in America's History. School of Economic, Political and Policy Sciences at the University of Texas at Dallas. – 2017

19. Bunch, B., Hellemans, A. The history of science and technology. Houghton Mifflin company, Boston-New York, 2004.

http://eknigi.org/nauchno_populjarnoe/138496-the-history-of-science-and-technology.html

20. Facchini F. Le origini l'uomo. Introduzione alla paleoantropologia/ Pref. di Y. Coppens. Milano: JACA Book, 1993.

21. Tateisi K. The Eternal Venture Spirit: An Executive's Practical Philosophy. Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1989.

22. Toffler A., The Third Wave, London, Pan Books Ltd, 1981.

23. Catching technological waves Innovation with equity. Technology and innovation report 2021. United Nations conference on trade and development UNCTAD. Geneva.

24. Wallerstein I. The Modern World-System I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century. University of California Press, 2011. pp. 14–65.

25. Foerster, H. von, Mora, P. and Amiot, L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science 132:1291–5. 1960.

26. Nicholas Crafts. Steam as a General Purpose Technology: A Growth Accounting Perspective. The Economic Journal. Vol. 114, no. 495 (Apr., 2004), pp. 338-351

27. Margaret Cheney. Tesla: Man Out of Time. - Simon and Schuster, 2001. – P. 33. – 422 p.

28. Electricity. Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Electricity>
29. Global Energy Statistical Yearbook 2016, URL: <https://yearbook.enerdata.ru>
30. The Eniac, an Electronic Computing Machine // Nature (October 12, 1946) vol. 158. – P. 500–506.
31. Control Data Computer Exceeds Specifications. (English) // Missiles and Rockets: The Weekly of Space Systems Engineering. – Washington, D.C.: American Aviation Publications, Inc., September 2, 1963. – Vol.13 – No. 10 – P. 39.
32. Moore's Law Transistor Count 1970-2020.png. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moore%27s_Law_Transistor_Count_1970-2020.png Accessed: 06/16/2021.
33. Moore G. Cramming More Components onto Integrated Circuits. Electronics, pp. 114–117, April 19, 1965.
34. Denning P. J., Lewis T. G. Exponential Laws of Computing Growth. Communications of the ACM, January 2017, Vol. 60 no. 1, pp. 54–65.
35. FLOPS. Wikipedia URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/FLOPS> Accessed: 06/16/2021.
36. World Population Prospects 2019. United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019).
37. World Population Prospects 2019. United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019).
38. Library of Congress. About the library. General information. Year 2019 at a Glance. <https://www.loc.gov/about/general-information/#year-at-a-glance> Accessed: 04/11/2021.
39. Ushakov K. Khranilishche vechnosti [Depository of eternity]. // CIO No. 7 – M., 08/13/2007.
40. Sukiasyan E.R. US Library of Congress, 1996 // Nauch. and tech. b-ki. – 1997. – No. 6. – P. 33–45. URL: http://www.gpntb.ru/win/ntb/ntb97/6/f6_05.html Accessed: 05/03/2021.
41. Scimago Journal & Country Rank. 2019. URL: <https://www.scimagojr.com/journalrank.php?year=2019&area=2400> Accessed: 06/17/2021.

42. Prichina O.S., Orekhov V.D., Blinnikova A.V. et al. (2020) Developing and Testing the Forecasting Algorithm for the Technological Revolution Theme through the Analysis of the SCImago JR Scientific Journal Database” Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, Volume 12, 04-Special Issue, p. 712–724.

43. Grinin A.L., Grinin L.E. Leading technologies of the sixth technological order. 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323996170>

44. Orekhov V.D., Blinnikova A.V., Karanashev A.Kh. Study of the genesis of innovative products and professions of the future in the context of technological revolutions. Bulletin of the North Ossetian State University. K.L. Khetagurov. 2021; 3. DOI: 10.29025/1994-7720-2021-3-143-156

45. Lewin K. A. Dynamic Theory of Personality. New York; London: McGraw Hill Book Company, 1935.

46. Lewin, K. (1951) Field Theory in Social Science, Harper & Row