

О.Е. Котенева, Е.Ф. Фурмаков.

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ**  
**REGULARITIES OF TECHNICAL EVOLUTION**

<sup>1</sup> Котенева Ольга Евгеньевна, патентный поверенный РФ, начальник отдела патентно-технической информации ПАО «Техприбор», Санкт-Петербург;  
e-mail: [ola\\_spb@mail.ru](mailto:ola_spb@mail.ru)

<sup>2</sup> Фурмаков Евгений Федорович, доктор технических наук, профессор.

## **Аннотация**

В статье получена и исследована эмпирическая зависимость, описывающая скорость и характер обновления ключевых технических инноваций за последние 100 000 лет.

Впервые дана количественная оценка скорости обновления техники.

Выявлена закономерность сокращения длительности периодов обновления техники; она аппроксимирована обратной экспоненциальной функцией, убывающей во времени и стремящейся к определенному малому пределу. Экстраполяция кривой в будущее позволила определить вероятные значения длительности предстоящих периодов обновления техники в текущем столетии и возможные последствия их резкого сокращения.

Определено, что уже в ближайшем будущем, возможно, до конца нашего столетия период обновления техники будет составлять не более 10 лет.

Ближайшими последствиями сокращения периодов обновления техники могут стать переход системы «Общество-техника» в качественно новое состояние и возрастное техногенное расслоение общества.

**Ключевые слова:** техника, технический продукт, техническая инновация, период обновления техники.

## **Abstract**

In this article we have found and investigated the empirical dependence, describing the rate and the nature of the technology renewal from the time of its origination to the present day.

The found regularity of the process of technology renewal in time is approximated by exponential function.

Extrapolation of the exponent to the near future allowed us to reasonably predict the probable values of the duration of the technology renewal periods in the current century and the possible consequences of this renewal.

We have assumed that the technical update period will be smaller 10 years already in the end of this century.

**Key words:** technics, technical product, technical innovation, technical update period.

## **Сокращение периодов обновления техники**

В своем развитии техника, представляющая собой совокупность технологий, технических продуктов и средств их производства, прошла долгий путь от примитивных первобытных орудий труда до атомных реакторов и роботизированных производственных комплексов.

Если в далеком прошлом для существенного обновления техники требовались десятки тысяч лет, если в преантичную эпоху на создание новых технических средств уходили тысячелетия, а в средние века - сотни лет, то сегодня существенная смена технологий происходит всего лишь за несколько десятилетий (см., например, [4,5]).

Примером может служить стремительный прогресс лазерной, космической, биогенной и компьютерной технологий, история развития которых насчитывает чуть более полувека.

При отсутствии глобальных катаклизмов ускорение темпов видоизменения техники должно продолжаться и в дальнейшем, что может привести к трудно прогнозируемым социальным последствиям.

Характер уменьшения длительности периодов обновления техники и технических продуктов во времени  $t$  наглядно иллюстрируется схемой на рис.1.

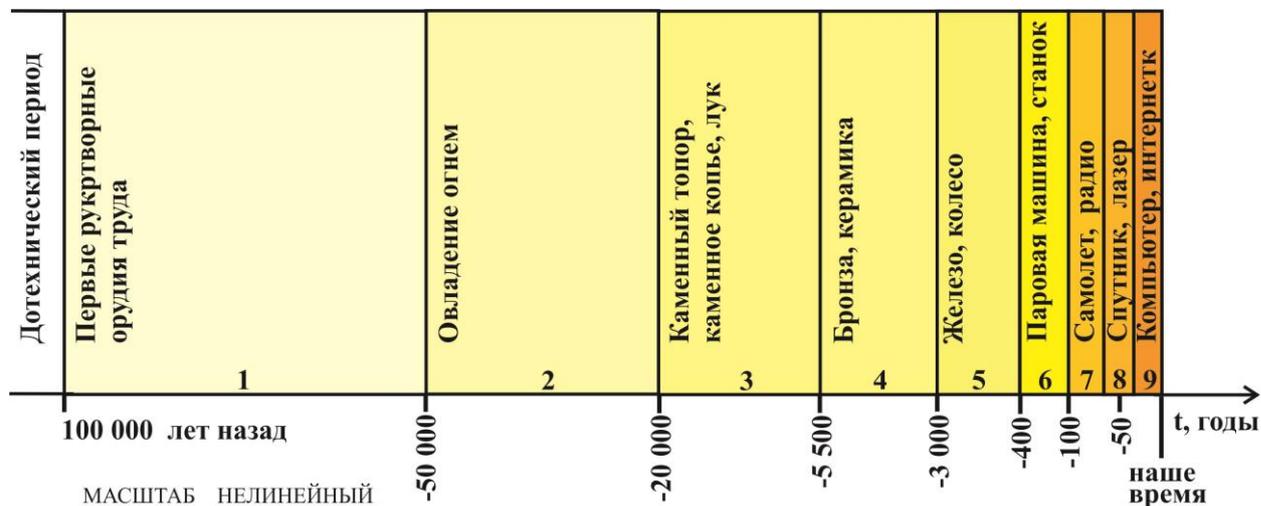


Рис.1. Схема изменения длительности периодов обновления техники во времени.

Тот факт, что скорость технического прогресса неуклонно возрастает, а периоды обновления техники со временем сокращаются, давно известен, см., например, [5], однако аналитические закономерности этих изменений и их количественная оценка, по нашим сведениям, до сих пор не определялись.

Чтобы установить, какой именно закономерности подчинена скорость обновления техники во времени, рассмотрим процесс ее видоизменения с момента зарождения (около 100 тыс. лет назад) до наших дней. С этой целью выделим в прошлом двадцать наиболее значимых реперных точек, датирующих появление пионерных для своего времени продуктов, являющихся основой каждого из условно выбранных периодов обновления техники, и составим соответствующую таблицу (см. таблицу 1). Очевидно, что некоторые из включенных в таблицу типопредставителей техники могут быть заменены другими, равнозначными им, однако, это не внесет существенных изменений в общую картину глобальной эволюции техники.

Основные реперные точки процесса технической эволюции хорошо известны, см., например [6,7]. Это - появление первых орудий труда около 100 000 лет назад, овладение огнем около 50 000 лет назад, использование бронзы - около 5 500 лет назад., железа – около 3000 лет назад. Из недавнего прошлого можно отметить паровую машину и механический станок, вызвавшие промышленную революцию 17-18 веков, создание радио в 1895г и самолета в 1903г., полет человека в космос в 1961 г., появление персонального компьютера в 1970-е годы, и интернета в 1980-е годы, смартфона в 1992 году.

Если в этот перечень добавить еще и основные реперы инженерии, то в него могут войти появление добуквенной письменности, замена римских цифр арабскими, создание больших ЭВМ и т.п.

Номер периода, N	Типопредставители техники	Время начала N-го периода	Длительность N-го периода
		(удаленность во времени), (лет назад), $t_N$	обновления техники, (лет), $T_N$
	1	2	3
T 1	Первые орудия труда	100 000	50 000
2	Овладение огнем	50 000	30 000
3	Каменный топор, керамика	20 000	10 000
4	Жилище	10 000	3 000
5	Бронза	7 000	2 500
6	Добуквенная письменность	5 500	1 200
7	Плуг	4 300	1 000
8	Железо	3 300	900
9	Древний бетон	2 400	800
10	Арабские цифры	1 600	600
11	Огнестрельное оружие	1000	500
12	Океанский парусник, Книгопечатание	500	200
13	Паровая машина, станок	300	100
14	Железная дорога	200	65
15	Автомобиль	135	20
16	Радио, самолет	115	40
17	Ракетное оружие, Атомный реактор	75	15
18	Спутник	60	20
19	Интернет, компьютер	40	10
20	Смартфон	30	

Таблица 1. Ключевые типопредставители техники и инженерии и соответствующие им длительности периодов обновления техники.

### Аналитическое исследование скорости эволюции техники

Чтобы исследовать характер изменения скорости технического прогресса во времени, вначале выберем и определим используемые в дальнейшем основные термины и параметры.

**Техника.** Этим термином мы определим совокупность технологий, технических продуктов и средств их производства. Сюда же отнесем и технологии добычи и использования огня, меди, железа и т.п.

**Ключевая** или **пионерная** инновация – это техническая инновация, появление которой существенным образом повлияло на развитие человеческого общества.

Ключевых инноваций, появившихся до нашей эры, немного и их перечень не вызывает сомнений. Выбор более современной пионерной техники менее очевиден. Кроме того, даты появления некоторых инноваций в Европе и в Китае значительно отличаются. Для объективного выбора ключевой инновации необходимо учитывать не столько ее новизну, сколько общественную значимость.

Так, например, типопредставитель «ракетное оружие» отнесен нами к периоду №7 (около 80 лет назад), несмотря на то, что ракеты известны уже более тысячи лет. Однако, активное воздействие этой инновации на общественную жизнь началось фактически лишь после создания реактивного миномета «Катюша» в конце 30-х годов прошлого столетия.

**Период обновления техники и длительность периода обновления техники** - это промежуток времени между появлением двух последовательных ключевых инноваций и его длительность.

В качестве основного исследуемого параметра выберем длительность  $T_N$  периода обновления техники. Численные значения этого параметра можно получить из таблицы 1, столбец № 3. Значения  $T_N$  рассчитывались по формуле

$$T_N = t_N - t_{N+1}, \text{ где} \quad (1)$$

$T_N$  - длительность N-го периода (лет),

$t_N$  - время начала N-го периода (лет назад),

$t_{N+1}$  - время начала последующего, (N+1)-го периода (лет назад).

Перенесем приведенные в таблице 1 значения  $T_N$  в систему координат, связывающую длительность периода обновления техники  $T_N$  с его порядковым номером N (см. рис.2).

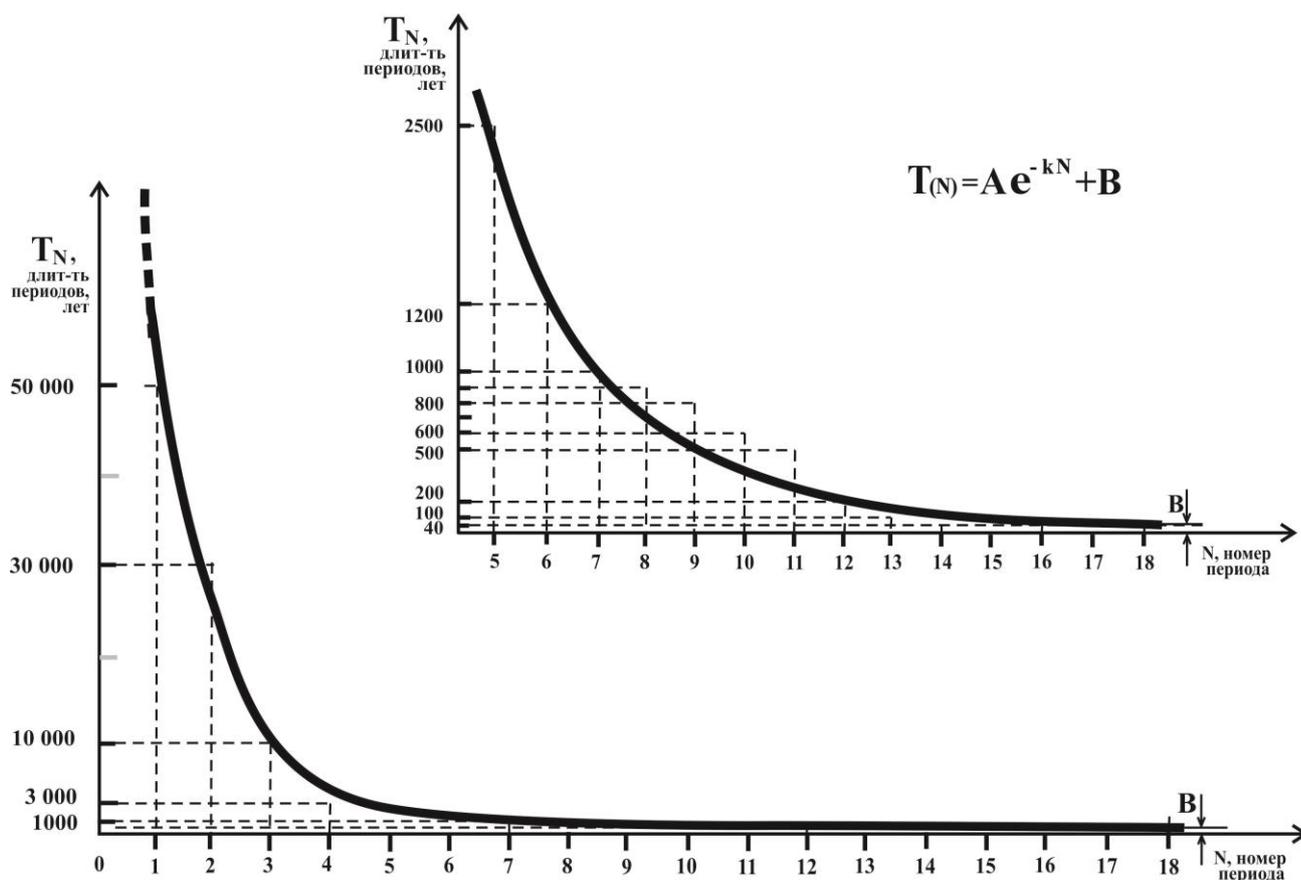


Рис.2. Кривая изменения длительности периодов обновления техники.

По вертикальной оси этой системы отложим значения длительности  $T_N$  периодов обновления техники, а по горизонтальной – их порядковые номера  $N$ .

Чем меньше порядковый номер периода, тем больше его удаленность во времени от наших дней. Началу технической эры (около 100 000 лет назад) соответствует период с номером  $N=1$ , а настоящему времени - период с номером  $N=20$ , длительность которого пока неизвестна. Начало координат отмечено номером 0, отвечающим дотехническому периоду.

Совокупность отложенных значений  $T_N$  представляет собой дискретную функцию  $T_N = f_{(N)}$  целочисленного аргумента  $N=1, 2, 3, \dots$

Для большей наглядности интерполируем дискретную функцию гладкой кривой, представленной на графике рис.2. На этом же графике дополнительно показан в укрупненном масштабе участок кривой, начиная с номера  $N=5$ .

Из графика следует, что длительность  $T_N$  периодов обновления техники на всем рассматриваемом историческом интервале неуклонно уменьшается в соответствии с монотонно убывающей нелинейной зависимостью.

Во времена первых орудий труда она составляла десятки тысяч лет и изменялась весьма незначительно. В течении каменного, бронзового и железного веков длительность периодов стала стремительно сокращаться. В наше время темп сокращения постепенно снижается, и длительность периодов стремится к весьма малой постоянной величине.

Представленную на графике кривую можно аналитически выразить обратной экспоненциальной функцией

$$T_N = A e^{-kN} + B, \quad \text{где} \quad (2)$$

$T_N$  - длительность периода обновления техники,

$N$  - номер периода,

$e$  - основание натуральных логарифмов,

$k$  - безразмерный коэффициент показателя степени при переменной  $N$ ,

$A$  и  $B$  - размерные постоянные.

Определим численные значения постоянных в выражении (2).

Постоянная  $A$  характеризует продолжительность эпохи существования технических продуктов, длящуюся около 100 000 лет; принимаем  $A=10^5$  лет.

Постоянная  $B$  соответствует минимально возможному времени адаптации пользователей к пионерной технике, составляющему около 10 лет; принимаем  $B=10$  лет.

Коэффициент  $k$  характеризует скорость сокращения периодов обновления техники со временем, его эмпирическое значение при  $N_{\max}=20$  составляет  $k=0,6$ .

Таким образом,

$$T_N = 10^5 e^{-0,6N} + 10 \quad (\text{лет}). \quad (3)$$

Формула (3) позволяет дать количественную оценку скорости обновления техники в наше время и предсказать ее в ближайшем будущем.

По характеру кривой на рис. 2 видно, что длительность периодов обновления техники неуклонно уменьшается со временем. Однако темп этого уменьшения в наши дни явно замедлился. Замедление вызвано объективными причинами: длительность периода обновления техники не может стать менее предельной величины  $B$ , обусловленной временем адаптации пользователя к новому техническому продукту.

Учитывая, что длительность последних периодов  $N=18$  и  $N=19$  уже близка к этому пределу, замедление темпов роста технического прогресса вполне объяснимо.

### Перспективы технического прогресса

Достаточно естественно полагать, что при отсутствии глобальных возмущающих факторов (планетарных катастроф, ядерных войн или губительных пандемий) характер выявленной зависимости в нашем столетии не изменится.

Это позволяет обоснованно использовать формулу (3) для вычисления длительности ближайших условных периодов обновления техники.

Подставляя в (3) значения аргумента  $N=21$  и  $N=22$ , увидим, что длительности будущих периодов  $T_{21}$  и  $T_{22}$  лишь незначительно отличаются от минимума  $V=10$  лет.

Из этого следует, что еще до окончания текущего столетия обновление техники будет происходить не периодически, а практически непрерывно, что наглядно иллюстрируется верхней кривой на рис.2.

Разумеется, рассматривая рассчитанные сроки, нельзя не учитывать возможность экономических кризисов или подъемов, глобальных войн и пр., влияющих на частоту появления и скорость распространения инноваций в обществе, поэтому возможный разброс фактических сроков может составлять не менее 10 лет как в ту, так и в другую сторону.

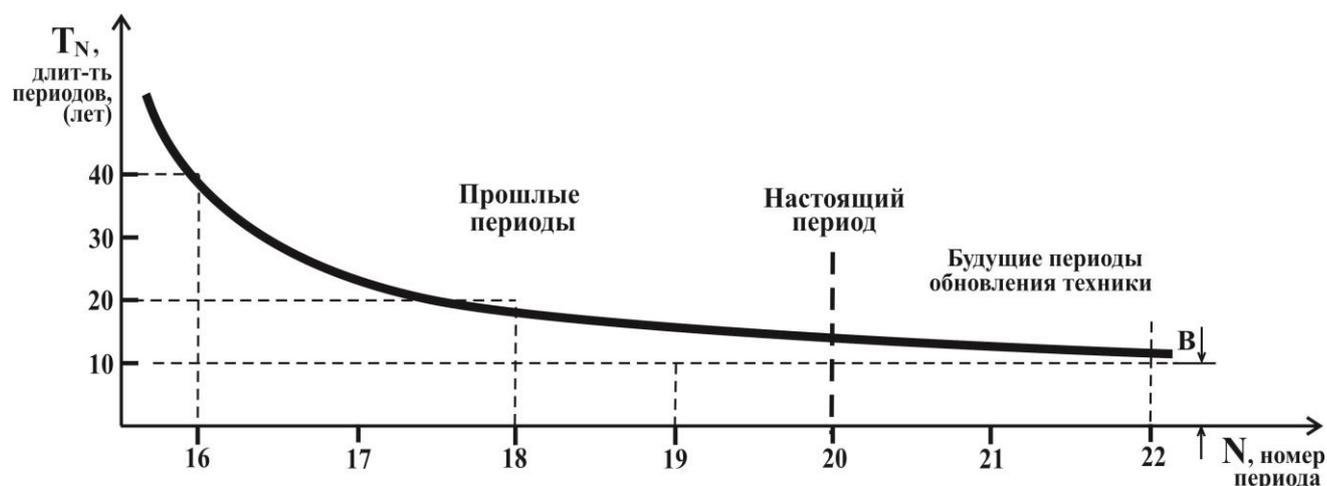


Рис.3. Кривая длительности периодов обновления техники, продолженная в ближайшее будущее.

Указать конкретный состав техники будущего практически невозможно, так как поведение сложных социально-технических систем непредсказуемо.

Но для нашего исследования это не так уж и важно, поскольку ход экспоненты во времени мало зависит от конкретного состава техники, а определяется другими, более общими причинами.

Важно то, что полученные данные дают возможность достаточно достоверно оценить характер будущего обновления техники, а также время перехода к ее перманентному обновлению.

Даже с учетом погрешностей вычисления и неточностей в выборе ключевых инноваций эти данные позволяют дать обоснованные предсказания о видоизменении взаимоотношений в системе «Общество-техника» в ближайшем будущем.

### Инверсия системы «Общество - Техника»

Помимо рассмотренной закономерности  $T_N=f(N)$ , характеризующей темпы технического развития общества, укажем еще одну важную закономерность общественно-технических отношений.

Выразим эту закономерность неравенством

$$T_N > T_{II}, \quad (4)$$

устанавливающим соотношение между длительностью  $T_N$  периода обновления техники и продолжительностью  $T_{II}$  активной жизни одного поколения людей.

Считается, что результативное воздействие очередного поколения на общественную жизнь в наше время продолжается около 30-35 лет. Как в недавнем прошлом, так и сейчас длительность активности поколения всегда была меньше периода обновления техники в строгом соответствии с неравенством (4). Однако, как это следует из предыдущего раздела, длительность  $T_{21}$  ближайшего будущего периода, скорее всего, будет составлять менее 20 лет, что неизбежно приведет к инверсии извечно справедливого неравенства (4) с преобразованием его в прямо противоположное неравенство

$$T_N < T_{II}. \quad (5)$$

Инверсия выражения (4) может вызвать глубокие и трудно прогнозируемые последствия, о которых, к сожалению, можно судить лишь в общих чертах.

Возможны три основные вида взаимодействий в системе «Общество-техника»: взаимодействие с приоритетом подсистемы «Общество», взаимодействие с приоритетом подсистемы «Техника» и относительно равносторонние взаимоотношения обеих подсистем.

Вероятнее всего, ведущее положение общества в результате предстоящей инверсии будет утрачено. Менее вероятно, хотя и не исключено, что лидирующее положение может перейти к технике, как это нередко предрекали многие футурологи. По нашему мнению, наиболее перспективен третий вид взаимоотношений - постепенное сращивание подсистем «Общество» и «Техника» в единую систему, возможно, в форме общественно-технического симбиоза.

### **Общественно-технологический фазовый переход**

Предстоящие изменения взаимоотношений общества и техники должны будут обладать двумя характерными чертами:

-во-первых, они станут настолько глубокими, что полностью вытеснят или заменят ранее существовавшие взаимосвязи общества и техники другими, вновь проявившимися соотношениями,

-во-вторых, они произойдут в историческом масштабе времени практически мгновенно.

Обе эти черты служат характерными признаками перехода системы из одного фазового состояния в другое.

Фазовый переход представляет собой скачкообразное изменение основных свойств системы при непрерывном изменении внешних параметров. В результате этого перехода изменяется качественное состояние системы и она переходит в новую фазу существования, значения параметров состояния которой коренным образом отличаются от предыдущих значений.

Предстоящее резкое изменение основных взаимосвязей системы «Общество – Техника» является по своей сути фазовым переходом. Его параметрами состояния служат параметры взаимосвязи подсистем «Общество» и «Техника», обеспечивающие устойчивость и целостность системы в целом за счет взаимопроникновения, взаимодействия и взаимозависимости этих подсистем.

При этом интенсивным и экстенсивным параметрам физических систем могут соответствовать параметры материальных и виртуальных взаимосвязей в общественно-технической системе.

Сегодня мы вплотную приблизились к глобальному событию - фазовому переходу. Что должно последовать за фазовым преобразованием системы «Общество – Техника»?

Очевидно, что отдаленные конкретные последствия перехода предсказать невозможно, ибо, как показывает практика, достоверность детального футурологического прогноза близка к нулю. О далеком будущем можно высказывать только достаточно общие суждения.

Конкретные же предсказания, формируемые по аналогии и индукции, могут оказаться удачными лишь при плавном изменении состояния анализируемой системы. При скачкообразном преобразовании они утрачивают методическую содержательность и становятся непригодными. А предстоящий фазовый переход будет проявляться в форме практически скачкообразного видоизменения с разрывом непрерывности предыдущих соотношений и взаимосвязей.

Скорее всего, периодичная смена ключевых технологий, характерная для техногенной истории человечества, в новой фазе существования системы «Общество-техника» будет заменена перманентным обновлением техники с непрерывной генерацией пионерных инноваций.

Структура будущей общественно-технической системы может кардинально отличаться от предшествующей так же, как, например, структура льда отличается от воды, несмотря на идентичность их молекул.

Тем не менее, можно предвидеть, что в начальной стадии фазового перехода исчезнут, в частности, мастерские профессии, переплетутся информационные и материальные взаимосвязи, возникнет необходимость смены нескольких профессий в течении одной жизни, распространятся неконтролируемые вредоносные инновации. Уменьшение времени адаптации к новой технике потребует ее перевода на самоуправление с сохранением за человеком небольшого числа легко запоминаемых действий и т.п.

Однако, все эти, достаточно очевидные изменения лишь отдаленно характеризуют подлинную сущность предстоящих перемен.

Гораздо важнее их те фундаментальные процессы, которые могут видоизменить социальную структуру общества и взаимоотношения людей с непрерывно возникающей новой техникой.

Примером такого видоизменения служит наступающее возрастное расслоение общества.

### **Техногенно - возрастное расслоение общества**

В ближайшем будущем в течение жизни одного поколения людей может произойти смена нескольких поколений новой техники, что неизбежно вызовет существенные социальные видоизменения общества, в том числе – его расслоение по возрастному признаку.

В юности человек наиболее адаптивен к окружающей его обстановке, запечатлевая ее всерьез и надолго без различий между новыми и традиционными техническими изделиями, поскольку для него они равноценны.

В связи с этим, вновь появившаяся и достаточно непривычная для взрослых техника воспринимается детьми как часть окружающего их мира, как нечто вполне естественное и обыденное. Свободное оперирование новой техникой и новой терминологией, не требующее

ни значительных физических усилий, ни многолетнего жизненного опыта, может не только создать у юного поколения видимость превосходства над старшим, но и дать ему реальные преимущества в квалификации, производительности труда, скорости принятия решений и пр.

При стремительном обновлении техники не исключена ситуация, когда молодые люди с возрастной разницей всего лишь в 10-15 лет будут обладать мало пересекающимися знаниями, словарным запасом, функциональными навыками и даже целями и интересами, существенно отличаясь между собой буквально во всех отношениях.

Это неизбежно приведет к глубокому возрастному расслоению общества, вызванному не известными психологическими факторами естественного взросления, а внешними условиями, навязанными технической избыточностью.

Такое расслоение опасно неожиданными последствиями, т.к. оно разделит людей не по привычным возрастным группам типа «Отцы и дети» с разрывом в 35-40 лет, а по мелким возрастным прослойкам всего лишь в 10-15 лет. Ожидаемое увеличение продолжительности жизни не сможет серьезно повлиять на этот процесс.

К чему приведет подобное расслоение предсказать невозможно, но то, что разделение целостного сообщества людей по неестественному критерию может оказаться чрезвычайно опасным, не подлежит сомнению.

В частности, может оказаться девальвированной одна из основ стабильности любого сообщества – культура. В самом широком смысле слова понятие «культура» представляет собой совокупность социальных традиций, поэтому утрата приемственности поколений может разрушить саму ее сущность.

Трудно дать обоснованные рекомендации по упреждающему демпфированию предстоящего техногенно - возрастного расслоения общества. Однако, уже одно понимание его неизбежности означает: «Предупрежден, значит вооружен». Примером результативности подобного подхода могут служить превентивные мероприятия, принимаемые человечеством по экологическим проблемам.

## Обсуждение

В основу статьи положены две разработанные авторами методические установки.

Во-первых, - это способ разбиения всей истории человечества на отдельные, технически однородные периоды с исследованием изменения их длительности во времени.

Во-вторых - постулирование неравенства, устанавливающего соотношение между длительностью периода обновления техники и продолжительностью жизни одного поколения людей с исследованием возможных последствий инверсии этого соотношения.

Однако если постулированное неравенство представляется вполне убедительным, то метод разбиения на периоды, наоборот, может показаться спорным из-за определенной условности и произвольного выбора ключевых инноваций и соответствующих им периодов обновления техники.

Этот недостаток усугубляется еще и тем обстоятельством, что техническая однородность периодов постоянно уменьшается по мере приближения к нашему времени, что снижает обоснованность выбора их временных границ. Так например, если техника давно прошедшего, пятого периода представлена, главным образом, изделиями из бронзы, то в современном, двадцатом периоде сосуществуют сразу несколько новых ключевых технологий: интернет, смартфоны, скоростной транспорт, возобновляемая солнечная

энергетика, техника на аккумуляторных электродвигателях, геномодифицированные продукты, биоимпланты и др.

Несмотря на это, и даже вопреки этому, предложенный метод разбиения, как это часто бывает при математическом исследовании реальных проблем (см., например, [8]) оказался вполне результативным.

По-видимому, его эффективность обусловлена отсутствием жестких критериев в выборе ключевых типопредставителей техники и высокой общностью требований к их общественно-технической значимости. Эти качества оказались гораздо более существенными, чем частные, чисто функциональные особенности отдельных технических продуктов.

Для подтверждения этого утверждения можно сравнить между собой две кривые  $T_N=f(N)$ , показанные на графиках рис.2 и рис.4.

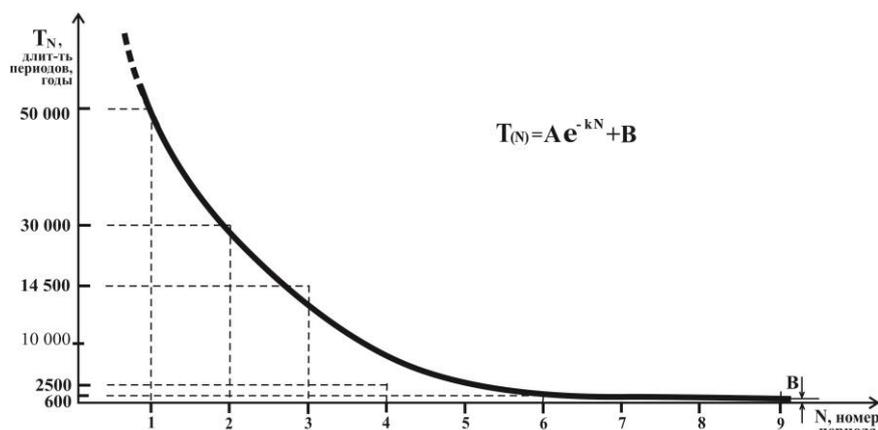


Рис. 4. Изменение длительности десяти периодов обновления техники.

Кривая на рис. 4 показывает характер изменения длительности периодов обновления техники для десяти ключевых инноваций, представленных на рис.1, в начале настоящей статьи. Текущий период обозначен цифрой 9.

Несмотря на то, что типопредставители техники и число периодов ее обновления, соответствующие каждой из этих кривых, сугубо различны, обе они описываются одним и тем же аналитическим выражением – обратной экспоненциальной функцией аргумента  $N$ :

$$T_N = A e^{-kN} + B. \quad (2)$$

Такая инвариантность предложенного метода, его независимость от второстепенных факторов позволили выявить наиболее общие закономерности технической эволюции на протяжении всей истории техники вплоть до наших дней и рассчитать вероятные значения длительности ближайших будущих периодов обновления техники. Подстановка полученных значений в вышеупомянутое неравенство 4 позволила прийти к выводу о его неизбежной инверсии и сформулировать обоснованные следствия этого события.

В частности, предсказаны скачкообразный переход общественно-технической системы в качественно новое фазовое состояние и уже обозначившееся техногенно - возрастное расслоение нашего общества.

## Литература

- 1 Горохов, В.Г. Концепции современного естествознания и техники. -М.: ИНФРА-М, 2000.
- 2 Грюнвальд А. Техника и общество: западноевропейский опыт исследования социальных последствий научно-технического развития. -М., 2011.
- 3 Кастельс, М. Информационная эпоха. Экономика, общество и культура -М.: ГУ ВШЭ, 2000.
- 4 Ковалев В.И. История техники. Тонкие наукоемкие технологии. -М: Знание, 2012.
- 5 Медоуз, Д. Пределы роста. -М.: Инфра-М, 2012.
- 6 Розин В.М. Философия техники: От египетских пирамид до виртуальных реальностей. -М.: Nota bene, 2001.
7. Ушаков Е.Ф. Философия техники и и технологии. -М.: Юрайт, 2017.
8. Е. Вигнер. Этюды о симметрии. Непостижимая роль математики в естественных науках. -М., 1971.