

Системодинамика техносферы: технический прогресс и нооритмы

Анопrienко А.Я.

Донецкий национальный технический университет
anoprien@gmail.com

Анопrienко А.Я. «Системодинамика техносферы: технический прогресс и нооритмы». Системодинамика техносферы может рассматриваться как сочетание периодических и экспоненциальных закономерностей роста. Основой периодической составляющей является модифицированная концепция волн Кондратьева, получившая название нооритмов. Суть модификации при этом заключается в привязке волн к 50-летним периодическим колебаниям с переменной амплитудой в пределах 500-летних периодов. Анализ большого объема реальных исторических данных подтверждает целесообразность и достаточную продуктивность такой модели как минимум при рассмотрении развития техносферы на протяжении последних столетий. Рассматривается влияние таких периодических закономерностей на кривые роста в различных областях техники и впервые вводятся такие понятия как JJ-кривые и jJ-кривые, описывающие характерные изменения в динамике экспоненциальных процессов развития технических систем. Особый интерес представляют jJ-кривые, характерные для периодов перехода положительной полуволны нооритмов в отрицательную. Особенности формирования таких кривых развития достаточно ясно прослеживаются на примерах развития технических систем в автомобилестроении, авиации и космонавтике. Есть основания предполагать, что выявленные закономерности позволят в дальнейшем осуществлять существенно более адекватное долгосрочное прогнозирование научно-технического прогресса и более надежное планирование развития сложных технических систем.

Ключевые слова: системодинамика, техносфера, периодические процессы развития, экспоненциальный рост, закономерности развития технических систем, технический прогресс, нооритмы

Введение

Данная публикация содержит новые результаты, связанные с уточнением закономерностей развития современной техносферы, и может рассматриваться как продолжение работ [1 – 5].

В частности, рассматривается влияние таких периодических закономерностей как волны Кондратьева (K-волны) на кривые роста в различных областях техники и впервые вводятся такие понятия как JJ-кривые и jJ-кривые, описывающие характерные изменения в динамике экспоненциальных процессов развития технических систем.

Анализ при этом ведется на основе предложенного автором обобщения и уточнения волн Кондратьева в виде концепции нооритмов [6 – 11] и на примерах развития на протяжении XX века технических систем в области автомобилестроения, авиации и космонавтики.

Одной из основных идей статьи является предположение о том, что выявленные на материалах XX века закономерности во многом будут определяющими для развития техносферы в XXI столетии и позволят повысить достоверность научно-технического прогнозирования и надежность долгосрочного планирования развития технических систем.

J-образные кривые развития

Традиционно для описания динамики развития естественных и технических систем используются S-образные кривые (или просто S-кривые), впервые предложенные в XIX веке бельгийским математиком Пьером Ферхюльстом для моделирования динамики численности населения. Соответствующее уравнение было им названо логистическим (причина использования им именно такого названия остается невыясненной), в связи с чем соответствующие кривые также иногда определяются как логистические (рис. 1, слева). К середине XX века S-кривые стали широко использоваться для описания динамики самых различных процессов развития, имеющих ресурсные ограничения. Уравнение кривой при этом имеет следующий вид:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(\frac{K - N}{K} \right),$$

где

N – некоторое отслеживаемое значение, изменяющееся в соответствии с логистической кривой;

K – предельное значение для N ;

r – масштабный коэффициент.

На начальном этапе развития по S-траектории, когда текущее значение соответствующего критерия развития намного меньше предельного (при $N < kI$ на рисунке 1 слева), кривая развития может рассматриваться как экспоненциальная, уравнение которой выглядит следующим образом:

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

Экспоненциальные траектории развития принято обозначать как J-кривые. Именно этот тип кривых развития, как будет, показано далее, является наиболее типичным для технических систем. При этом в большинстве случаев экспоненциальные процессы не переходят в классические S-кривые, как это имеет место в большинстве естественных и социально-экономических систем, а образуют специфические каскады J-кривых 2-х основных типов (рис. 1 справа):

JJ-кривые, когда развитие доходит до некоторого предельного для текущей J-кривой значения D и далее развитие идет в соответствии с новой J-кривой DE, как правило, существенно более пологой, чем предыдущая;

jJ-кривые, когда при достижении предельного для текущей J-кривой значения D дальнейшее развитие идет в соответствии с новой более пологой J-кривой BC, начинающейся не с предельного значения D, а с некоторого промежуточного, оптимального для дальнейшего развития, значения V.

Именно jJ-кривые и являются основным предметом дальнейшего рассмотрения как наиболее характерные примеры влияния периодических процессов на экспоненциальные при переходе из положительной полуволны в отрицательную.

В работе [3] для оценки скорости технического прогресса было предложено использовать значение S, определяющие количество десятичных порядков, на которое возрастает (или в некоторых случаях уменьшается) значение того или иного параметра экспоненциального развития техники и технологий. Выбор именно такого показателя был обоснован тем, что традиционно используемые коэффициенты ежегодного роста и подобные им не позволяют в случае J-кривых достаточно наглядно представить темпы развития в многолетней перспективе. Исходя из анализа множества реально наблюдаемых процессов экспоненциального развития в компьютерных и других технологиях было предложено использовать в качестве базового 20-летний период, при котором для большинства наблюдаемых J-кривых происходит рост примерно на целое число порядков в диапазоне от 1-го до 6-ти [1-5].

Выбор обозначения S как показателя темпов роста при этом был обусловлен не толь-

ко тем, что это начальный символ англоязычного слова speed, означающего скорость, но и тем, что большинство процессов развития в различных системах могут быть описаны различными S-образными кривыми, начальная часть которых представляет собой практически экспоненциальную или квазиэкспоненциальную кривую. При этом предполагалось, что цифровые значения справа от S являются показателями числа порядков, на которые происходит рост за базовый период в 20 лет (первая цифра справа от S), 200 лет (вторая цифра), 2000 лет (третья цифра) и т.д. Такая система цифровых обозначений позволяет достаточно наглядно для сравнительного анализа обозначать практически любое значение экспоненциально роста, не превышающее 10 порядков за год, что на практике позволяет описывать любые темпы роста, реально наблюдаемые для технических систем. Для подбора цифровых значений для S в работе [3] был предложен алгоритм на основе использования табличных данных типа тех, которые представлены в таблице 1.

В случае J-кривых и различных их каскадов в виде JJ-кривых и jJ-кривых вместо S целесообразно использовать значение J или Jr, где p – это длительность базового периода в годах. Для десятилетнего базового периода будет, соответственно, использоваться значение J₁₀, для двадцатилетнего J₂₀ и т.д., что позволит в общем случае при необходимости вводить и использовать базовый период произвольной длительности. По умолчанию в качестве основного будет предполагаться базовый период в 20 лет, для обозначения которого будет использоваться J без каких-либо индексов, что, соответственно, будет эквивалентно использованию обозначения J₂₀. В таблице 1, где показаны основные характеристики экспоненциального роста для шести вариантов закона Мура, значения J (первая колонка) показаны наряду соответствующими эквивалентными значениями S (вторая колонка).

Для упрощения вычисления Jr целесообразно вывести единую формулу, исходными значениями которой будут начальные и конечные годы и значения соответствующего периода экспоненциального роста, и реализовать ее вычисление с помощью, например, такого инструмента как MS Excel. Результатом вычисления будет число порядков роста за базовый период, имеющее в общем случае целую часть, эквивалентную для J₂₀ значению первой цифры при обозначении S (но уже не ограниченную максимальным значением 9), а цифры дробной части будут эквивалентны соответственно второй, третьей и т.д. цифрам при обозначении S. Например, значение J=0,05 будет соответствовать S005, а значение J=1,23 будет соответствовать S123. Это означает, что вычисление J автоматически позволяет получить с требуемой точ-

ностью все цифры для обозначения S. В общем случае для сравнительного анализа достаточно просто вычислять и указывать для соответствующих J-кривых значение J_p , но с целью обеспечения возможности максимально наглядного сопоставления следуемых далее графиков с материалами статьи [3] темпы роста на них обозначены с помощью S.

При экспоненциальном развитии коэффициент ежегодного роста R_y при известных начальных и конечных значениях экспоненциально изменяющейся величины Z для периода от Y_b до Y_e вычисляется следующим образом:

$$R_y = \sqrt[(Y_e - Y_b)]{\left(\frac{Z_e}{Z_b}\right)},$$

где

Y_b – начальный год;

Y_e – конечный год;

Z_b - начальное значение;

Z_e – конечное значение.

Рост на порядок за базовый период p (в годах) обеспечивается при ежегодном коэффициенте роста R_p , который вычисляется следующим образом:

$$R_p = \sqrt[p]{10}$$

На базе данных двух значений вычисляется искомый показатель J_p – количество порядков, на которое происходит рост за базовый период:

$$J_p = \log_{R_p} R_y.$$

Для реализации вычисления J_p на базе MS Excel используется функция LOG(X;a), которая возвращает логарифм заданного числа X по заданному основанию a. При этом в качестве X используется значение R_p , а в качестве a – значение R_y .

Системодинамика и нооритмы

На рисунке 2 показано концептуальное представление периодической составляющей системодинамики техносферы с конца XIX века до середины XXI века как последовательности индустриальных революций (ИР), соответствующих положительным полупериодам волн Кондратьева (К-волн К3, ..., К6) с возрастающей амплитудой [2]. Фактически, на данном рисунке периодическая составляющая представлена в виде нооритмов [6 – 11], концепция которых развивается автором с начала 90-х годов [6] на базе идей Н.Д. Кондратьева [12 – 15]. Но если Н.Д. Кондратьев предполагал сугубо экономический характер и природу периодических изменений, ограниченных к тому же всего двумя столетиями капиталистического развития, концепция нооритмов предполагает существенной более общий характер их проявлений: не только

в экономике, и не только на определенном этапе ее развития, но и практически во всех областях человеческой деятельности на протяжении практически всей известной истории цивилизации.

При такой всеобщности действия и различных проявлений на текущем этапе сложно что-либо однозначно утверждать об источниках и причинах таких колебаний. Ясно лишь одно: характер человеческой деятельности имеет устойчивую многолетнюю периодическую составляющую, определяемую, по всей видимости, некоторыми устойчивыми периодическими изменениями в характере высшей нервной деятельности всех и каждого, подобно аналогичным изменениям в суточном, месячном и годовом циклах, имеющих внешнюю космическую первопричину. Но если причина перечисленных периодических изменений на сегодня хорошо известна, то причина существенно более длительных изменений, частным случаем которых являются волны Кондратьева, на сегодня не ясна и можно лишь предполагать по аналогии ее экзогенный космический характер. А так как проявляются эти периодические изменения через весьма малозаметные, но сильные своей массовостью изменения в эмоциональных проявлениях и разумной деятельности человека, то в свое время их было предложено назвать нооритмами [6], т.е. «ритмами разума» (от греческого ноос – разум), а точнее – их длиннопериодической многолетней составляющей [6 – 11].

От классических волн Кондратьева концепция нооритмов отличается следующими уточнениями, положениями и обобщениями, основанными на анализе большого числа эмпирических данных как личностного, так и цивилизационного характера:

- В период положительных полуволн рациональность и согласованность разумной деятельности заметно возрастает пропорционально текущей амплитуде нооритмов, что определяет нарастание масштабов и сложности совместной человеческой деятельности, а в период отрицательных полуволн нарастают процессы автономизации и хаотичности (рис. 2), что с одной стороны, приводит к нарастанию кризисных и застойных явлений с точки зрения общечеловеческого прогресса, а с другой – к активизации процессов творческого переосмысления деятельности, упрощения и минимизации (подобно тому, как человеческий мозг во сне перерабатывает накопленную за день информацию, обобщая ее и отбирая для долговременной памяти только самое важное).
- Основная периодичность нооритмов может быть принята равной 50-ти годам, т.к., хотя в каждом конкретном цикле и возможны

определенные флуктуации, на длительных периодах в сотни и тысячи лет наблюдается удивительная стабильность проявлений нооритмов именно с 50-летней периодичностью.

- Начало положительных полуволн 50-летних циклов приходится примерно на 43-й и 93-й годы, а завершение – на 18-й и 68-й годы (с возможным не более чем годичным отклонением) каждого столетия.
- С периодичностью в 500 лет меняется амплитуда многолетних нооритмов, достигая максимумов на рубежах тысячелетий и в их середине.
- Нарастание амплитуды нооритмов определяет своего рода «раскачку», позволяющую на гребнях максимальных волн переходить в качественно новое состояние цивилизации, что, например, хорошо прослеживается на примере процессов глобализации: подобно тому, как на рубеже XV и XVI веков Эпоха Великих географических открытий привела к первичному освоению европейской цивилизацией всего земного шара, на рубеже XX и XXI веков развитие транспортных, телекоммуникационных и компьютерных технологий привело к формированию единого глобального пространства, в первую очередь информационного.

Следует признать, что наибольшей «странностью» в концепции нооритмов является «круглое» число лет в 50-летних и в 500-летних периодах. И хотя именно такая длительность периодов многократно проверена и уточнена на множестве эмпирических данных, окончательного рационального объяснения этому пока нет. На данном этапе можно считать, что такая специфическая особенность нооритмов, не противоречащая как минимум на текущее время объективным данным, является очередным свидетельством не случайного появления человека во Вселенной (из множества выявленных на сегодня) и своего рода знаком, что человеческое стремление к познанию, созиданию и прогрессу является видимым проявлением особой миссии человека, направленной на поддержание жизненных процессов вселенского масштаба. Но даже не делая крайне смелых допущений такого рода, можно просто рассматривать нооритмы со всеми их допущениями и особенностями как достаточно простую и хорошо работающую модель исторической динамики, применимую в числе прочего и к системодинамике техносферы.

Следует отметить, что и само становление системодинамики как научного направления вполне вписывается в динамику нооритмов. Первичное зарождение идей системодинамики связывают с работами Александра Александровича

Богданова 1899-1917 гг. [16 – 21], в которых к 1913 году сформировалась концепция тектологии или «Всеобщей организационной науки» [18]. Это фактически положительная полуволна К3, соответствующая периоду второй промышленной революции ПР2 (рис. 2). В последующих работах, опубликованных впервые в период с 1917 по 1922 год [19 – 20], эта концепция лишь детализировалась и осмысливалась. Следующая положительная полуволна К4, соответствующая периоду, обозначаемому как научно-техническая революция, привела к формированию системодинамики уже в современном понимании. Считается, что реальная история системных исследований как влиятельной парадигмы научного мышления началась после Второй мировой войны на базе общей теории систем Людвиг фон Берталанфи, развиваемой им с 1945 года [22 – 27], и работ Дж. Форрестера в области индустриальной динамики, инициированных им в 1960-е годы [28 – 30]. Первая книга Дж. Форрестера «Индустриальная динамика», известная в русском переводе как «Основы кибернетики предприятия» [18], где был впервые проработан метод системной динамики, была издана в 1961 году. К концу 60-х годов были изданы основные работы, обобщающие развитие системодинамики в ее начальный чрезвычайно оптимистичный период (работы [32, 33] и другие).

Но уже в 70-е годы с наступлением отрицательной полуволны со всеми ее специфическими особенностями основная цель системной динамики сместилась, как отмечает Садовский В.Н. в работе «Смена парадигм системного мышления», в сторону «разработки теоретических и методологических средств понимания хаоса, необратимости, неустойчивости, неравновесности и порядка» [31].

В области системодинамики техносферы в этот период издается ряд фундаментальных работ [34 – 39], обобщающих развитие техники и технологий в период научно-технической революции (К4) и направленных на решение одной из важнейших задач, возникших в этот период беспрецедентного технического прогресса – задачи научно-технического прогнозирования и долгосрочного планирования. Во всех этих работах особую роль занимают процессы экспоненциального развития техники и технологий, впервые четко проявившиеся в период положительной полуволны К4 (рис. 2). В ряде этих работ отмечается также и определенное влияние периодических составляющих. Влияние кондратьевских волн на закономерности развития технических систем отмечается, в частности, Дж. Мартино [36, с. 151]. Однако детально взаимосвязь К-волн и динамики развития технических систем до настоящего времени не исследовалась.

Рассматривая закономерности развития техносферы нельзя также не обратить внимание на целый ряд работ известного советского изобретателя Г.С. Альтшуллера и его школы, направленных на разработку и развитие теории решения изобретательских задач [40 – 50]. При этом в одной из этих работ прямо формулируется то, что в большинстве работ данной школы подразумевается, как минимум, по умолчанию: «Фундаментом всей Теории Решения Изобретательских Задач (ТРИЗ) являются именно Законы Развития Технических Систем (ЗРТС)» [48]. Основы ТРИЗ были заложены работами Г.С. Альтшуллера 1960-х годов [40, 41] и в дальнейшем развивались в направлении прогнозирования развития технических систем [42 – 45]. Для этих целей в 1975 году Г.С. Альтшуллер использовал, как и большинство исследователей в то время, S-образные кривые, а сам подход к прогнозированию он называл методом огибающих кривых [40]. В 1979 году Г.С. Альтшуллер пишет уже о «линиях жизни» технических систем в виде S-образных кривых: «Жизнь технической системы (как, впрочем, и других систем, например, биологических) можно изобразить в виде S-образной кривой, показывающей, как меняются во времени главные характеристики системы (мощность, производительность, скорость, число выпускаемых систем и т. д.)» [41]. Аналогично, например, и Дж. Мартино отмечает, что из множества методов прогнозирования наиболее надежными являются те, которые основаны на определении и использовании параметров S-образных кривых развития [36].

Следует отметить, что в последующем исследовании в области системодинамики сосредоточились преимущественно на динамике развития естественных и социально-экономических систем, где S-кривые действительно встречаются настолько часто, что их можно считать основным способом описания количественной динамики.

Но эпоха информационно-компьютерной революции 1993-2018 гг. (ИКР) породила беспрецедентное количество процессов сугубо экспоненциального развития, аналогичных закону Мура [1, 4] (рис. 3), что применительно к технике и технологиям привело постепенно к пониманию, что для техносферы S-кривые отнюдь не являются преобладающими. Например, в работе [49] представителями школы Альтшуллера применительно к техническим системам делается однозначный вывод: «Реальные кривые развития, как правило, имеют форму, существенно отличающуюся от S-образной» и рекомендуется вместо термина «S-образная кривая» использовать определение «кривая развития». При этом уверенно утверждается, что «параметры новых систем, которые либо востребованы на рынке, либо используют инфраструктуру предыдущей,

растут по экспоненциальной кривой» [49]. К аналогичному выводу приходит и М. Рубин (также представитель школы Альтшуллера): «Развитие реальных технических систем в соответствии с S-образными кривыми скорее редкость, чем общее правило» [50].

В целом можно констатировать, что 3-я волна развития системодинамики принесла понимание того, что для техносферы определяющее значение имеют, с одной стороны, законы цикличности (см., например, работы Н. И. Дятчина [57 – 59]), а с другой – экспоненциальные J-кривые развития и их различные каскадные последовательности в виде JJ-кривых и jJ-кривых. При этом, если JJ-кривые достаточно часто встречаются без какой-либо привязки к нооритмам (рис. 4), то jJ-кривые наиболее характерны для экспоненциальных процессов развития в периоды перехода нооритмов от положительной полуволны к отрицательной (рис. 5). Несмотря на все многообразие процессов развития техники и технологии можно также отметить, что для положительной полуволны характерно ускоренное развитие и стремление к достижению предельных значений в рамках экспоненциального развития, а для отрицательной – относительно замедленные темпы развития и стремление к оптимизации, которое во многих случаях можно охарактеризовать лозунгом «малое прекрасно» (рис. 5).

Достаточно наглядной иллюстрацией jJ-кривых являются процессы развития в автомобилестроении, авиации и космонавтике, наблюдавшиеся на протяжении XX века.

Автомобилестроение

История современного автомобиля неразрывно связана с историей второй промышленной революции в 1893-1917 гг. и беспрецедентным индустриальным рывком США в этот период. Характерно, что Генри Форд, олицетворявший американскую промышленность того времени, свой первый автомобиль собрал именно в 1893 году. С началом нового века американская автомобильная промышленность начала развиваться опережающими темпами [60, 61]. При этом если в целом ежегодное производство автомобилей в США наращивалось экспоненциально с чрезвычайно высокой скоростью S3, характерной, например, для второго закона Мура в 1970-е годы [4], то производство автомобилей на заводах Форда нарастало с невиданными до этого темпами S5 (рис. 6). При этом внедрение конвейера в 1908 году стало, фактически, лишь эпизодом в процессе поддержания темпов S5 на протяжении весьма длительного периода наращивания выпуска автомобилей на заводах Форда, начавшегося с выпуска модели А в 1903 году. Ford T стал первым в мире массовым автомобилем благодаря тому, что именно эта мо-

дель стала первой, производство которой было поставлено на конвейер. Первая модель Ford T увидела свет в 1908 году и выпускалась с небольшими изменениями до 1927 года, войдя в пятерку наиболее успешно продаваемых машин за всю историю. Общий тираж автомобиля за все годы выпуска превысил 15 миллион единиц. При этом Ford T во многом определил базовые характеристики массовых автомобилей практически на все следующее столетие: 4-х цилиндровый мотор с рабочим объемом в 2-3 литра с водяным типом охлаждения мощностью порядка 60-70 лошадиных сил, что позволяло развивать максимальную скорость не менее 60-ти-70-ти км/час при расходе бензина на 100 км на уровне 10-ти-15-ти литров. Фактически, по большинству параметров Ford T соответствовал уровню оптимальности В на графике jJ-кривой (рис. 5).

Когда появилась «Модель Т», большинство автомобилей в США стоили порядка 1500 долларов. Начальная же цена на Ford T была почти на треть меньше, чем у самого дешевого автомобиля других фирм. К 1917 году ежегодное производство Ford T приблизилось к миллиону, причём цена постоянно снижалась и к этому времени достигла примерно 350-ти долларов при среднем ежегодном уровне доходов в США порядка тысячи долларов. Благодаря этому моторизация американского общества произошла на 30 лет раньше, чем в Западной Европе. Ford T стал также и первым «всемирным» автомобилем, выпускавшимся во многих странах мира. В частности, филиалы «Форда» имелись в Германии, Великобритании, Франции, Австралии. В течение жизни целого поколения, с 1908 до 1927 года, по земле разъезжало больше фордовских автомобилей, чем всех остальных, вместе взятых. И хотя темпы наращивания выпуска автомобилей заметно снизились после 1918 года, к 1928 году ежегодное производство автомобилей на заводах Форда выросло почти до 5 млн. автомашин, что в 10 раз превышало суммарный ежегодный выпуск автомобилей в Великобритании, Германии и Франции вместе взятых. Форд мог производить до 6 тысяч автомобилей ежедневно, в то время как его ближайший французский конкурент обеспечивал сборку лишь 700 машин в год. При этом стоимость фордовских автомобилей благодаря внедрению новых методов производства постоянно снижалась: если в 1910 году квалифицированный рабочий должен был работать на покупку машины 20 месяцев, то к 1918 году этот срок сократился до 3-х месяцев. Таких темпов роста, которые наблюдались на заводах Форда в 1903-1916 гг., после этого более никогда и нигде в автомобилестроении не было зафиксировано. Темпы роста производства начали заметно спадать только в 1920-21 гг. – это был первый ярко выражен-

ный период спада в американской экономике, когда, например, количество безработных (в основном, правда, за счет вернувшихся с войны солдат) выросло с полумиллиона до 5-ти миллионов.

Ford T появился и развивался в то время, когда «настоящим» автомобилем считали огромный экипаж с роскошным кузовом и мощным двигателем ценой в несколько тысяч долларов – в разы, а иногда и на порядок дороже фордовских автомобилей. Именно эта категория автомобилей соответствовала линии развития на участке BD jJ-кривой на рисунке 5. Для повышения мощности двигателя на автомобилях данной категории в них наращивали число цилиндров, вплоть до 8-ми на серийных автомобилях, что было в 2 раза больше чем в двигателях модели Ford T. Первым относительно массовым автомобилем с 8-цилиндровым двигателем объемом более 5-ти литров стал Cadillac модели 1914 года. В первый же год было выпущено порядка 13 тысяч «Кадиллаков» с этим двигателем. Относительный успех данного автомобиля привел к появлению в последующие годы и ряда других аналогичных моделей. Но с 1918 года производство таких автомобилей, фактически соответствующих уровню D jJ-кривой на рисунке 5, резко сократилось в пользу экономических «народных» моделей.

Справедливости ради следует отметить, что в 1913 году был также разработан 12-цилиндровый автомобильный двигатель объемом 9 литров и мощностью 150 кВт, который устанавливался на автомобиль Toodies V, установивший несколько рекордов на протяжении 1913 и 1914 годов. Одним из первых серийных автомобилей с 12-цилиндровым двигателем явился Packard «Twin Six», который в небольших количествах выпускался в период с 1915 по 1923 год. Известны и другие попытки установки на автомобили подобных двигателей вплоть до 1930-х годов, когда улучшения в конструкции камеры сгорания и формы поршня позволили более лёгким 8-цилиндровым двигателям превзойти 12-цилиндровые в мощности, что сделало их дальнейшее использование нецелесообразным. И только в 1960-е годы они опять относительно часто стали применяться в дорогих спортивных и роскошных автомобилях благодаря своей мощности, более плавной работе и характерному звуку. В целом следует отметить, что в автомобильной промышленности 12-цилиндровые двигатели не получили массового распространения из-за их сложности и стоимости, что вполне соответствует их принадлежности к уровню D с очень незначительным продолжением развития в виде JJ-кривой (рис. 1). Это же, строго говоря, верно и в отношении 8-цилиндровых двигателей.

Магистральная линия развития в автомобилестроении после 1918 года пошла по траектории BC jJ-кривой с автомобилем Ford T в точке B (рис. 5). Темпы роста ежегодного выпуска автомобилей при этом существенно сократились, составляя всего лишь S05 в период научно-технической революции, опускаясь до S01 в период отрицательной полуволны в 1970-е и 1980-е годы и незначительно возрастая (до S02) при переходе к положительной полуволне в 1990-е годы (рис. 7). При этом среднее значение темпов роста S02 при более детальном рассмотрении соответствует темпам роста S03 для легковых автомобилей и S01 – для коммерческих (грузовых и пр.), что наглядно видно на рис. 8. В соответствии с концепцией нооритмов к 2020 году возможно заметное снижение и этих, относительно невысоких, темпов роста.

В данном контексте следует предполагать некоторую утопичность планов фирмы Tesla и производителей «интеллектуальных» автомобилей повторить успех американской автомобильной промышленности вообще и Форда в частности в наращивании ежегодного выпуска нового класса автомашин (рис. 9) в связи с тем, что траектории их интенсивного роста начаты относительно поздно в пределах положительной полуволны и сохранить такие же высокие темпы наращивания производства при переходе в отрицательной полуволне в последующие годы им вряд ли удастся.

Авиация

Еще более ярким проявлением jJ-кривой явилось развитие авиации при переходе от положительной волны к отрицательной в конце 1960-х годов.

В первую очередь это наглядно видно на особенностях действия в разные периоды так называемого закона Августина [62 – 66], сформулированного бывшим высокопоставленным сотрудником корпорации Lockheed Martin Нормом Августином [62]. Традиционно законом Августина называют наблюдаемый на протяжении почти всего XX века экспоненциальный рост стоимости военных самолетов со скоростью S1, т.е. на порядок каждое десятилетие (рис. 10). Изначально в работе [62], написанной в середине 80-х годов эта закономерность была отмечена среди множества прочих наблюдений, зачастую выраженных в шуточной и полшутливой форме. В частности, утверждалось, что если аппроксимировать бешеные темпы роста стоимости современных истребителей, то окажется, что в 2054 году весь военный бюджет США будет израсходован на покупку одной единственной боевой машины. Но в реальности оказалось, что отмеченная Н. Августином закономерность экспоненциального роста стоимости действительно во многом определяет реальное

развитие современной боевой авиации и существенно влияет на многие другие процессы в авиастроении. Анализ графика роста стоимости боевых самолетов показывает, что в период отрицательной полуволны в 1970-е и 1980-е годы реальный рост стоимости практически прекращается и возобновляется вновь при переходе к положительной полуволне в 1990-е годы (рис. 10). В другом варианте представления закона Августина видно, что подобная пауза в перманентном наращивании стоимости боевых самолетов наблюдалась и в период отрицательной полуволны 1920-х и 1930-х годов (рис. 11).

Результаты более детального анализа действия закона Августина в послевоенный период (начиная с середины 1940-х годов) с учетом инфляции доллара с 1945-го по 2015 год представлен на рис. 12. Наглядно видно, что положительная полуволна 40-х и 50-х годов породила большое разнообразие и быстрый рост стоимости самолетов. «Застойная» отрицательная полуволна 70-х и 80-х отмечена триумфом 2-х основных типов самолетов (F-15 и F-16), истоки которых следует искать в середине 60-х. В частности, основная задача при разработке многоцелевого самолета F-15 заключалась в перехвате советских МиГ-25, для чего требовалась громоздкая РЛС и комплект ракет средней дальности, что значительно увеличивало как вес, так и расходы. В целом, F15 стал продолжением «дорогой траектории» развития авиации, которая соответствовало росту стоимости со скоростью S1 даже с учетом инфляции доллара. Продолжением этой линии стала разработка к середине 1980-х годов очень дорого, но весьма неудачного многоцелевого малозаметного самолета F-117. Завершением этой линии можно считать принятие на вооружение к 2000 году очень амбициозного и самого дорогого в истории боевой авиации (стоимостью порядка миллиарда долларов) самолета B-2 Spirit.

В противовес этому к концу 1960-х годов в США сформировалась своеобразная «истребительная мафия», которая настаивала на создании легкой и высокоманевренной машины для использования только в качестве истребителя и в светлое время суток. Такая концепция была, с одной стороны, направлена на преодоление четко выявившейся к тому времени концепции экспоненциального роста стоимости новых самолетов, что позднее было названо законом Августина, а с другой – на максимальное упрощение и минимизацию всего, связанного с разработкой самолета, что полностью соответствовало духу наступившей отрицательной полуволны. Весьма характерным является следующее высказывание одного из идеологов нового самолета, системного аналитика фирмы General Dynamics: «Цель состояла в создании самого дешевого самолета для воздушного дневного боя в Европе против

сил Варшавского договора» [65]. О том, насколько удалось упростить самолет, свидетельствуют многочисленные позитивные отзывы пилотов. Так, например, если на других самолетах на отработку большинства навыков боевого применения требовались месяцы тренировок, то на F-16 те же навыки можно было отработать буквально за три вылета. Но многим многочисленным упрощения самолета показались чрезмерными и они утверждали, что первые F-16 были больше похожи на легкие самолеты Cessna 172, у которого нет даже базовой системы посадки по приборам и радиовысотмера.

Главное при этом заключалось в том, что тенденцию к экспоненциальному росту стоимости удалось частично преодолеть: фактически F-16 стоил столько же (с учетом инфляции), сколько разработанный на 20 лет раньше F-4 «Фантом». По сути это означало, что F-16 начал новую «экономную» линию развития боевых самолетов, соответствующую траектории BC на рисунке 5. Именно эта линия стала основной при разработке нового семейства самолетов 5-го поколения в условиях положительной полуволны рубежа тысячелетий.

Чрезвычайная дороговизна B-2 Spirit привела к резкому сокращению программы его выпуска: вместо запланированных 132-х самолетов построено было только 20 и дальнейшее его развитие к настоящему времени признано, по сути, нецелесообразным, так как с учетом стоимости соответствующих исследований и разработок, цена одного экземпляра такого самолета в полном соответствии с законом Августина приближается уже к 2-м миллиардам долларов. Другими словами, B-2 Spirit ко времени завершения текущей положительной полуволны достиг тупикового уровня D (рис. 5).

В то же время, стоимость перспективных самолетов F-22 и F-35 полностью укладывается в траекторию BC (рис. 5 и 12), начатую F-16. При этом не исключено, что относительно дорогой F-22 может повторить судьбу B-2 Spirit и стать новой «точкой D»: при первоначальных планах выпустить порядка 750-ти таких самолетов реальное их количество едва приблизилось к 200-м и вероятнее всего существенно расти не будет [64, 66].

Намного более дешевый JSF (Joint Strike Fighter) F-35 может в ближайшей перспективе положить начало новой траектории BC: как и в случае с F-16 его стоимость не превышает затраты на разработанный за четверть века до него аналогичный боевой самолет (F-117) [64]. Важной особенностью F-35 является его резко возросшая функциональность и «интеллектуальность» за счет 10-кратного роста по сравнению с F-22 объема программного кода на борту: порядка 25-ти миллионов строк, что соизмеримо

с объемом современной настольной операционной системы типа MS Windows. А так как резко возросший объем программного обеспечения практически никак не влияет на рост веса и стоимости в процессе производства, то это, фактически, определяет принципиальные преимущества новой цифровой линии развития боевых самолетов, особенно в случае их массового или крупносерийного производства.

В целом следует отметить, что темпы экспоненциального развития авионики в военной авиации в последние полстолетия соответствуют закономерности S2, но в периоды положительных полуволн Кондратьева в 1960-е и начиная с 1990-х годов наблюдаются тенденции к увеличению темпов роста до S3, что хорошо видно на примере F-22 и JSF F-35 (рис. 13).

Еще одним важным критерием развития авиации является скорость. На рис. 14 представлен график экспоненциального роста предельных скоростей в гражданской авиации, который наглядно демонстрирует влияние периодической составляющей: существенное снижение темпов роста произошло при переходах от положительной полуволны Кондратьева к отрицательной в конце 1910-х годов и в конце 1960-х, когда сформировалась типичная jJ-кривая (BD – развитие сверхзвуковой авиации, BC – основная «дозвуковая» линия развития гражданской авиации, рис. 5). Следует отметить, что попытки создания сверхзвуковой гражданской авиации в 1960-е годы можно рассматривать как один из ярчайших примеров перехода от «стремления к пределам» на завершающем этапе положительной волны нооритмов к оптимизации и переосмыслению отрицательной полуволны.

Советский Ту-144 и англо-французский «Конкорд», совершившие свои первые полеты в 1968-69 гг., можно считать относительно успешными проектами сверхзвуковых пассажирских авиалайнеров. Они были все-таки доведены до стадии эксплуатации, но возлагаемых на них надежд не оправдали и завершили свою летную карьеру колоссальными катастрофами, доказавшими, что стремительный рост скоростей уже вышел на «точку D» и дальнейшее развитие по прежней траектории является невозможным.

Еще более наглядно о выходе на тупиковую «точку D» свидетельствовал малоизвестный проект фирмы Боинг, закрытый в самом начале 1970-х годов с катастрофическими последствиями для разработчиков (аннулировано более ста предварительных заказов на самолет и уволено более 60-ти тысяч сотрудников). Программа по созданию американского сверхзвукового пассажирского лайнера (National Supersonic Transport) была объявлена в 1963 году президентом США Джоном Кеннеди. Планировалось, что новый лайнер получит крейсерскую ско-

рость полета на уровне 2,7 Маха (около 2900 км/ч) при дальности полета около 7-ми тысяч километров. Заказ на создание нового самолета достался фирме Боинг, где будущий самолет получил обозначение Boeing-2707. В названии лайнера отражалась его крейсерская скорость $M=2,7$ и одновременно подчеркивалась новая ступень развития пассажирских лайнеров в сравнении с очень популярным Boeing-707 (рис. 15).

Уже в 1968 году компания с целью снижения взлетного веса и упрощения проекта вынуждена была полностью отказаться от первоначальной идеи с крылом изменяемой стреловидности, перейдя к пассажирскому лайнеру классической схемы с треугольным крылом. Однако трудности технического характера продолжали стремительно нарастать, что усугублялось и сопутствующими финансовыми сложностями, так как на программу создания самолета накладывались дорогостоящая лунная программы и продолжавшаяся война во Вьетнаме. Кроме этого, начиная с 1967 года в США на фоне прочих социальных неурядиц активизировалось экологическое общественное движение, направленное против сверхзвуковой пассажирской авиации. Утверждалось, что полеты таких самолетов уничтожат озоновый слой, а мощный акустический удар, который возникает при сверхзвуковом полете, абсолютно недопустим для густонаселенных территорий.

Все это привело к тому, что в 1971 году Сенат США принимает решение отказаться от дальнейшего финансирования программы создания сверхзвукового пассажирского самолета. Разработка нового летательного аппарата была полностью остановлена на стадии строительства второго прототипа самолета. К этому времени компания Боинг успела получить 115 заказов на будущий авиалайнер от 25-ти различных компаний-авиаперевозчиков. Отказ от этих заказов привел к массовым сокращениям сотрудников (главным образом в Сиэтле, где располагались главные производственные площадки компании), что стало поводом для последующей саркастической оценки Boeing 2707 как «самолета, который почти съел Сиэтл».

До закрытия проекта на него было израсходовано около миллиарда долларов государственных средств. Фирма Боинг пыталась еще некоторое время продолжить процесс постройки самолетов за счет собственных финансовых ресурсов и энтузиазма частных лиц США (вплоть до обычных школьников), которыми на продолжение работ было собрано более одного миллиона долларов, но все это проект уже, естественно, не спасло. К тому же закрытие программы американского сверхзвукового пассажирского самолета совпало по времени с назревающим нефтяным кризисом и спадом в аэро-

космической промышленности, а также – множеством других негативных явлений, характерных для перехода от положительной полувольтной нооритмов к отрицательной.

Магистральной траекторией развития гражданской авиации в 1970-е и 1980-е годы стала довольно пологая кривая ВС (рис. 5) дозвуковой авиации. У истоков этой траектории в США был самый большой в мире пассажирский самолет Boeing-747, разработка которого началась еще в середине 1960-х годов (рис. 16). Успешным продолжением этой линии развития стал европейский Аэробус А380, ставший символом высших достижений в гражданской авиации начала нового тысячелетия. При скорости звука 1192 км/час максимальная скорость современных авиалайнеров не превышает 1100 км/час, при этом наиболее экономичная крейсерская скорость составляет 900-1000 км/час.

В СССР можно считать, что у истоков пологой траектории развития ВС был самолёт Ту-154 с тремя реактивными двигателями (Н. Д. Кузнецова), рассчитанный на перевозку 164 человек со скоростью до 1000 км/ч на расстояние до 6000 км, который совершил свой первый полёт в 1968 году. Всего за 40 лет было произведено около тысячи самолетов этого типа, что является рекордным показателем для пассажирского авиастроения в СССР. Его младший собрат самолет Ту-134 включен в книгу рекордов Гиннеса как самый безопасный самолет в мире, на котором не произошло ни одной катастрофы по вине техники.

А Ту-144 и «Конкорд» с их скоростями более 2-х тысяч км/час явно опередили своё время. Из 16-ти построенных Ту-144 разбились два лайнера, что фатально предопределило досрочное завершение их эксплуатации. «Конкордов» на первом этапе было произведено 14 (из 76-ти запланированных), из которых удалось продать только 9, остальные передали в эксплуатацию по условной цене 1 фунт за машину для британцев и 1 франк за машину для французов. Но главной проблемой для сверхзвуковых лайнеров стала их чрезвычайно низкая рентабельность: для перелета из Парижа в Нью-Йорк «Конкорду» требовалось 3 часа 45 минут, а Boeing-747 — около 8 часов. Но при этом билет на Boeing стоил примерно в десять раз дешевле, а на борт он принимал в пять раз больше пассажиров. Относительно долгая эксплуатация «Конкордов» завершилась катастрофой в Париже в 2000 году, во время которой погибли все 113 пассажиров. С того времени в пассажирских перевозках сверхзвуковые лайнеры больше не используются.

Вместо лозунга «быстрее, выше, сильнее», господствующего в гражданской авиации до конца 1960-х годов, с 1970-х годов основным стал лозунг «дешевле, надежнее и еще раз де-

шевле», которому полностью соответствовал «Боинг-747», произведенный в количестве более 1500-т экземпляров и успешно эксплуатируемый до настоящего времени. Удачным дополнением к нему является разработанный в 1964-1967 годах самолет Boeing 737, ставший самым массовым реактивным пассажирским самолётом за всю историю пассажирского авиастроения: к 2015 году авиакомпаниям мира было поставлено более 7-ми тысяч машин при наличии еще около 3-х тысяч заказов.

Основными тенденциями в гражданской авиации на ближайшие десятилетия будут, по-видимому, те, которые были заданы в середине 1990-х годов самолетами нового поколения Боинг-777: максимальная надежность и автоматизация разработки и управления полетом, все больше композитных материалов и миллионов строк программного кода на борту.

Справедливости ради следует отметить, что на рубеже тысячелетий были сделаны попытки разработать сверхзвуковые пассажирские самолеты 2-го поколения. Например, еще в 1993 году АНТК им. А.Н. Туполева был предложен проект сверхзвукового Ту-244, ориентированный на достижение максимально возможной транспортной производительности, позволяющей обеспечить успешную экономическую конкурентоспособность с дозвуковыми пассажирскими самолетами большой размерности типа Боинг-747. Но ни этот проект, ни подобные ему, поддержки не получили, а значит время сверхзвуковых лайнеров по-прежнему еще не наступило и, как минимум, в ближайшие десятилетия, пока будет длиться отрицательный полупериод нооритмов, рассчитывать на их появление на авиалиниях не приходится.

Следует также отметить, что в результате развала СССР накануне новой положительной полуволны рубежа тысячелетий, его гигантский рынок гражданской авиатехники, оцениваемый в то время в 40% мирового, практически полностью перешел к фирмам Боинг и Аэробус, которые в настоящее время вместе контролируют 90% рынка гражданской авиации. По некоторым оценкам, Россия как правопреемница СССР, из-за этого потеряла за 20 лет не менее 1 трлн. долл.(!) или суммарную стоимость экспорта нефти за аналогичный период [68].

Еще одним характерным примером «стремления к пределам» в авиации 1960-х являются попытки создания в СССР и США самолетов с ядерным двигателем [69]. Уже в 1946 году ВВС США открыли финансирование программы NEPA – Nuclear Energy for the Propulsion of Aircraft (ядерная энергия для движения самолета). Предварительные исследования показали, что идея практически осуществима, хотя и очень сложна в реализации, для чего по оценкам того времени могло потребоваться

около 15 лет. И действительно, к началу 1960-х гг. в США основные технические проблемы создания атомной силовой установки самолета были решены. За 15 лет на эти цели было потрачено порядка 1 млрд. долларов. Но уже в 1961 г. выполнение программы атомного самолета было прервано пришедшей к власти администрацией президента Кеннеди.

В СССР в 1950-е гг., в отличие от США, создание атомного бомбардировщика воспринималось не просто как желательная, но как жизненно необходимая оборонительная задача. В 1947 году, лишь на год позже, чем в США, в СССР также была поставлена задача использования тепла ядерных реакций в энергосиловых установках. Практическая разработка атомных самолетов началась в 1955 году на базе конструкторских бюро (КБ) А.Н. Туполева, В.М. Мясищева и С.А. Лавочкина. Уже в 1960 году были прекращены работы в КБ С.А. Лавочкина. Вскоре после этого были прекращены работы и в КБ В.М. Мясищева, в котором первый полет атомного самолета М-30 планировался на 1966 год.

И только в КБ А.Н. Туполева продолжались работы по созданию атомного самолета на базе серийного стратегического бомбардировщика ТУ-95, что позволило уже в 1961 году начать испытания экспериментального самолета. В случае успеха программы предполагалось, что в 1970-х гг. начнется проработка серии атомных сверхзвуковых тяжелых самолетов под единым обозначением Ту-120. Но к концу 1960-х годов была закрыта и эта программа.

Последней попыткой создания атомного самолета стала начатая в 1965 году разработка атомного противолодочного самолета на базе самого большого в мире самолета тех лет Ан-22 «Антей». Но и этот проект был закрыт в начале 1970-х годов. Причин для закрытия программ создания атомных самолетов было много – и чрезвычайная техническая сложность, и нерешенные вопросы безопасности, и конкуренция со стороны ракетной техники – но отнюдь не последнюю роль, как представляется, сыграл и «выход на точку D».

Завершающим штрихом в истории авиационных и подобных им систем, завершивших в конце 60-х годов свое развитие в «точке D», может быть разработка в СССР самых больших в мире экранопланов. Речь идет об экранопланах КМ (официальная расшифровка «корабль-макет», неофициальная народная – «Каспийский монстр»), которые разрабатывались в 1965-1966 годах в условиях строжайшей секретности. Испытания гигантской 92-метровой машины начались в конце 1966 года и велись вплоть до 1980 года. В одном из полётов его полная масса составила 544 тонны — рекорд, который лишь через много лет побил самолет Ан-225 «Мрия».

Благодаря 8-ми турбореактивным двигателям в ряд (и ещё 2-м сверху на хвостовом оперении) гигантский экраноплан мог успешно летать на высоте от 4-х до 14-ти метров над водной поверхностью, развивая скорость до 500 км/ч. История «Каспийского монстра» завершилась в 1980 году, когда умер Ростислав Алексеев, главный конструктор и идеолог машины. Вскоре после этого при очередных испытаниях экраноплан потерпел катастрофу и затонул.

Космонавтика

Самыми масштабными примерами «выхода на точку D» в конце 1960-х следует, безусловно, считать программы лунных пилотируемых полетов в СССР и США.

Пилотируемая космонавтика в 1960-е годы, начиная с полета Юрия Гагарина 12 апреля 1961 года, пережила период настолько стремительного развития, что трудно найти другое такое десятилетие в последующей истории космонавтики, которое можно было бы сравнить с ним хотя бы приблизительно. Количество космических запусков в 1960-е нарастало экспоненциально со скоростью S2 и в СССР, и в США (рис. 17 и 18). При этом практически такими же темпами нарастала надежность космической техники и размеры космических кораблей, достигшие максимума при реализации программ лунных пилотируемых полетов (рис. 19).

Заманчивой целью для космонавтики того времени, естественно, была Луна. И уже на ранних этапах программа исследования Луны автоматическими аппаратами начала успешно реализовываться. Уже в январе 1959 года спутник «Луна-1» стал первым космическим аппаратом, который успешно достиг Луны. 360-килограммовый космический аппарат, несший на себе советский герб, правда, несколько промахнулся, пройдя в 6-ти тысячах километров от лунной поверхности, но выпустил вблизи Луны облако паров натрия, которое некоторое время светилось так ярко, что позволило отслеживать движение спутника. А запущенный 4 октября 1959 года, спутник «Луна-3» впервые смог передать на Землю снимки обратной стороны Луны. Но до пилотируемого полета на Луну была еще дистанция огромного размера. В первую очередь для этого требовался достаточно мощный и надежный ракетоноситель, способный не только вывести в космос и доставить к Луне космонавтов, но и обеспечить их максимальную безопасность при посадке на Луну и возвращении обратно. Все необходимые при этом средства жизнеобеспечения существенно увеличивали все и сложность космического корабля.

В СССР задача создания тяжелой сверхракеты начала решаться еще в конце 1950-х годов в ОКБ-1 С.П. Королева. Один из вариантов, в частности, предполагал разработку ядерной

двигательной установки, но от него относительно быстро отказались. Началом практической реализации работ в данном направлении стало постановление правительства СССР от 23 июня 1960 года «О создании мощных ракет-носителей, спутников, космических кораблей и освоении космического пространства в 1960-1967 гг.». К 1962 году окончательно была выбрана компоновка с вертикальной конструкцией ракеты, которая смогла бы вывести на орбиту груз массой до 75 тонн для обеспечения массы забрасываемого к Луне груза в 23 тонны и к Марсу – 15 тонн. В 1964 году аналогичным постановлением правительства СССР впервые было определено, что важнейшей задачей в исследовании космического пространства с помощью ракеты-носителя Н1 является освоение Луны с высадкой экспедиции на ее поверхность и последующим возвращением ее на Землю. Ракетный комплекс, в состав которого входили РН Н1 и лунная система ЛЗ для посылки на поверхность Луны с последующим возвращением на Землю экипажа в составе двух человек (с посадкой на Луну одного человека), получила обозначение Н1-ЛЗ. Начало летно-конструкторских испытаний планировалось на 1967-1968 годы.

Для выполнения миссии по доставке на орбиту Луны 2-х космонавтов с высадкой одного из них на поверхность грузоподъемность ракеты была увеличена до 90-100 тонн, при этом стартовая масса выросла почти до 3-х тысяч тонн. На космодроме Байконур первая «Н-1» появилась в мае 1968 года, а первое летно-конструкторское испытание ракеты состоялось 21 февраля 1969 года. В случае успешного пуска, установленный на ракете космический корабль должен был выйти на орбиту Луны, произвести ее качественную фотосъемку и доставить пленки на Землю. Но первый полет продлился всего лишь чуть более минуты. Второе испытание «Н-1» с автоматическим кораблем для облета Луны и макетом лунного корабля состоялось 3 июля 1969 года и также закончилось катастрофой. И третий запуск «Н-1» 27 июня 1971 года оказался неудачным. Так же завершилось и последнее испытание ракеты-носителя «Н-1» 23 ноября 1972 года. В мае 1974 года советская лунная программа была закрыта, а все работы над «Н-1» прекращены. Две готовые к пускам ракеты были уничтожены. Удалось сохранить только некоторое количество их двигателей. В 90-е годы они были приобретены американцами и использовались на ракетах «Atlas-2AR».

В 1965 году было также принято Постановление ЦК КПСС и СМ СССР «О сосредоточении сил конструкторских организаций промышленности на создании комплекса ракетно-космических средств для облета Луны». В рам-

как этой программы, основанной на использовании ракетносителя «Протон», после целой серии начальных неудач 15 сентября 1968 года стартовал очередной корабль «7К-Л1» №9 под именем «Зонд-5» с черепахами на борту (в отсеках для космонавтов), который 18 сентября облетел Луну на расстоянии 1960 км от ее поверхности. Во время рейса впервые была сфотографирована Земля с расстояния 85 тысяч км. 21 сентября СА корабля вошел в атмосферу Земли со второй космической скоростью и, снижаясь по баллистической траектории, благополучно приводелся в акватории Индийского океана. Черепахи стали первыми живыми существами, облетевшими Луну.

Спустя три месяца 21-27 декабря 1968 г. Луну облетел американский Apollo 8 с тремя астронавтами на борту. При этом первоначальная программа полета Apollo 8 предусматривала лишь продолжение его испытаний на околоземной орбите, но полет «Зонда-5», якобы вынудил американцев пойти на рискованный шаг и отправить людей сразу к Луне. Фактически, начиная с этого полета «экспромтом» к Луне в американской лунной программе начали накапливаться странности и несуразности, которые на фоне якобы ошеломляющих и невероятных успехов США в полетах на Луну со временем все более заставляют сомневаться в реальности этих достижений.

Вероятнее всего, реальные технические возможности для пилотируемых полетов за пределы земной магнитосферы в конце 1960-х годов еще далеко не созрели. И пора, пожалуй, признать, что при всем страстном «стремлении к пределам» в то время Луна для посещения человеком была, по-видимому, пока еще недоступна. По принятой официальной версии первая пилотируемая посадка на внеземное тело была совершена на Луну, 20 июля 1969 года, американским кораблём «Аполлон-11», на борту которого были командир экипажа Нил Армстронг и пилот Эдвин Олдрин. За этой экспедицией, согласно официальной версии, практически сразу же последовал целый ряд других, удивительно успешных на фоне многочисленных проблем, с которыми в развитии сложных технических систем столкнулась человеческая цивилизация в конце 1960-х годов. Это очень странно. Но есть надежда, что в обозримом будущем истина о «пилотируемых полетах на Луну» наконец прояснится.

В любом случае следует констатировать, что космонавтика при реализации лунных программ вышла в тот период на ту самую «точку D», в которой завершилось развитие и множества других излишне амбициозных проектов, заведомо опередивших свое время.

В соответствии с современным российским прогнозом задачу предстоящего исследо-

вания Луны можно разделить на два временных этапа с конечной целью прилунения: до 2030 года намечены летные испытания пилотируемого корабля нового поколения для реализации программ научно-прикладных исследований и отработки технологий полетов к Луне с использованием автономных свободнолетающих модулей и разработкой роботизированных средств изучения и посадки на Луну; и только после 2030 года – непосредственно пилотируемый полет в окололунное пространство с прилунением [70]. В контексте всего, рассмотренного выше, можно уточнить, что реально задача пилотируемой экспедиции на Луну будет решена не ранее наступления следующей положительной полувольты в 2040-е или 2050-е годы. Можно надеяться, что к тому времени все необходимые технологии действительно созреют.

Уровень же технической зрелости в эпоху информационно-компьютерной революции рубежа тысячелетий оказался достаточным лишь для надежного развития орбитальной космонавтики по траектории ВС (рис. 5), в начальной точке (В) которой находятся «Союзы» и «Протоны», разработанные в середине 1960-х (рис. 19), где-то в середине – космические корабли многоразового использования, а где-то ближе к концу этой траектории, завершающейся, возможно, в ближайшие годы – Международная космическая станция (МКС, рис. 20). Характерно, что история МКС начала свой отсчет в самом начале новой положительной полувольты: 2 сентября 1993 года вице-президент США Альберт Гор и председатель Совета Министров РФ Виктор Черномырдин объявили о новом проекте «по длинной международной космической станции», в создании которой приняли участие в общей сложности 16 стран. Завершение положительной полувольты, судя по всему, станет и завершением развития МКС.

Заключение

Таким образом, анализ развития различных технических систем в XX веке показывает, что основной траекторией развития для них являются не традиционные S-кривые, а различные каскады экспоненциальных J-кривых. Особый интерес представляют jJ-кривые, характерные для периодов перехода положительной полувольты нооритмов в отрицательную. Особенности формирования таких кривых развития достаточно ясно прослеживаются на примерах развития технических систем в автомобилестроении, авиации и космонавтике. Есть основания предполагать, что выявленные закономерности позволят в дальнейшем осуществлять существенно более адекватное долгосрочное прогнозирование научно-технического прогресса и более надежное планирование развития сложных технических систем.

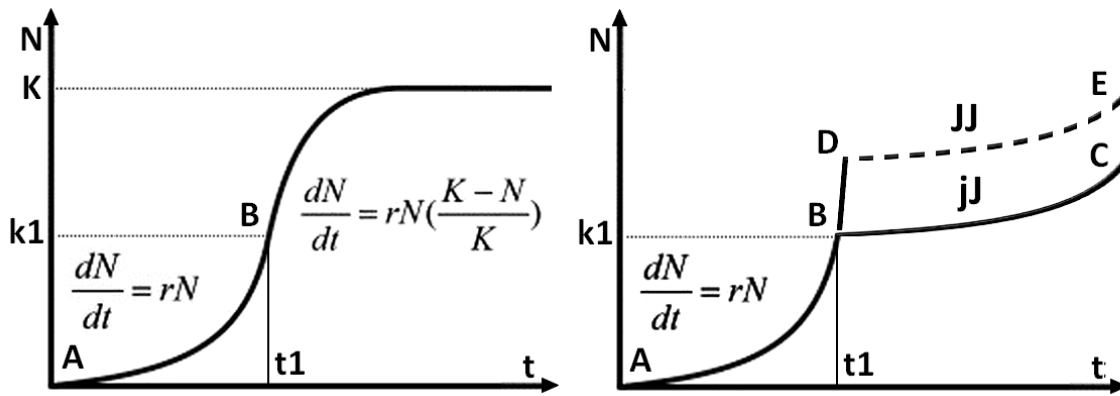


Рисунок 1. – Типичные кривые, описывающие закономерности роста в технических и прочих системах: слева представлена S-образная (логистическая) кривая, которая при малых значениях N (меньше k1) может рассматриваться как экспоненциальная J-образная кривая; справа – типичная для технических систем альтернатива S-образной кривой, представляющих собой последовательность J-образных кривых

Таблица 1. – Основные характеристики экспоненциального роста для шести вариантов закона Мура

JS	Интервал удвоения		Коэффициент роста за указанный период (Y лет)								
	Лет	Месяцев	1	2	3	4	5	6	10	20	
1,0	1	6	72	1,122	1,260	1,414	1,587	1,782	2	3,17	10
2,0	2	3	36	1,260	1,587	2,000	2,520	3,175	4	10	102
3,0	3	2	24	1,414	2,000	2,828	4,000	5,657	8	32	1 024
4,0	4	1,5	18	1,587	2,520	4,000	6,350	10,079	16	102	10 321
5,0	5	1,2	14	1,782	3,175	5,657	10,079	17,959	32	323	104 032
6,0	6	1	12	2,000	4,000	8,000	16,000	32,000	64	1024	1 048 576

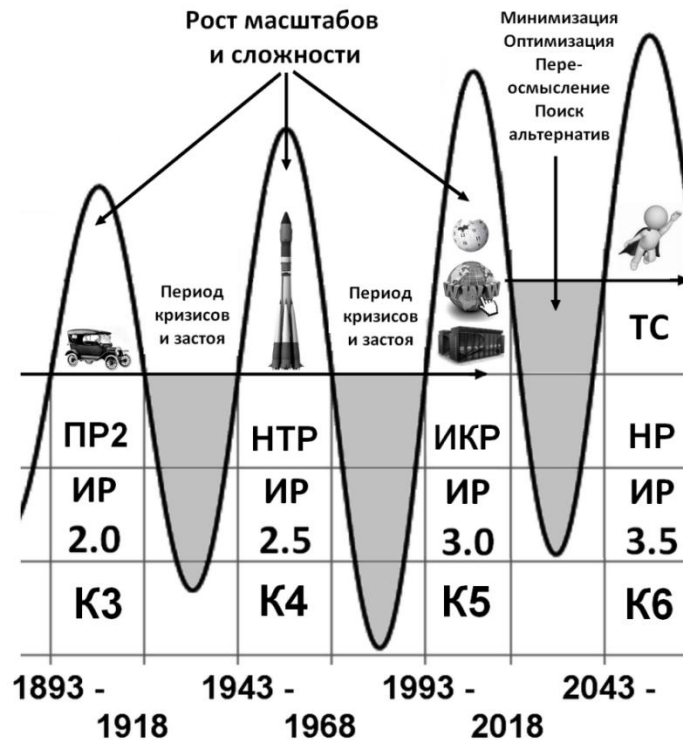


Рисунок 2. – Концептуальное представление периодической составляющей системодинамики техносферы с конца XIX века до середины XXI века как последовательности промышленных революций (ИР), соответствующих положительным полупериодам волн Кондратьева (K-волн K3, ..., K6) с возрастающей амплитудой

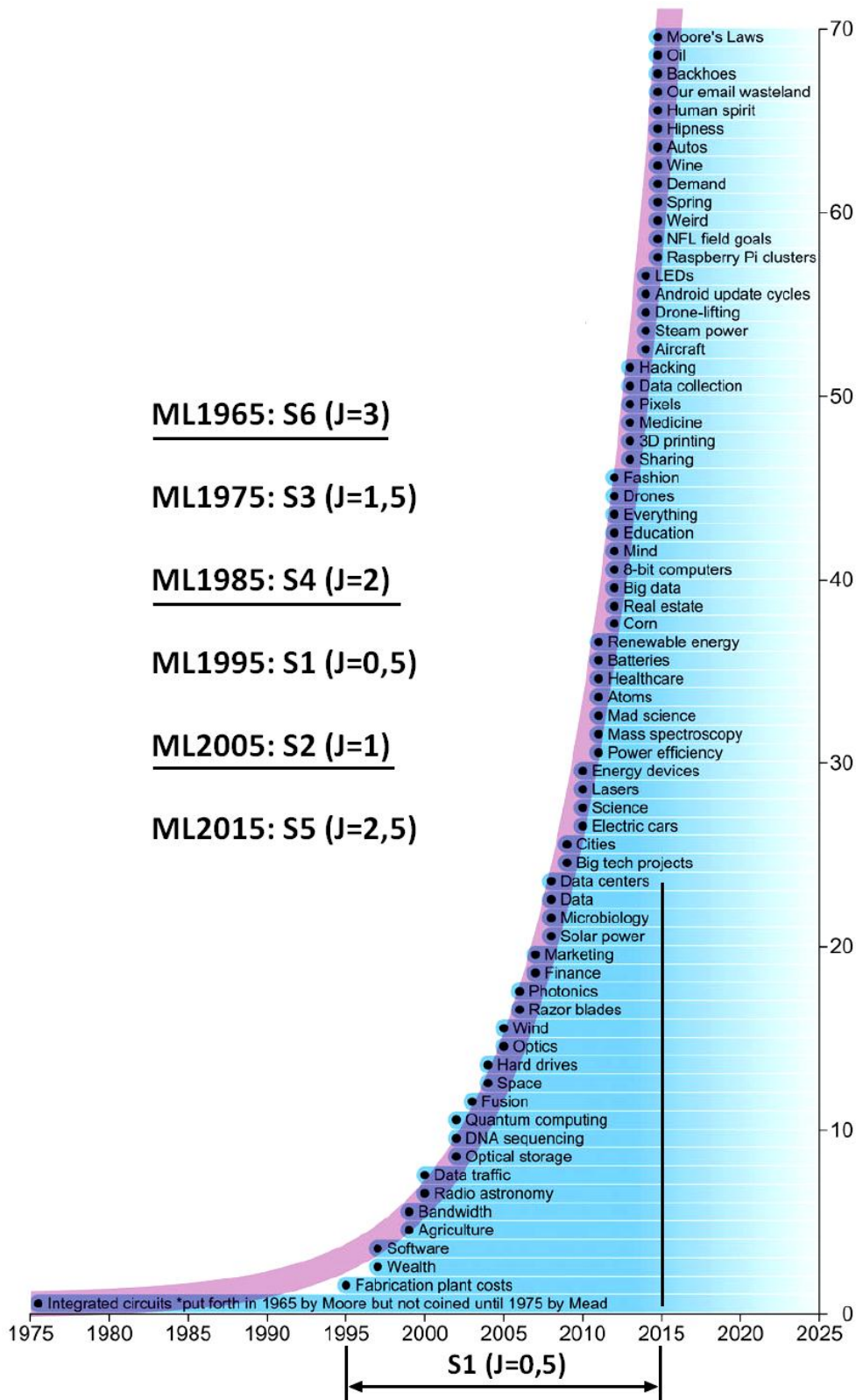


Рисунок 3. – «Закон Мура для законов Мура»: Эпоха информационно-компьютерной революции 1993-2018 гг. (ИКР) породила беспрецедентное количество процессов экспоненциального развития, рост числа которых описывается закономерностью S1 (слева сверху представлена последовательность формирования различных по скорости роста вариантов законов Мура – закономерность S1 выделилась как раз к 1995 году; к 2015 году с выделением закономерности S5 и последующего обобщения закона Мура сформировался полный спектр всех вариантов экспоненциального роста в техносфере) [56]

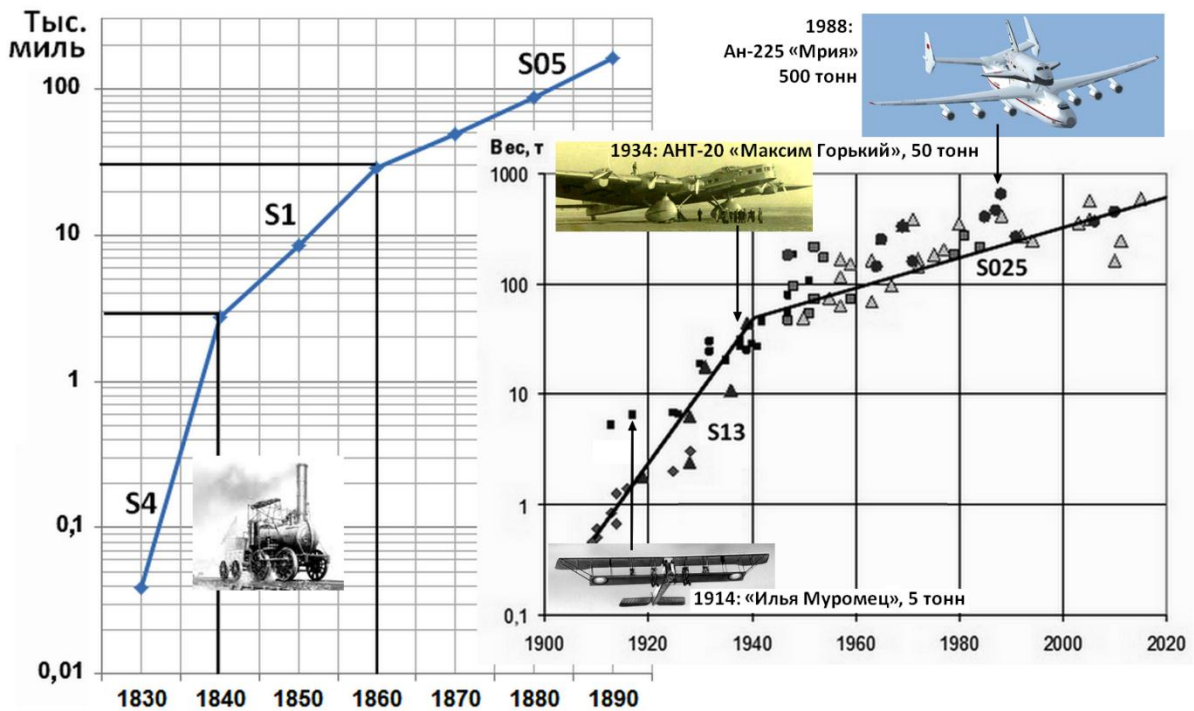


Рисунок 4. – Характерные примеры JJ-закономерностей, в которых изменение темпов роста обусловлено внутренней логикой развития и не связано с какими-либо периодическими закономерностями: слева представлен рост протяженности железных дорог в США; справа – рост взлетного веса различных типов самолетов (фото на врезке: АНТ-20 - самый большой самолет 30-х годов)

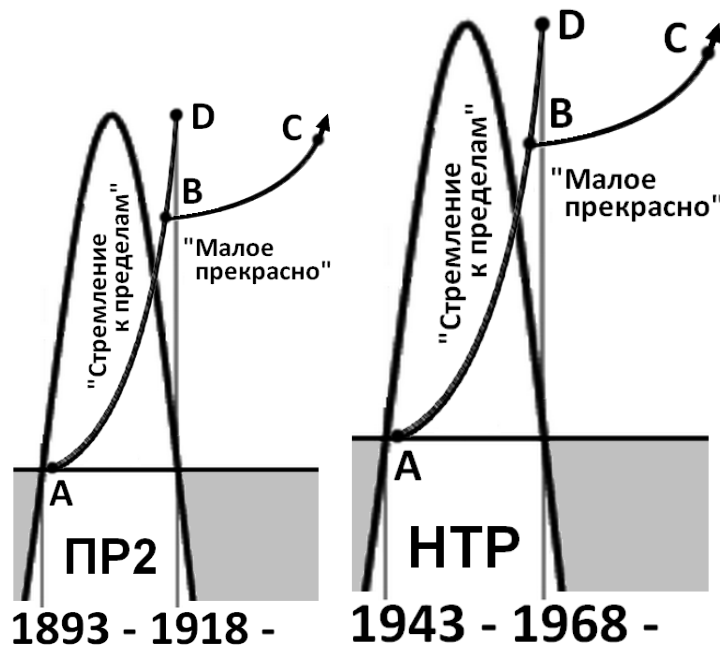


Рисунок 5. – Кривые развития типа jJ: эпохи индустриальных революций характеризуются особо интенсивными процессами экспоненциального роста (J-кривые AD), которые завершаются достижением предельных значений (в точке D), не получающих дальнейшего развития при переходе к отрицательной полуволюне Кондратьева; дальнейший экспоненциальный рост (J-кривые BC), но уже более медленный, становится возможным на базе некоторого предшествующего, оптимального для достигнутого уровня технологий, значения (точка B).

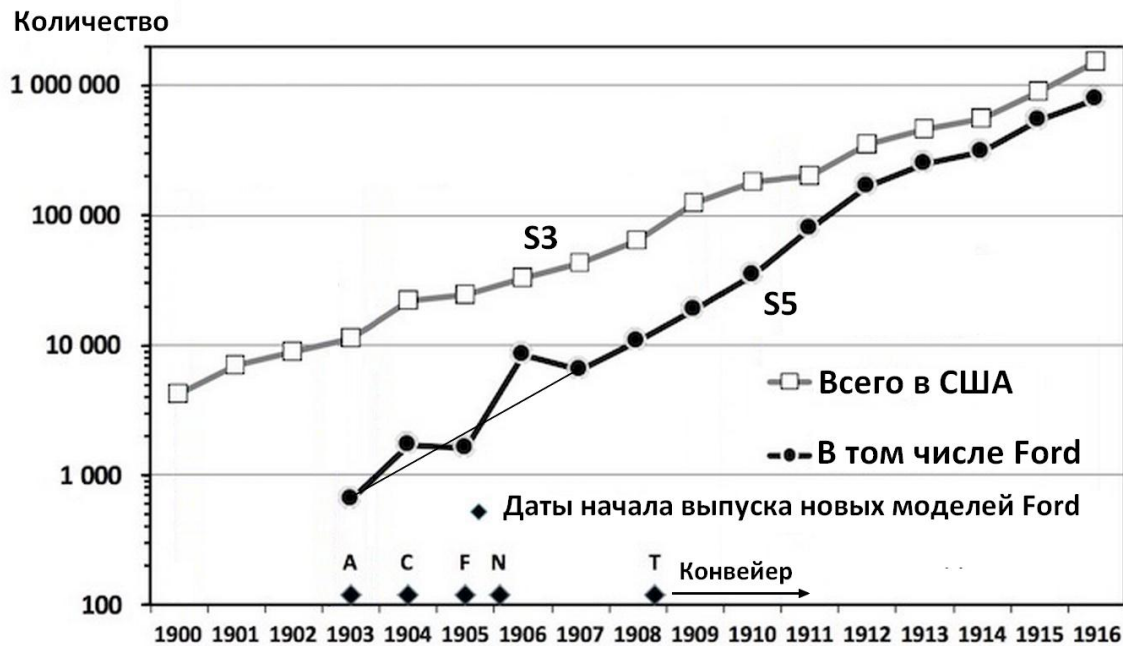


Рисунок 6. – Наиболее характерные процессы экспоненциального роста эпохи второй промышленной революции (ПР2): рост ежегодного производства автомобилей в США (по материалам работы [61])

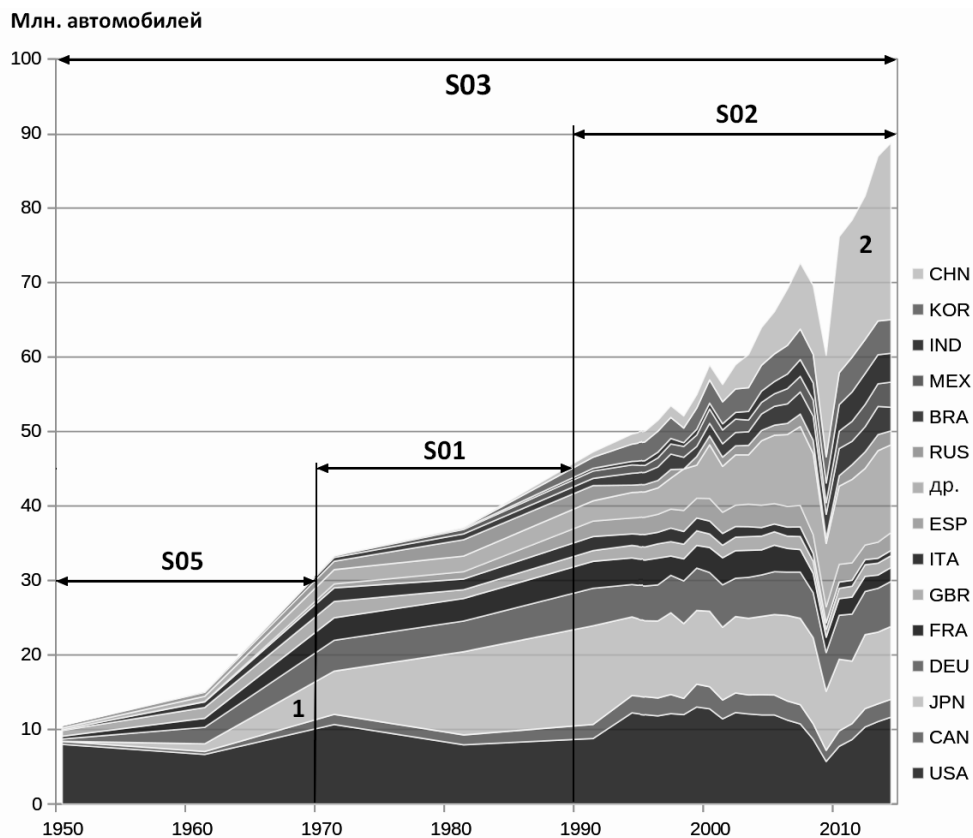


Рисунок 7. – Экспоненциальный рост ежегодного производства автомобилей в мире продолжается, но темпы роста существенно снизились, особенно в период отрицательной полувоны Кондратьева с начала 1970-х до начала 1990-х: трехбуквенными аббревиатурами обозначены основные страны, производящие автомобили, среди которых кроме США (USA) в 60-е годы XX века начала выделяться Япония (JPN, японский вклад в мировое производство автомобилей обозначен цифрой 1), а в начале нового тысячелетия – Китай (CHN, 2)

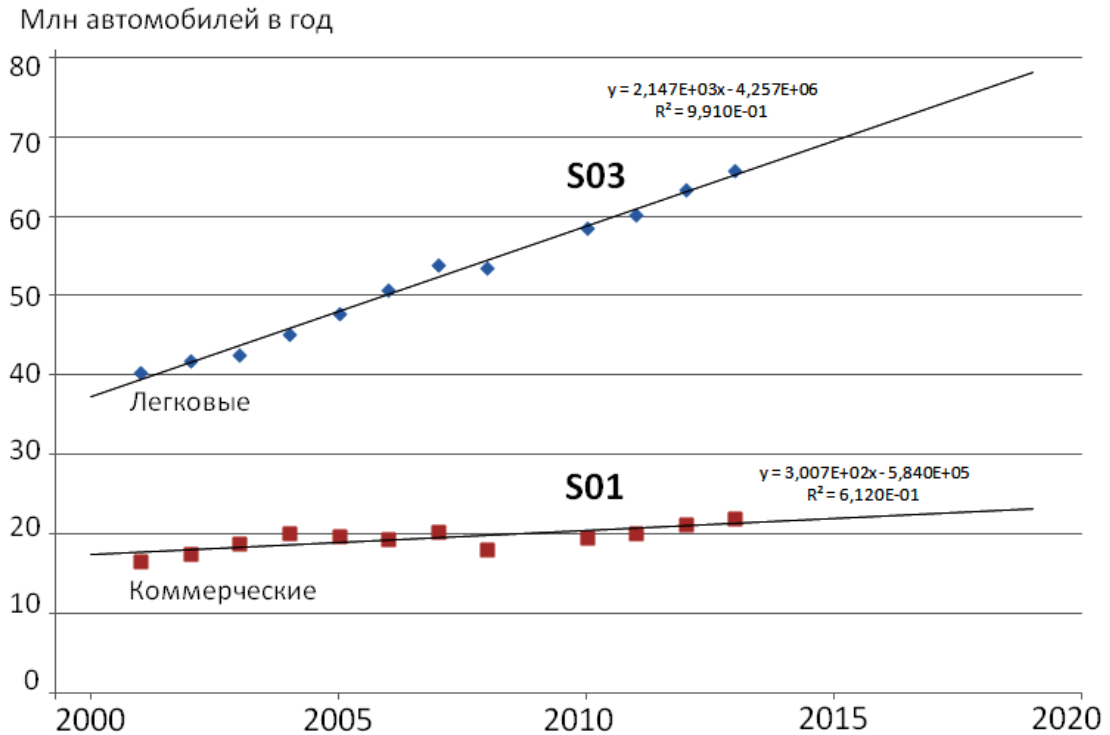


Рисунок 8. – При средних темпах роста ежегодного выпуска автомобилей всех классов S02 рост производства легковых автомобилей существенно опережает соответствующие показатели по другим типам автомобилей (S03 и S01 соответственно)

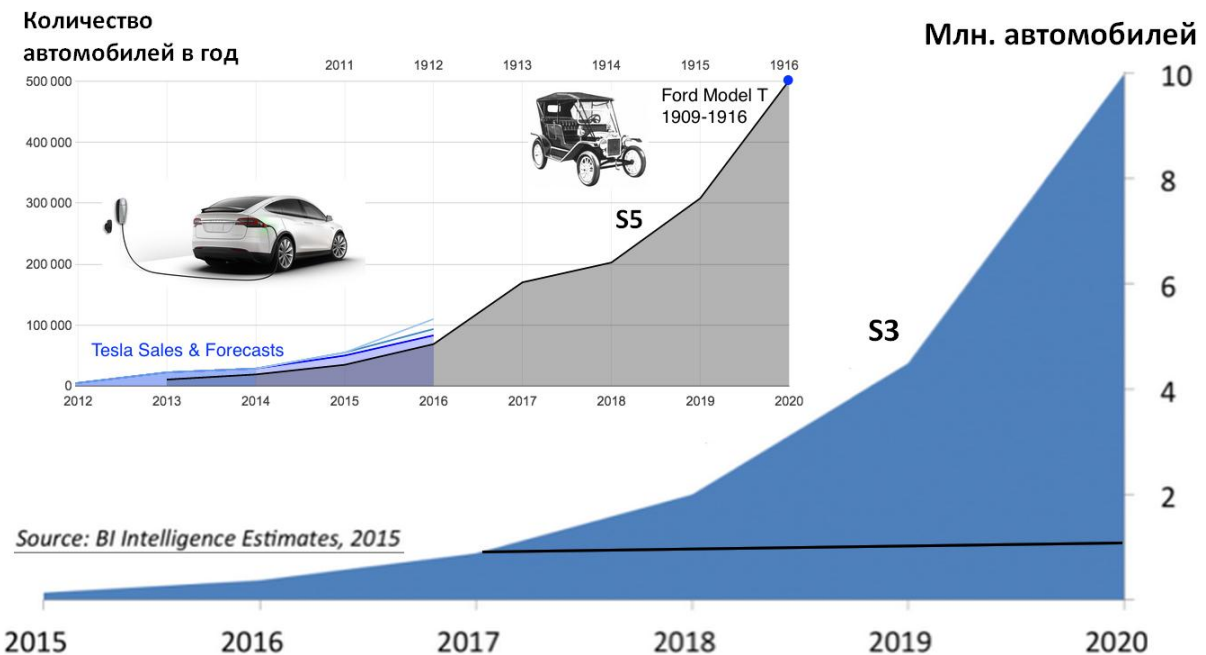


Рисунок 9. – Рост количества эксплуатируемых «интеллектуальных автомобилей» (обеспечивающих различные уровни автоматического управления движением вплоть до полностью «беспилотного» варианта в некоторых режимах) в мире нарастает такими же темпами S3, какими в начале автомобильной эры нарастало ежегодное производство автомобилей в США, а роль автомобилей Форда в современном мире играют автомобили Tesla (врезка слева вверху), производство которых нарастает темпами S5

Цена самолета

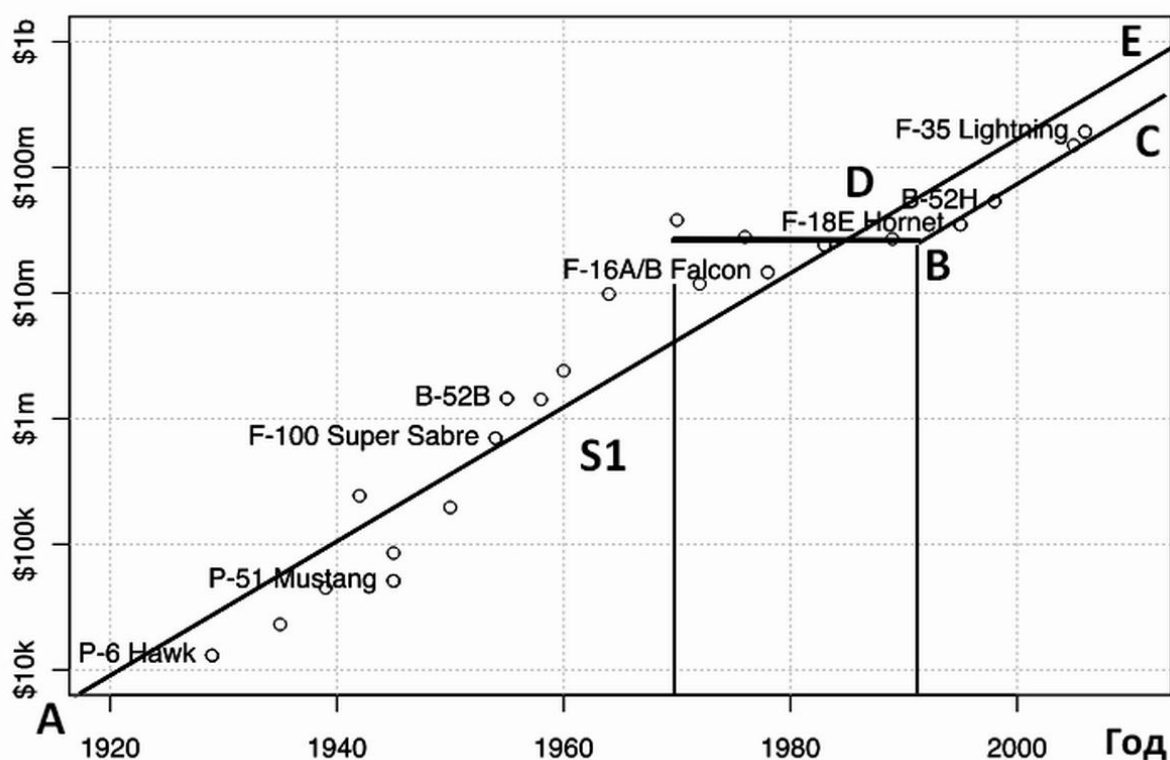


Рисунок 10. – Закон Августина гласит, что стоимость самолетов растет экспоненциально со средней скоростью $S1$, но при этом детальное рассмотрение динамики данного роста позволяет выявить влияние периодической составляющей, например, в период отрицательной полувоны Кондратьева с начала 1970-х до начала 1990-х годов, когда рост стоимости практически прекратился, что, фактически, привело к формированию jJ-кривой ADBC)

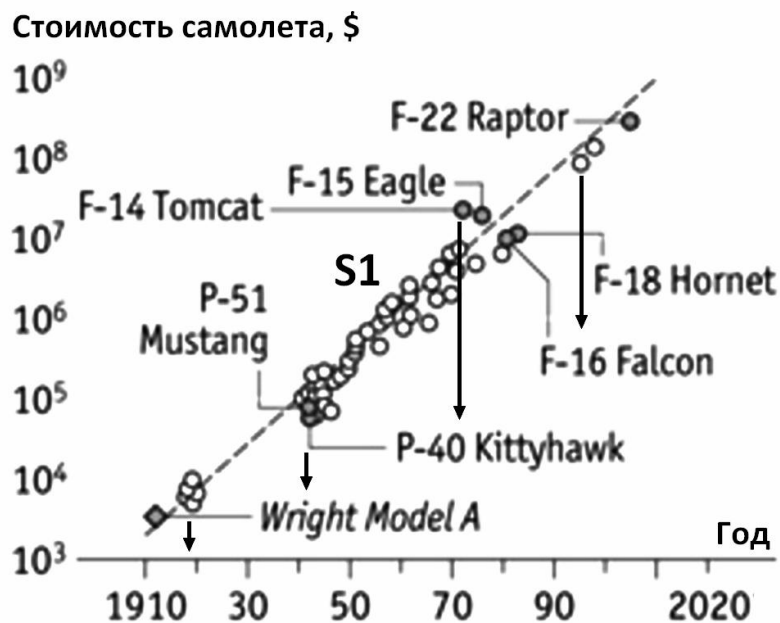


Рисунок 11. – Еще один вариант представления закона Августина, демонстрирующий наиболее устойчивый и интенсивный рост стоимости самолетов в период положительной полувоны Кондратьева в период с начала 40-х до конца 60-х годов

Стоимость в пересчете на доллары 2015 года, млн. долларов

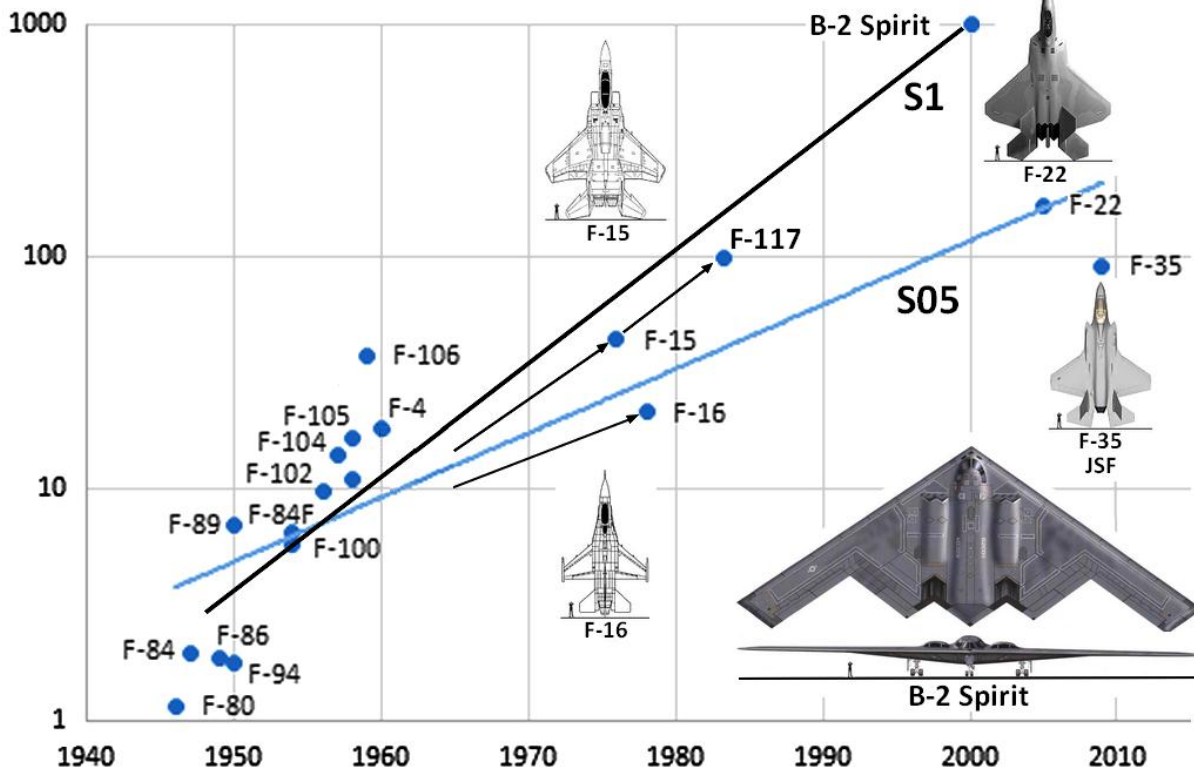
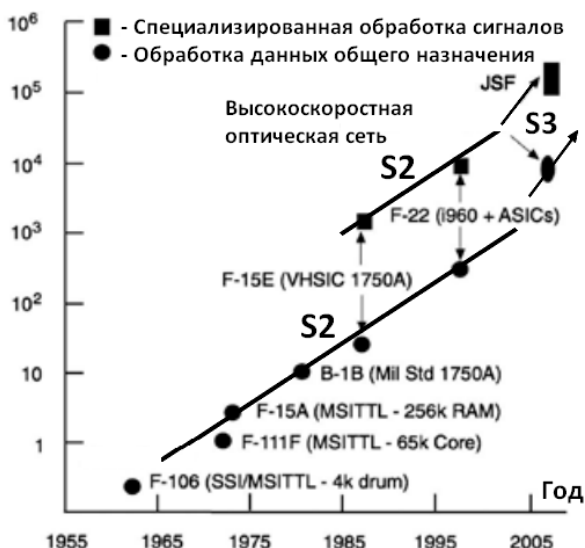


Рисунок 12. – Результаты более детального анализа действия закона Августина наглядно подтверждают влияние периодической составляющей на технический прогресс в военной авиации: положительная полуволна 40-х и 50-х годов породила большое разнообразие и быстрый рост стоимости самолетов; «застойная» отрицательная полуволна 70-х и 80-х отмечена триумфом 2-х основных типов самолетов (F-15 и F-16), истоки которых следует искать в середине 60-х; положительная полуволна рубежа тысячелетий породила целое семейство самолетов 5-го поколения стоимостью от ста миллионов до миллиарда долларов (все изображения самолетов в одном масштабе)

Производительность, операций в секунду



Память, тысяч 16-разрядных слов

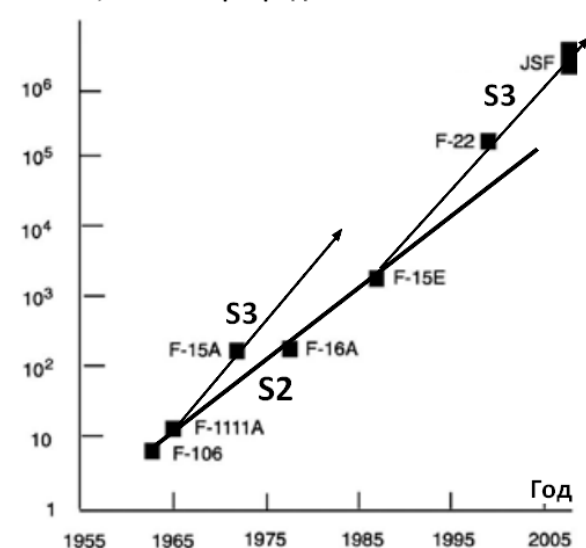


Рисунок 13. – Экспоненциальное развитие авионики в военной авиации в целом соответствует закономерности S2, но в периоды положительных полуволн Кондратьева в 60-е и 90-е годы наблюдаются тенденции к увеличению темпов роста до S3, которые практически полностью затухают в последующие отрицательные полупериоды К-волн (по материалам работы [67])

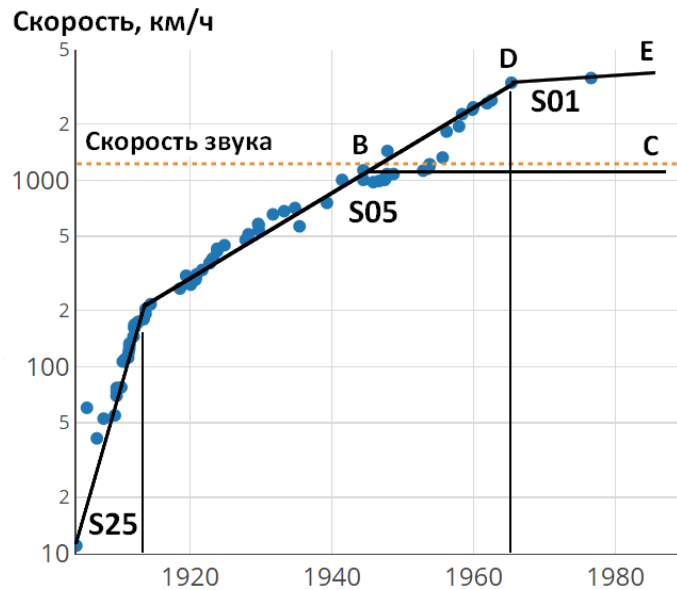


Рисунок 14. – Рост предельных скоростей в авиации наглядно демонстрирует влияние периодической составляющей: существенное снижение темпов роста произошло при переходах от положительной полу волны Кондратьева к отрицательной как в конце 1910-х, так и в конце 1960-х, когда сформировалась типичная jJ-кривая (BDE – развитие сверхзвуковой авиации, BC – основная «дозвуковая» линия развития гражданской авиации)

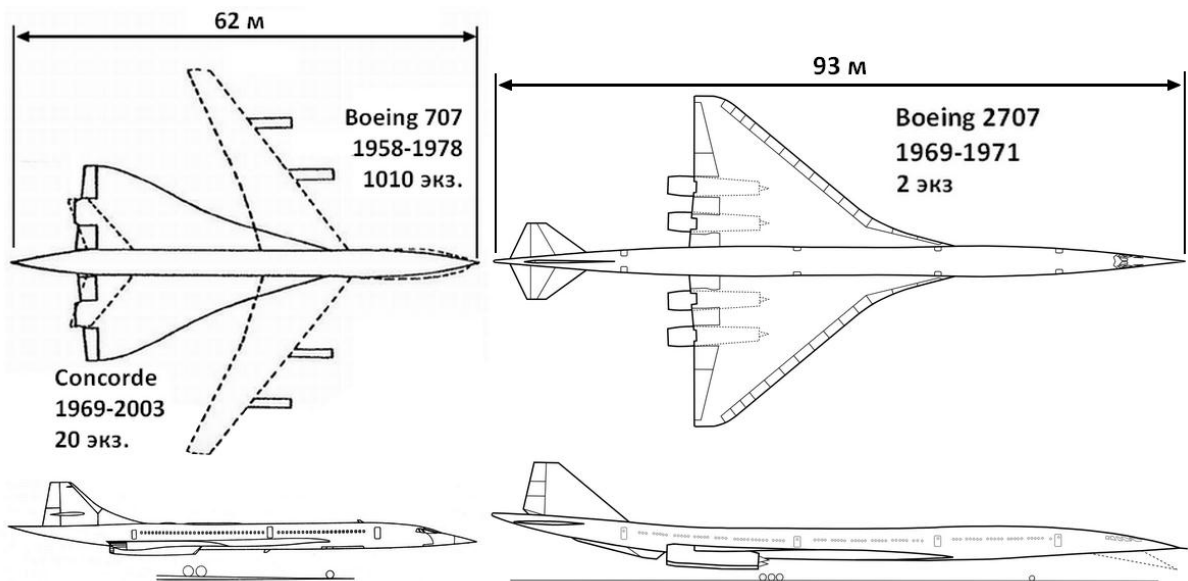


Рисунок 15. – Типичные представители гражданской авиации «точки D»: слева показан относительно успешный англо-французский «Конкорд» (для сравнения его контуры наложены на показанные пунктиром контуры разработанного в начале 1950-х годов самолета Boeing 707 – в основной части корпуса отличия минимальны); справа – малоизвестный проект фирмы Боинг, закрытый в самом начале 1970-х годов с катастрофическими последствиями для разработчиков (аннулировано более ста предварительных заказов на самолет и уволено более 60-ти тысяч сотрудников)

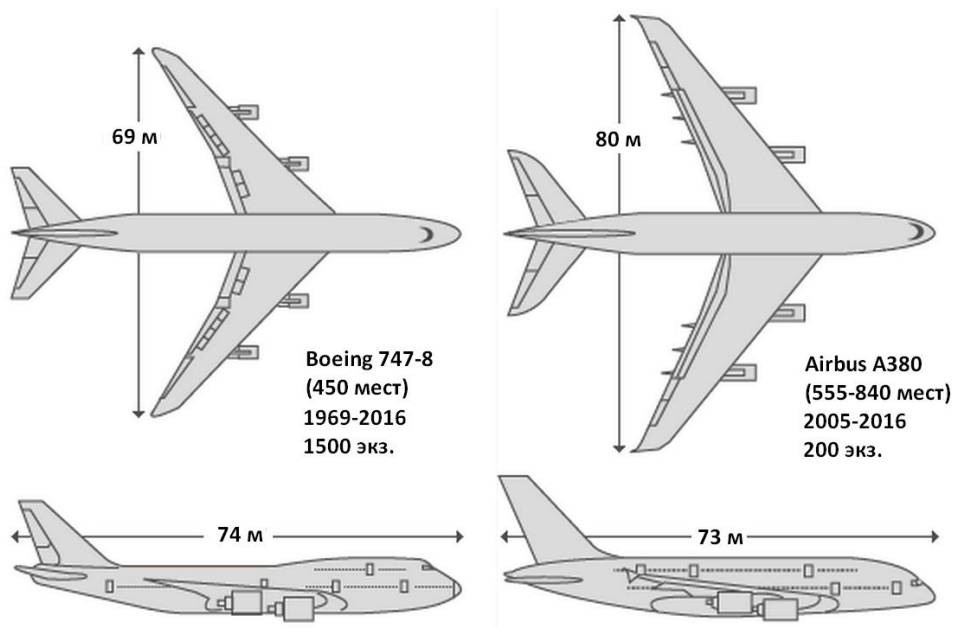


Рисунок 16. – Наиболее яркие и успешные представители «дозвуковой» линии (фактически, линии ВС jJ-кривой) развития гражданской авиации: слева показан Boeing 747, ставший итогом бурного развития гражданской авиации в период положительной полуволны 1950-х и 1960-х годов, справа – Аэробус А380, ставший символом высших достижений в гражданской авиации начала нового тысячелетия

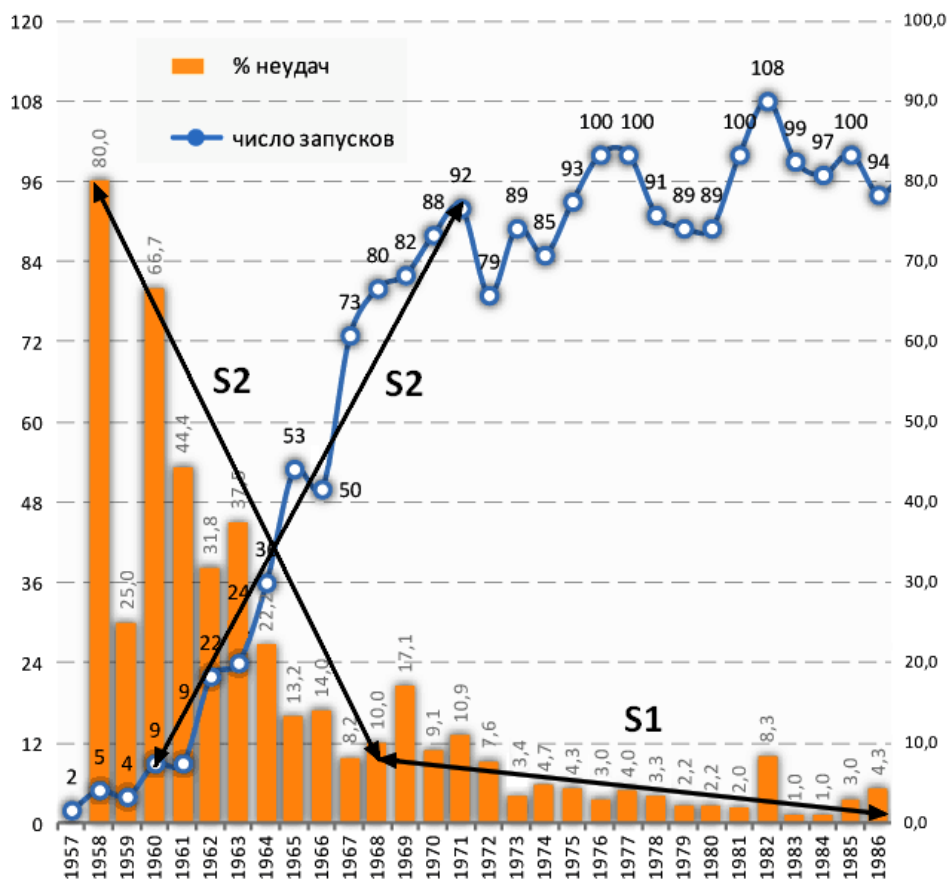


Рисунок 17. – Росту количества космических запусков в СССР в 1960-е годы соответствовали такие же высокие темпы (S2) повышения надежности, которые при прекращении экспоненциального роста количества запусков в 1970-е годы снизились до S1



Рисунок 18. – В 60-е годы количество космических запусков нарастало темпами S2 и в США, но с наступлением отрицательной полуволны Кондратьева в конце 60-х рост прекратился с последующим многократным снижением количества запусков (в США уже в конце 60-х, в СССР – в 80-е и 90-е годы)

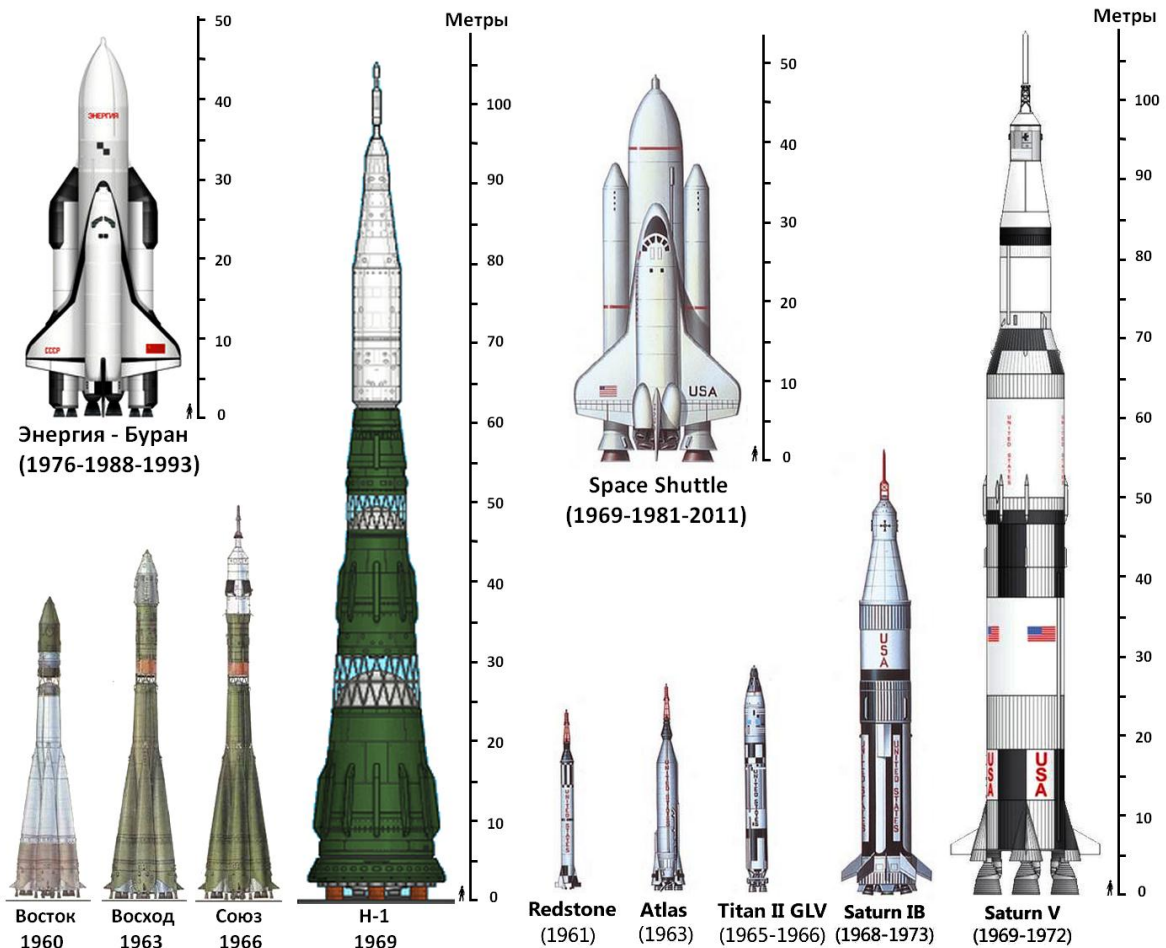


Рисунок 19. – Практически экспоненциальный рост размеров ракет в СССР (слева) и США (справа) в 1960-е годы завершился разработкой «лунных гигантов» H-1 и Сатурн V, которые, по-сути, явились яркими представителями «точки D», так как дальнейшее развитие пилотируемой космонавтики в 1970-е и 1980-е пошло по пути развития исключительно орбитальных полетов (можно считать, что «Союзы» соответствуют точке B, а комплекс «Энергия-Буран» с примерно такими же размерами – точке C jJ-кривой; аналогичное соответствие наблюдается и в США)



Рисунок 20. – «Орбитальная» линия развития космонавтики, соответствующая участку ВС jJ-кривой также подвержена влиянию периодической составляющей: об этом наглядно свидетельствуют скромные размеры советской станции «Мир» и китайской космической станции, соответствующие отрицательным полупериодам К-волн, на фоне гигантской Международной космической станции (МКС), порожденной положительным полупериодом К-волн рубежа тысячелетий (для сравнения вверху показан Boeing 747)

Список литературы

1. Аноприенко А.Я. Закономерности развития компьютерных технологий и обобщенный закон Мура // Вестник Донецкого национального технического университета, №2 (2), 2016. С. 3-17.
2. Аноприенко А.Я. Пятая волна индустриализации и третья промышленная революция // Вестник Донецкого национального технического университета, №1 (1), 2016. С. 3-12.
3. Аноприенко А.Я. Системодинамика техносферы: как измерить технический прогресс // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 2015. № 1(8)-2(9). С. 47-58.
4. Аноприенко А.Я. Системодинамика ноотехносферы: основные закономерности // «Системный анализ в науках о природе и обществе». – Донецк: ДонНТУ, 2014, №1(6)-2(7). С. 11-29.
5. Аноприенко А.Я. Система закономерностей развития средств и методов компьютеринга // Материалы V всеукраинской научно-технической конференции «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2014)» – 22-23 апреля 2014 г., Донецк, ДонНТУ, 2014. В 2-х томах. Т. 1. С. 11-23.
6. Аноприенко А.Я. Концепция нооритмов и ее мировоззренческое значение // Доклад на региональной научно-методической конференции «Гуманизация образования в техническом университете». – Донецк: ДонГТУ. – 1994. – 3 с. Аноприенко А.Я.
7. Нооритмы: модели синхронизации человека и космоса. – Донецк: УНИТЕХ, 2007. – 372 с.
8. Аноприенко А.Я. Цивилизация, ноосфера и нооритмы // «Ноосфера и цивилизация». Научный журнал. Выпуск 7 (10). – Донецк, 2009. С. 62-69.
9. Аноприенко А.Я. Нооритмы и время в информационную эпоху // «Время в зеркале науки». Специальный выпуск сборника научных трудов «Гуманитарные студии». Часть 1. – К.: Центр учебной литературы, 2010. С. 291-305.
10. Аноприенко А.Я. Нооритмы – эффективная модель структурирования исторического времени // Материалы I международной научной междисциплинарной конференции «Время в зеркале науки» (Киев, 19 марта 2011 года). – К.: Центр учебной литературы, 2011. С. 299-303.
11. Аноприенко А.Я. Нооритмы: комплексная эмпирическая модель ноосферной динамики // Международный междисциплинарный симпозиум «Нанотехнология и ноосферология в контексте системного кризиса цивилизации». Сборник тезисов докладов. Симферополь – Ялта, 4-10 января, 2011 г. С. 30-32.
12. Кондратьев Н. Д. Мировое хозяйство и его конъюнктуры во время и после войны. – Вологда, 1922. – 258 с.

13. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры / Вопросы конъюнктуры. – 1925. – Вып.1, Т.1. – С. 28-79.
14. Кондратьев Н.Д. Основные проблемы экономической статики и динамики: Предварительный эскиз. – М.: Наука, 1991. – 567 с.
15. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2002. – 767 с.
16. Богданов А. А. Основные элементы исторического взгляда на природу. — Спб, 1899. – 251 с.
17. Богданов А. А. Познание с исторической точки зрения. – Спб, 1901. – 217 с.
18. Богданов А. А. Всеобщая организационная наука. Часть 1. Изд. 3-е М-Л.: Книга, 1925. 300 с. (1-е изд. 1913 г.).
19. Богданов А. А. Всеобщая организационная наука (тектология). Часть II. Изд-е 3-е. Л.-М.: Книга, 1927. 240 с. (1-е изд-е 1917 г.).
20. Богданов А. А. Всеобщая организационная наука, (тектология). Часть III. Изд-е 2-е. Л.-М.: Книга, 1929. 221 с. (1-е изд.-е 1922 г., Берлин).
21. Богданов А. А. Тектология. Всеобщая организационная наука. Под ред. акад. Л. И. Абалкина, акад. А. Г. Аганбегяна, акад. Д. М. Гвишиани, акад. А. Л. Тахтаджяна, докт. биол. на ук А. А. Малиновского. М.: Экономика. 1989. Кн. 1 — 304 с., Кн. 2 — 351 с.
22. Bertalanffy L. von. An Outline of General System Theory // «The British Journal for the Philosophy of Science», 1950. Vol. 1, N 2. P. 134-165.
23. Bertalanffy L. von. General System Theory // In: General Systems, 1955. Vol. 1. P. 1-10.
24. Bertalanffy L. von. General Theory of Systems: Application to Psychology.— «Social Science Information sur Les Sciences Sociales», 1967, vol. VI, N 6.
25. Bertalanffy L. von. General System Theory. Foundations, Development, Applications, N. Y., 1968. – 289 p.
26. Бергаланфи Л. фон. Общая теория систем – критический обзор // Исследования по общей теории систем: Сборник переводов / Общ. ред. и вст. ст. В. Н. Садовского и Э. Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. С. 23-82.
27. Bertalanffy L. von. The History and Status of General Systems Theory // In: in Klir G. (ed.), Trends in General Systems Theory, New York, Wiley, 1972. P. 21–41.
28. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика). – М.: Прогресс, 1970. – 340 с.
29. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 379 с.
30. Форрестер Дж. Динамика развития города. – М.: Прогресс, 1974. – 300 с.
31. Садовский В.Н. Смена парадигм системного мышления. // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1992-1994. М., 1996. С. 64-78.
32. Исследования по общей теории систем. – М.: – Прогресс, 1969. – 520 с.
33. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. – М.: Наука, 1973. – 270 с.
34. Эйрес Р. Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование. – М.: Мир, 1971. – 296 с.
35. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. – М.: «Прогресс», 1970. – 568 с.
36. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. – М.: Прогресс, 1977. – 592 с.
37. Сахал Д. Технический прогресс: концепции, модели, оценки. – М.: «Финансы и статистика», 1985. – 366 с.
38. Половинкин, А. И. Законы строения и развития техники. – Волгоград: ВолгПИ, 1985. – 202 с.
39. Половинкин А. И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применение (Всесоюзная ассоциация технического творчества «Эвристика»). – М.: Институт «Информэлектро», 1991. – 104 с.
40. Альтшуллер Г.С. – Как научиться изобретать. – Тамбов: Книжное издательство, 1961. – 128 с.
41. Альтшуллер Г.С. – Основы изобретательства. – Воронеж: Центральное черноземное книжное издательство, 1964. – 240 с.
42. Альтшуллер Г.С. О прогнозировании развития технических систем. – Баку, 1975. – 13 с.
<http://www.altshuller.ru/triz/zrts3.asp>.
43. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. — М.: «Советское радио», 1979. – 170 с.
44. Петров В.М. Закономерности развития технических систем // Методология и методы технического творчества. - Тезисы докладов и сообщений к научно- практической конференции 30 июня - 2 июля 1984 г. - Новосибирск, 1984, с. 52-54.
45. Петров В.М., Злотина Э.С. Теория решения изобретательских задач – основа прогнози-

- рования развития технических систем. Методические разработки. - Л.:ЦНТТМ "Квант", Братислава: ДТ ЧСНТО, 1989. – 92 с.
46. Петров В. - История разработки законов развития технических систем. 2002. – 24 с.
 47. Любомирский А., Литвин С. Законы развития технических систем. 2003. <http://www.metodolog.ru/00767/00767.html>.
 48. Кудрявцев А.В. Как работать с S-образными кривыми. 2009. <http://www.metodolog.ru/node/256>.
 49. Кынин А.Т., Лянин В.А. Оценка параметров технических систем с использованием кривых роста. 2008. – 25 с. <http://www.metodolog.ru/01428/01428.html>
 50. Рубин М. Мифы о законах развития технических систем. 2009. – 9 с. <http://www.temm.ru/ru/section.php?docId=4384>
 51. Bar-Yam Y. Dynamics of complex systems. – Addison-Wesley, 1997. – 848 p.
 52. Adams K., Hester P., Bradley J. A historical perspective of systems theory // Proceedings of the 2013 Industrial and Systems Engineering Research Conference, Puerto Rico, May 18-22, 2013. – 8 p.
 53. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 403 с.
 54. Аверин Г.В. Об основаниях системодинамики // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. Донецк: ДонНТУ. □ 2011, № 1. С. 6 – 52.
 55. Аверин Г.В. О фундаментальных основах системодинамики: опытные факты, методология, приложения // Интеллектуальный анализ информации, ИАИ-2011. – К: НТУ «КПИ», 2011, – С. 152 – 169.
 56. Sanders T. The Moore's Law of Moore's Laws // MRS Bulletin. 2015, Volume 40, Issue 11.
 57. Дятчин, Н. И. Техника: закономерности строения, функционирования и развития. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – 186 с.
 58. Дятчин, Н. И. История развития техники и система законов строения, функционирования и развития технических объектов и систем // Вестник Алтайской науки. – 2009. – № 2. С. 120–128.
 59. Дятчин Н. – Классификация и систематизация законов техники // Ползуновский альманах, 2011, №2. С. 22-27.
 60. Fink J. America Adopts the Automobile, 1895-1910. – Massachusetts: The MIT Press, 1970. – 343 p.
 61. Howells J., Katznelson R. The “Overly-broad” Selden patent, Henry Ford and Development in the Early US Automobile Industry. – Aarhus: Aarhus University, 2016. - 30 p.
 62. Augustine N. Augustine's laws. – Viking, 1986. – 380 p.
 63. Eskew H. Aircraft Cost Growth and Development Program Length: some Augustinian Propositions Revisited // Acquisition Review Quarterly. Summer 2000. P. 209-220.
 64. Mugg J. Jet fighter costs – a complex problem // ASPI, 21 Sep 2015, <https://www.aspistrategist.org.au/jet-fighter-costs-a-complex-problem>
 65. Бьоркман Э. Безумная юность F-16 // Air & Space, США, 2014.
 66. Defence spending in a time of austerity // Economist, Aug 26th 2010. <http://www.economist.com/node/16886851>
 67. Aging Avionics in Military Aircraft. - Washington: National Academy Press, 2001. – 70 p.
 68. Толкачев С.А. Новый облик отечественной авиационной промышленности // «Капитал страны», 01.09.2010. <http://www.kapitalrus.ru/index.php/articles/article/178599>.
 69. Кудрявцев В.Ф., Савенко А.Ю. Атомный самолет: будущее в прошедшем времени // "Авиация и Время" № 3, и 4, с.16-20/2004. С. 31-35.
 70. Сырин С.А., Терещенко Т.С., Шемяков А.О. Анализ прогнозов научно-технологического развития России, США, Китая и Европейского Союза как лидеров мировой ракетно-космической промышленности // Труды МАИ, Выпуск № 82, 2015. – 30 с.

References (transliteration)

1. Anoprienko A.Ya. Zakonomernosti razvitiya kompyuternykh tekhnologiy i obobshchennykh zakonov Mura // Vestnik Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta, #2 (2), 2016. S. 3-17 (in Russian).
2. Anoprienko A.Ya. Pyataya volna industrializatsii i tretya promyshlennaya revolyutsiya // Vestnik Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta, #1 (1), 2016. S. 3-12 (in Russian).
3. Anoprienko A.Ya. Sistemodinamika tehnosfery: kak izmerit tekhnicheskii progress // Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve, 2015. # 1(8)-2(9). S. 47-58 (in Russian).
4. Anoprienko A.Ya. Sistemodinamika nootekhnosfery: osnovnyye zakonomernosti // «Sis-

- temnyiy analiz v naukah o prirode i obschestve». – Donetsk: DonNTU, 2014, #1(6)-2(7). S. 11-29 (in Russian).
5. Anoprienko A.Ya. Sistema zakonomernostey razvitiya sredstv i metodov kompyutinga // Materialy V vseukrainskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Informatsion-nyie upravlyayushchie sistemy i kompyuternyy monitoring (IUS i KM 2014)» – 22-23 ap-relya 2014 g., Donetsk, DonNTU, 2014. V 2-h tomah. T. 1. S. 11-23 (in Russian).
 6. Anoprienko A.Ya. Kontseptsiya nooritmov i ee mirovozzrencheskoe znachenie // Doklad na regionalnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii «Gumanizatsiya obrazovaniya v tehnichestvom universitete». – Donetsk: DonGTU. – 1994. – 3 s. Anoprienko A.Ya (in Russian).
 7. Nooritmy: modeli sinhronizatsii cheloveka i kosmosa. – Donetsk: UNITEH, 2007. – 372 s (in Russian).
 8. Anoprienko A.Ya. Tsivilizatsiya, noosfera i nooritmy // «Noosfera i tsivilizatsiya». Nauchnyy zhurnal. Vyipusk 7 (10). – Donetsk, 2009. S. 62-69 (in Russian).
 9. Anoprienko A.Ya. Nooritmy i vremya v informatsionnyu epohu // «Vremya v zerkale nauki». Spetsialnyy vyipusk sbornika nauchnykh trudov «Gumanitarnyye studii». Chast 1. – K.: Tsentr uchebnoy literatury, 2010. S. 291-305 (in Russian).
 10. Anoprienko A.Ya. Nooritmy – effektivnaya model strukturirovaniya istoricheskogo vremeni // Materialy I mezhdunarodnoy nauchnoy mezhdistsiplinnoy konferentsii «Vremya v zerkale nauki» (Kiev, 19 marta 2011 goda). – K.: Tsentr uchebnoy literatury, 2011. S. 299-303 (in Russian).
 11. Anoprienko A.Ya. Nooritmy: kompleksnaya empiricheskaya model noosfernoy dinamiki // Mezhdunarodnyy mezhdistsiplinnyy simpozium «Nanotekhnologiya i noosferologiya v kontekste sistemnogo krizisa tsivilizatsii». Sbornik tezisov dokladov. Simferopol – Yalta, 4-10 yanvarya, 2011 g. S. 30-32 (in Russian).
 12. Kondratev N. D. Mirovoe hozyaystvo i ego kon'yunktury vo vremya i posle voyni. – Volgda, 1922. – 258 s (in Russian).
 13. Kondratev N.D. Bolshie tsikly kon'yunktury / Voprosy kon'yunktury. – 1925. – Vyip.1, T.I. – S. 28-79 (in Russian).
 14. Kondratev N.D. Osnovnyie problemy ekonomicheskoy statiki i dinamiki: Predvaritelnyy eskiz. – M.: Nauka, 1991. – 567 s (in Russian).
 15. Kondratev N.D. Bolshie tsikly kon'yunktury i teoriya predvideniya. – M.: ZAO «Izdatelstvo «Ekonomika», 2002. – 767 s (in Russian).
 16. Bogdanov A. A. Osnovnyie elementy istoricheskogo vzglyada na prirodu. — Spb, 1899. – 251 s (in Russian).
 17. Bogdanov A. A. Poznanie s istoricheskoy tochki zreniya. – Spb, 1901. – 217 s (in Russian).
 18. Bogdanov A. A. Vseobschaya organizatsionnaya nauka. Chast 1. Izd. 3-e M-L.: Kniga, 1925. 300 s. (1-e izd. 1913 g.) (in Russian).
 19. Bogdanov A. A. Vseobschaya organizatsionnaya nauka (tektologiya). Chast II. Izd-e 3-e. L.-M.: Kniga, 1927. 240 s. (1-e izd-e 1917 g.) (in Russian).
 20. Bogdanov A. A. Vseobschaya organizatsionnaya nauka, (tektologiya). Chast III. Izd-e 2-e. L.-M.: Kniga, 1929. 221 s. (1-e izd-e 1922 g., Berlin) (in Russian).
 21. Bogdanov A. A. Tektologiya. Vseobschaya organizatsionnaya nauka. Pod red. akad. L. I. Abalkina, akad. A. G. Aganbegyana, akad. D. M. Gvishiani, akad. A. L. Tahtadzhyan, dokt. biol. na uk A. A. Malinovskogo. M.: Ekonomika. 1989. Kn. 1 — 304 s., Kn. 2 — 351 s (in Russian).
 22. Bertalanffy L. von. An Outline of General System Theory // «The British Journal for the Philosophy of Science», 1950. Vol. 1, N 2. P. 134-165.
 23. Bertalanffy L. von. General System Theory // In: General Systems, 1955. Vol. 1. P. 1-10.
 24. Bertalanffy L. von. General Theory of Systems: Application to Psychology.— «Social Science Information sur Les Sciences Sociales», 1967, vol. VI, N 6.
 25. Bertalanffy L. von. General System Theory. Foundations, Development, Applications, N. Y., 1968. – 289 p.
 26. Bertalanffy L. von. Obschaya teoriya sistem – kriticheskiy obzor // Issledovaniya po obshchey teorii sistem: Sbornik perevodov / Obsch. red. i vst. st. V. N. Sadovskogo i E. G. Yudina. – M.: Progress, 1969. S. 23-82 (in Russian).
 27. Bertalanffy L. von. The History and Status of General Systems Theory // In: in Klir G. (ed.), Trends in General Systems Theory, New York, Wiley, 1972. P. 21–41.
 28. Forrester Dzh. Osnovy kibernetiki predpriyatiya (Industrialnaya dinamika). – M.: Progress, 1970. – 340 s (in Russian).
 29. Forrester Dzh. Mirovaya dinamika. – M.: OOO «Izdatelstvo AST», 2003. – 379 s (in Russian).

30. Forrester Dzh. Dinamika razvitiya goroda. – M.: Progress, 1974. – 300 s (in Russian).
31. Sadovskiy V.N. Smena paradig sistemnogo myshleniya. // Sistemnyie issledovaniya. Metodologicheskie problemyi. Ezhegodnik 1992-1994. M., 1996. S. 64-78 (in Russian).
32. Issledovaniya po obschey teorii sistem. – M.: – Progress, 1969. – 520 s (in Russian).
33. Blauberger I.V., Yudin E.G. Stanovlenie i suschnost sistemnogo podhoda. – M.: Nauka, 1973. – 270 s (in Russian).
34. Eyres R. Nauchno-tehnicheskoe prognozirovanie i dolgosrochnoe planirovanie. – M.: Mir, 1971. – 296 s (in Russian).
35. Yanch E. Prognozirovanie nauchno-tehnicheskogo progressa. – M.: «Progress», 1970. – 568 s (in Russian).
36. Martino Dzh. Tehnologicheskoe prognozirovanie. – M.: Progress, 1977. – 592 s.
37. Sahal D. Tehnicheskii progress: kontseptsii, modeli, otsenki. – M.: «Finansyi i stati-stika», 1985. – 366 s (in Russian).
38. Polovinkin, A. I. Zakonyi stroeniya i raz-vitiya tehniki. – Volgograd: VolgPI, 1985. – 202 s (in Russian).
39. Polovinkin A. I. Teoriya proektirovaniya novoy tehniki: zakonomernosti tehniki i ih primeneniye (Vsesoyuznaya assotsiatsiya tehnicheskogo tvorchestva «Evrastika»). – M.: Institut «Informelektron», 1991. – 104 s (in Russian).
40. Altshuller G.S. – Kak nauchitsya izobretat. – Tambov: Knizhnoye izdatelstvo, 1961. – 128 s (in Russian).
41. Altshuller G.S. – Osnovyi izobretatel-stva. – Voronezh: Tsentralnoye chernozemnoye knizhnoye izdatelstvo, 1964. – 240 s (in Russian).
42. Altshuller G.S. O prognozirovaniy razvi-tiya tehnicheskikh sistem. – Baku, 1975. – 13 s. <http://www.altshuller.ru/triz/zrts3.asp> (in Russian).
43. Altshuller G.S. Tvorchestvo kak tochnaya nauka. — M.: «Sovetskoye radio», 1979. – 170 s (in Russian).
44. Petrov V.M. Zakonomernosti razvitiya tehnicheskikh sistem // Metodologiya i metodyi tehnicheskogo tvorchestva. - Tezisyi dokladov i soobscheniy k nauchno- prakticheskoy konferentsii 30 iyunya - 2 iyulya 1984 g. - Novosibirsk, 1984, s. 52-54 (in Russian).
45. Petrov V.M., Zlotina E.S. Teoriya resheniya izobretatel'skikh zadach – osnova prognozirovaniya razvitiya tehnicheskikh sistem. Metodicheskie razrabotki. - L.:TsNTTM "Kvant", Bratislava: DT ChSNTO, 1989. – 92 s (in Russian).
46. Petrov V. - Istoriya razrabotki zakonov razvitiya tehnicheskikh sistem. 2002. – 24 s (in Russian).
47. Lyubomirskiy A., Litvin S. Zakonyi razvi-tiya tehnicheskikh sistem. 2003. <http://www.metodolog.ru/00767/00767.html> (in Russian).
48. Kudryavtsev A.V. Kak rabotat s S-obraznyimi kriviyimi. 2009 (in Russian). <http://www.metodolog.ru/node/256>.
49. Kyinin A.T., Lenyashin V.A. Otsenka parametrov tehnicheskikh sistem s ispolzovani-em krivyih rosta. 2008. – 25 s. <http://www.metodolog.ru/01428/01428.html> (in Russian).
50. Rubin M. Mifyi o zakonah razvitiya tehnicheskikh sistem. 2009. – 9 s (in Russian). <http://www.temm.ru/ru/section.php?docId=4384>
51. Bar-Yam Y. Dynamics of complex systems. – Addison-Wesley, 1997. – 848 p.
52. Adams K., Hester P., Bradley J. A historical perspective of systems theory // Proceedings of the 2013 Industrial and Systems Engineering Research Conference, Puerto Rico, May 18-22, 2013. – 8 p.
53. Averin G.V. Sistemodinamika. – Donetsk: Donbass, 2014. – 403 s (in Russian).
54. Averin G.V. Ob osnovaniyakh sistemodinamiki // Sistemnyiy analiz i informatsion-nyie tehnologii v naukah o prirode i obsche-stve. Donetsk: DonNTU (in Russian).
55. Averin G.V. O fundamentalnykh osnovakh sistemodinamiki: opytitnyie faktyi, metodologiya, prilozheniya // Intellektualnyiy analiz informatsii, IAI-2011. – K: NTU «KPI», 2011, – S. 152 – 169 (in Russian).
56. Sanders T. The Moore's Law of Moore's Laws // MRS Bulletin.2015, Volume 40, Issue 11.
57. Dyatchin, N. I. Tehnika: zakonomernosti stroeniya, funktsionirovaniya i razvitiya. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2005. – 186 s (in Russian).
58. Dyatchin, N. I. Istoriya razvitiya tehniki i sistema zakonov stroeniya, funktsionirovaniya i razvitiya tehnicheskikh ob'ektov i sistem // Vestnik Altayskoy nauki. – 2009. – # 2. S. 120–128 (in Russian).
59. Dyatchin N. – Klassifikatsiya i sistematizatsiya zakonov tehniki // Polzunovskiy almanah, 2011, #2. S. 22-27 (in Russian).
60. Fink J. America Adopts the Automobile, 1895-1910. – Massachusetts: The MIT Press, 1970. – 343 p.

61. Howells J., Katznelson R. The "Overly-broad" Selden patent, Henry Ford and Development in the Early US Automobile Industry. – Aarhus: Aarhus University, 2016. - 30 p.
62. Augustine N. Augustine's laws. – Viking, 1986. – 380 p.
63. Eskew H. Aircraft Cost Growth and Development Program Length: some Augustinian Propositions Revisited // Acquisition Review Quarterly. Summer 2000. P. 209-220.
64. Mugg J. Jet fighter costs – a complex problem // ASPI, 21 Sep 2015, <https://www.aspistrategist.org.au/jet-fighter-costs-a-complex-problem>
65. Borkman E. Bezumnaya yunost F-16 // Air & Space, SShA, 2014 (in Russian).
66. Defence spending in a time of austerity // Economist, Aug 26th 2010. <http://www.economist.com/node/16886851>
67. Aging Avionics in Military Aircraft. - Washington: National Academy Press, 2001. – 70 p.
68. Tolkachev S.A. Novyy oblik otechestvennoy aviatsionnoy promyshlennosti // «Kapital strany», 01.09.2010. <http://www.kapitalrus.ru/index.php/articles/article/178599> (in Russian).
69. Kudryavtsev V.F., Savenko A.Yu. Atomnyy samolet: budushee v proshedshem vremeni // "Aviatsiya i Vremya" # 3, i 4, s.16-20/2004. S. 31-35 (in Russian).
70. Syirin S.A., Tereschenko T.S., Shemyakov A.O. Analiz prognozov nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossii, SShA, Kitaya i Evropey-skogo Soyuza kak liderov mirovoy raketno- kosmicheskoy promyshlennosti // Trudy MAI, Vyipusk 82, 2015. – 30 s (in Russian).

A.Y. Anopriyenko "System dynamics of technosphere: technical progress and noorhythms". The system dynamics of the technosphere can be viewed as a combination of periodic and exponential growth patterns. The basis is the modified concept of Kondratieff waves, known as noorhythms. The essence of the modification in this case lies in the coupling of waves to 50-year periodic oscillations with a variable amplitude within 500-year periods. An analysis of a large volume of real historical data confirms sufficient productivity of such a model, at least when considering the development of the technosphere over the past centuries. The influence of such periodic regularities on the growth curves in various fields of technology is considered and for the first time such concepts as JJ-curves and jJ-curves describing the characteristic changes in the dynamics of exponential processes of the development of technical systems are introduced. Of particular interest are the jJ-curves. The features of the formation of such development curves are quite clearly traced on examples of the development of technical systems in the automotive, aerospace and aerospace industries. Such regularities will make it possible in the future to implement much more adequate long-term forecasting of scientific and technical progress and more reliable planning for the development of complex technical systems.

Keywords: *system dynamics, technosphere, periodic processes of exponential growth, patterns of development of technical systems, the speed of technical progress.*

Статья поступила в редакцию 22.06.2016

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Г.В. Авериным

Как правильно ссылаться на данную статью:

Аноприенко А.Я. Системодинамика техносферы: технический прогресс и нооритмы // «Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе», 2016. № 1(10)-2(11). – С. 31–61.