

Из истории техники *From the History of Technology*

DOI: 10.31857/S0205960624010033

ФАЗЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ НА ПРИМЕРЕ ЭВОЛЮЦИИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК САМОЛЕТОВ

КУЗЬМИН Юрий Викторович — *Институт истории естествознания и техники
им. С. И. Вавилова РАН; Россия, 125315, Москва, ул. Балтийская, д. 14;
эл. почта: kuzmin@ihst.ru*

© Ю. В. Кузьмин

На основе собранных данных о динамике смены типов силовых установок, использовавшихся при производстве самолетов в XX в. и при разработке новых моделей самолетов, в статье проверены несколько гипотез о закономерностях развития техники. Исходными данными стали собранные автором сведения об особенностях конструкции 20 250 моделей самолетов XX в., в том числе о типах их силовой установки, и 39 000 записей о производстве этих моделей с разбивкой по годам. Для анализа выбраны пять классов самолетов: два гражданских (пассажирские самолеты и самолеты общего назначения) и три военных (истребители, бомбардировщики и ударные самолеты).

Согласно первой гипотезе, развитие гражданских технологий проходит две различные фазы. Во время первой фазы происходит смена технических решений (в нашем случае — типов силовой установки) — имеет место вытесняющая конкуренция. Но в определенный момент такая конкуренция сменяется сосуществованием, при котором каждое «дожившее» до данного момента решение сохраняет свою долю в производстве в течение длительного времени. В военной же области технологическая гонка вооружений не останавливается и период сосуществования не наступает — в этом состоит вторая гипотеза.

Третья гипотеза гласит: разработка конструкций по устаревшей методологии продолжается и после того, как новое поколение практически вытесняет предыдущее из производства. Такое поведение типично для инженерного сообщества и повторяется раз за разом как в гражданской, так и в военной сфере. Наконец, четвертая гипотеза утверждает, что по мере развития техники изделие обычно проходит два периода: усложнение, сопровождающееся быстрым ростом количественных характеристик, а затем упрощение использования и эксплуатации. Это выражается в том числе в уменьшении числа основных агрегатов в изделии. В нашем случае — это уменьшение числа двигателей тяжелых самолетов.

Показано, что собранные данные подтверждают ранее высказанные гипотезы.

Ключевые слова: история техники, развитие техники, законы развития техники, авиастроение, история авиации, развитие авиационных конструкций, силовые установки самолетов, двигатели.

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2023 г.

TECHNOLOGY DEVELOPMENT PHASES, AS EXEMPLIFIED BY THE EVOLUTION OF AIRCRAFT POWER PLANTS

KUZMIN Yurii Viktorovich – *S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences; Ul. Baltiyskaya, 14, Moscow, 125315, Russia;*
E-mail: kuzmin@ihst.ru

© Yu. V. Kuzmin

Abstract: Several hypotheses concerning technology development patterns were tested on the dataset, prepared by the author. This dataset includes the data regarding dynamics of changes in airplane power plants used both in airplane production in the 20th century and in the development of new airplane models, the design features of 20,250 20th-century airplane models, and 39,000 records describing the production of these models. Five classes of airplanes were selected for analysis: two civil (passenger and general-purpose aircrafts) and three military (fighters, bombers, and attack aircrafts) classes.

According to the first hypothesis, the development of civil technologies goes through two different phases. During the first phase, a succession of technical solutions (in our case, the types of most widely used airplane engines) occurs, indicating a displacing competition. At a certain moment, however, this competition gives way to coexistence, in which each solution that has “survived” up to this moment retains its share in production for a long time. In the military sector, the technological arms race never stops and the stage of coexistence does not occur, which comprises the second hypothesis.

According to the third hypothesis, the development of designs using outdated methodology continues even after the new generation practically displaces the previous one from production. This behavior is typical for the engineering community and repeats time after time in both the civil and military sectors.

Finally, the fourth hypothesis states that, as technology develops, a product usually undergoes two periods: complication, which is accompanied by a rapid increase in quantitative characteristics and followed by simplification of operation and maintenance. This trend manifests, among other things, as a reduction in the number of main units in the product. In our case, this means a reduction in the number of engines installed on heavy airplanes.

It is shown that the collected data confirm the previously stated hypotheses.

Keywords: history of technology, development of technology, technology development laws, aircraft engineering, history of aviation, development of airplane design, airplane power plants, engines.

For citation: Kuzmin, Yu. V. (2024) Fazy razvitiia tekhniki na primere evoliutsii silovyykh ustanovok samoletov [Technology Development Phases, as Exemplified by the Evolution of Aircraft Power Plants], *Voprosy istorii estestvoznaniia i tekhniki*, vol. 45, no. 1, pp. 58–78, DOI: 10.31857/S0205960624010033.

Постановка задачи

Цель этой статьи — проверка четырех гипотез о законах развития техники. Первая из них была выдвинута в докладе автора в 2019 г.¹ Она гласит: технология либо оказывается тупиковой и рано исчезает, либо проходит три фазы. Во время первой фазы, фазы поиска, различные технические решения сосуществуют или хаотически меняются, затем наступает период быстрой смены поколений — одно решение сменяет другое.

Во время этой фазы развития быстро, почти экспоненциально, растут и количественные показатели. Но в какой-то момент рост количественных показателей резко прекращается и даже наступает некоторый кажущийся регресс. Практически одновременно прекращается и смена поколений: каждое дожившее до этого момента техническое решение находит свою нишу и вытесняющая конкуренция сменяется сосуществованием, наступает третья фаза, фаза зрелой технологии.

В докладе в качестве подтверждения были взяты средневзвешенная скорость боевых самолетов и распределение числа построенных самолетов по используемым конструкционным материалам. Но скорость самолета, в том числе боевого, имеет и понятные физико-экономические пределы. Это тепловой барьер (величина теплопритока из-за торможения воздушного потока самолетом значительно превышает отвод тепла в окружающую среду)², а при дальнейшем росте скорости — образующееся вокруг самолета плазменное облако, затрудняющее работу собственных сенсоров.

Еще один барьер — ограничение скорости работы других подсистем, вовлеченных в процесс воздушной войны, прежде всего человека. Начальник отдела боевого применения истребительно-бомбардировочной авиации 4-го Центра боевого применения и переобучения летного состава ВВС СССР И. Б. Качоровский писал, что дозвуковые МиГ-17 показывали при действии по наземным целям лучшие результаты, чем более современные сверхзвуковые истребители-бомбардировщики Су-7Б, оснащенные еще и более совершенным прицельным оборудованием: летчики не успевали обработать информацию и поразить цели³.

¹ Кузьмин Ю. В. От истории техники к законам развития техники // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2019 / Гл. ред. Д. Ю. Шербинин, отв. ред. Р. А. Фандо. Саратов: Амирит, 2019. С. 276–280.

² Правда о сверхзвуковых пассажирских самолетах / Ред. В. Т. Климов. М.: Московский рабочий, 2000. С. 99.

³ Качоровский И. Б. Профессия — летчик. Взгляд из кабины. СПб.: Моркнига, 2008. С. 40.

Скорость пассажирских самолетов также имеет экономический предел — резкий рост расхода топлива на пассажиро-километр при превышении скорости звука; это связано с фундаментальными законами аэродинамики⁴. Поэтому многочисленные попытки после создания Ту-144 и «Конкорда» вновь предложить авиакомпаниям сверхзвуковые пассажирские самолеты не достигали успеха.

Изучение процесса смены в производстве технических решений, каждое из которых было реализовано, а значит, преодолело «барьерные» ограничения, описанные выше, может лучше помочь проверке гипотезы.

Насколько мне известно, ранее подобных историко-технических работ не было. Авторы изучали новые решения, строили графики максимальных достижений⁵. Динамика же удельных показателей часто изображалась в виде красивых экспонент (или прямых в логарифмическом масштабе), слабо обоснованных изучением реальной ситуации в отрасли⁶.

Но отнюдь не всегда рост и количественных показателей останавливается из-за понятных барьеров. Так, в работе автора были проанализировано поведение и количественных, и качественных показателей для самого пространственного подвида самолетов общего назначения — четырехместных⁷. Выявлено, что количественные показатели стабилизируются, причем очень далеко от барьеров. В это же время вытесняющая конкуренция аэродинамических схем и применяемых материалов заменяется их сосуществованием с сохранением постоянной доли каждого решения на рынке. Более того, предложение продукта с улучшенными характеристиками (скоростями, лучшими взлетно-посадочными данными и т. д.) не вызывает отклика у потребителей, и производство вскоре вновь возвращается к тиражированию решений с проверенными параметрами⁸.

Вторая гипотеза ограничивает область действия первой. Она утверждает: фаза сосуществования («зрелой технологии») наступает только в гражданской технике. В военной же области идет постоянная технологическая гонка вооружений. Каждый генерал желает иметь более совершенное оружие, чем потенциальный противник, поэтому фаза «достаточного удовлетворения потребности» не достигается. И хотя количественные показатели боевой техники могут «упираться в барьеры», как это произошло со скоростью боевых самолетов, смена поколений технических решений в военной технике идет постоянно, и новое решение практически полностью вытесняет предыдущее.

⁴ Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов / Ред. Г. С. Бюшгенс. М.: Физматлит, 1998. С. 80–104. Рис. 2.1.1, 2.1.4, 2.1.10 и др.

⁵ История энергетической техники. 2-е изд. / Ред. Л. Д. Белькинд, О. Н. Веселовский, И. Я. Конфедератов, Я. А. Шнейберг. М., Л.: Госэнергоиздат, 1960. С. 537. Рис. 11–8: Рост единичной мощности советских паровых турбин.

⁶ Там же. С. 630. Рис. 13–19: Постепенное снижение веса единицы мощности масляных трансформаторов.

⁷ Кузьмин Ю. В. Развитие конструкций четырехместных самолетов в XX веке // Историческая информатика. 2022. № 3. С. 56–80.

⁸ Кузьмин Ю. В. Умеют ли инженеры управлять? На примере истории самолетостроения // Авиация и космонавтика. 2022. № 9. С. 23–29.

Третья, достаточно парадоксальная гипотеза, выдвинутая автором в 2020 г.⁹, гласит: внедрение новой методологии в практику конструирования происходит медленнее, чем в практику производства. Более выпукло она может быть сформулирована так: изменения в головах конструкторов происходят дольше, чем внедрение новшеств на производстве. Гипотеза была выдвинута при изучении качественных характеристик четырехместных самолетов общего назначения и сельскохозяйственных самолетов¹⁰ — это гражданские технологии. Интересно проверить его на военных изделиях.

Четвертая гипотеза говорит о двух периодах изменения конструкции изделия при развитии техники: усложнение сменяется упрощением. Более точно гипотеза сформулирована в тексте статьи.

Конечно, для такого сложного объекта, как отрасль техники, закономерности будут проявляться только статистически и всегда можно найти исключения, не попадающие под данные правила. В тексте приводятся два таких примера.

Исходные данные и методика работы

Исходными данными являются записи о характеристиках более 20 250 моделей самолетов (без учета модернизаций и недостроенных самолетов), созданных в мире в XX в. Среди собранных данных — назначение модели самолета, год первого полета, страна-разработчик, марка установленных двигателей, их мощность или тяга (винтовые и реактивные двигатели имеют принципиально разную зависимость тяги и развиваемой мощности от скорости; для винтовых двигателей относительно слабо зависящим от скорости показателем является мощность, для реактивных — напротив, тяга, поэтому прямое сравнение производительности двигателей разных типов возможно только при указании конкретной скорости), производитель двигателей, страна-производитель и страна-разработчик двигателей, класс двигателей («рядный», «оппозитный» и т. д.) и тип двигателей (более общая классификация, представители обоих указанных ранее классов принадлежат к типу «поршневой»).

К рядным двигателям отнесены также двигатели с несколькими блоками цилиндров, выстроенных в ряд, такие как V-, Л-, W-, X-образные. Оппозитные двигатели, которые тоже можно формально причислить к рядным, выделены в отдельную группу, поскольку именно таким типом двигателей оснащается большинство самолетов общего назначения.

⁹ Кузьмин Ю. В. Конструкторские школы как акторы истории техники. На примере статистического анализа мирового самолетостроения // Исторические исследования в контексте науки о данных: информационные ресурсы, аналитические методы и цифровые технологии: материалы международной конференции, Москва, 4–6 декабря 2020 г. / Отв. ред. И. М. Гарскова. М.: МАКС Пресс, 2020. С. 64–70.

¹⁰ Кузьмин Ю. В. История сельскохозяйственного самолетостроения XX века // Легенды и мифы авиации / Ред.-сост. Ю. В. Кузьмин. М.: Русские витязи, 2020. Вып. 10. С. 179–226.

Отдельно выделен подкласс вращающихся звездообразных двигателей с неподвижным коленчатым валом — так называемых «ротативных». По организации подачи топлива и смазки, креплению к каркасу самолета они существенно отличаются от неподвижных моторов.

Учтено, что на самолетах могут стоять два разных типа двигателей. Это было весьма распространено до Второй мировой войны, а в более позднее время известным примером является Ан-26, на котором кроме двух турбовинтовых двигателей АИ-24Т в правой мотогондole был установлен турбореактивный двигатель РУ19-300, используемый прежде всего для ускорения взлета с коротких полос или полос со слабым грунтом ¹¹.

Неизвестны марки двигателей, стоявшие на 600 моделях самолетов. Почти 340 из них созданы в 1905–1913 гг., а в эти годы говорить о разбивании самолетов по назначению можно только с большой натяжкой. Поэтому период исследования начинается с 1914 г. и заканчивается 31 декабря 2000 г., географический охват — весь мир.

Почти все из более поздних 264 моделей с неизвестными двигателями — экспериментальные или любительские конструкции, построенные общим числом 320 экз. Еще у 25 экз. (18 опытных моделей) известна модель двигателя, но нет данных о его мощности. Итого из анализа исключаются 345 экз. самолетов. Это 0,016 % от производства самолетов в XX в. (2,2 млн экз.), поэтому собранные данные можно считать практически полными.

Эти данные позволяют построить графики динамики частоты применения двигателей разных классов на новых моделях самолетов с разбивкой по назначению и странам, а также графики динамики нагрузки на мощность для винтовых самолетов (отношение взлетной массы к мощности двигателя, измеряется в кг/л. с.) и тяговооруженности для реактивных самолетов (отношение максимальной тяги двигателей к взлетному весу, безразмерная величина).

Методика сбора исходных данных изложена в ряде статей автора ¹². Источники информации суммированы в изданном автором «Библиографическом справочнике» ¹³.

Кроме сведений о моделях собраны свыше 41 000 записей об их выпуске по годам, из них 39 000 относятся к исследуемому в статье периоду 1914–2000 гг. В сочетании с предыдущим набором данных они позволяют строить динамику использования двигателей разных классов при производстве самолетов.

Проводится анализ сравнения использования двигателей при разработке новых моделей и в процессе реального производства.

¹¹ Горовой Б. И., Лагосюк Г. С., Черненко Ж. С. Самолет Ан-26. Конструкция и эксплуатация. М.: Транспорт, 1977. С. 7.

¹² См., например: Кузьмин Ю. В. Соотношение объемов производства и результативности конструкторских работ в мировом авиастроении XX в. Статистический анализ базы данных // Историческая информатика 2020. № 2. С. 61–82.

¹³ Кузьмин Ю. В. Библиографический справочник по самолетам XX века. М.: ИИЕТ РАН, 2021.

Для анализа выбраны наиболее крупные и значимые группы самолетов по назначению. Среди гражданских самолетов выделены две группы:

1) самолеты общего назначения (3–11-местные самолеты, включая экипаж, предназначенные для перевозки пассажиров и небольших грузов), их в XX в. построено свыше 520 000 штук¹⁴, это почти четверть общего выпуска самолетов в мире);

2) пассажирские самолеты (самолеты, предназначенные для перевозки пассажиров, берущие на борт не менее 10 пассажиров). Их выпущено значительно меньше — 65 000 штук (с учетом самолетов-салонов, также называемых *VIP-транспорты*), но по общей массе конструкции они составляют 1/6 всех самолетов мира¹⁵. Граница между самолетами общего назначения и пассажирскими самолетами проведена в соответствии с Федеральными авиационными правилами Российской Федерации¹⁶. Военно-транспортные самолеты, также способные перевозить пассажиров, в число пассажирских самолетов не включены.

Среди боевых самолетов выделены три крупные группы: истребители, с 1960-х гг. постепенно превращающиеся в многофункциональные боевые самолеты, бомбардировщики (не включая истребители-бомбардировщики) и ударные самолеты.

Последний класс включает в себя самолеты поля боя времен Первой мировой войны (*trench fighters*), многоцелевые самолеты 1921–1935 гг., чаще всего называемые «разведчики», такие как самолеты Поликарпова Р-5, штурмовики, пикирующие бомбардировщики (по боевому применению они существенно отличаются от горизонтальных бомбардировщиков, не говоря уже о стратегической авиации), вооруженные учебно-боевые самолеты и истребители-бомбардировщики. 1935 г. взят границей раздела, так как после этого года появляется значительное число специализированных самолетов поля боя и, с другой стороны, специализированных самолетов-разведчиков, не предназначенных для действий по наземным целям. Выбранные группы самолетов представляют значительную часть всех самолетов мира.

Результаты: проверка первых двух гипотез

На рис. 1–5 приведены диаграммы распределения строящихся самолетов мира по типам двигателей с разбивкой по пятилетним периодам, соответственно, для самолетов общего назначения, пассажирских самолетов, истребителей, бомбардировщиков и ударных самолетов.

Первые две диаграммы хорошо подтверждают первую гипотезу на материале гражданских технологий. На рис. 2 четко виден переход от смены

¹⁴ Кузьмин Ю. В. Роль авиапромышленности США в развитии авиации общего назначения // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2022. Т. 27. № 4. С. 1108–1120.

¹⁵ Кузьмин Ю. В. Пассажирское самолетостроение XX века. Количественный анализ // Научный вестник МТГУ ГА. 2023. Т. 26. № 3. С. 8–24.

¹⁶ Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. М.: Международный авиационный комитет, 1994. Раздел А.

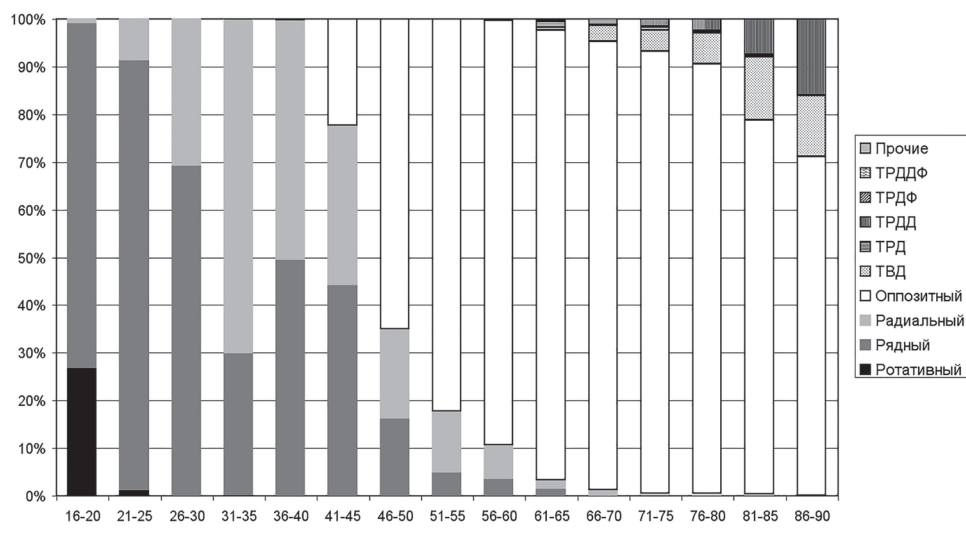


Рис. 1. Изменение соотношения типов двигателей на самолетах общего назначения по пятилетним периодам (по постройке)

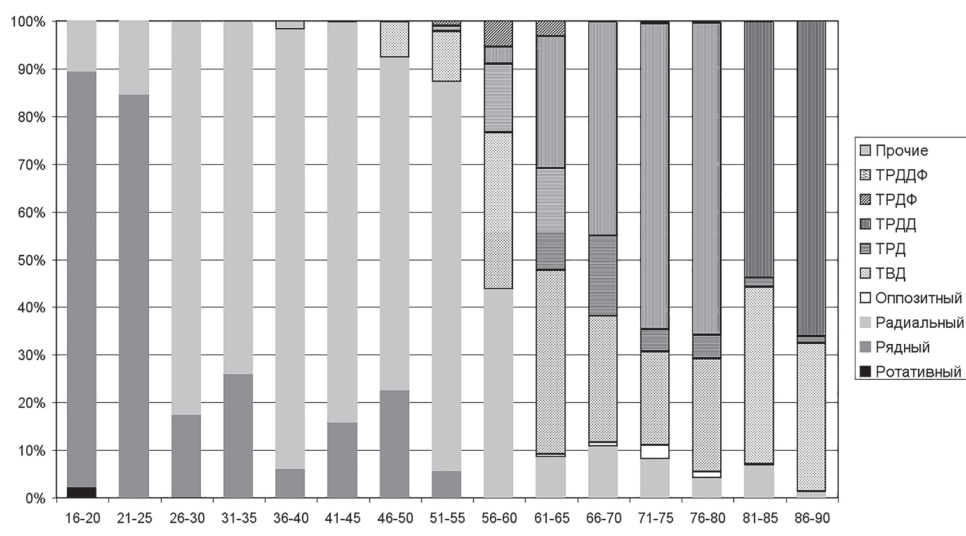


Рис. 2. Изменение соотношения типов двигателей на пассажирских самолетах по пятилетним периодам (по постройке)

решений к их сосуществованию с сохранением примерно постоянного соотношения самолетов с турбовинтовыми (ТВД) и двухконтурными турбореактивными (ТРДД) двигателями.

На рис. 1 видно принципиальное отличие внедрения новых решений для развивающейся и зрелой технологий. В первом случае новое решение

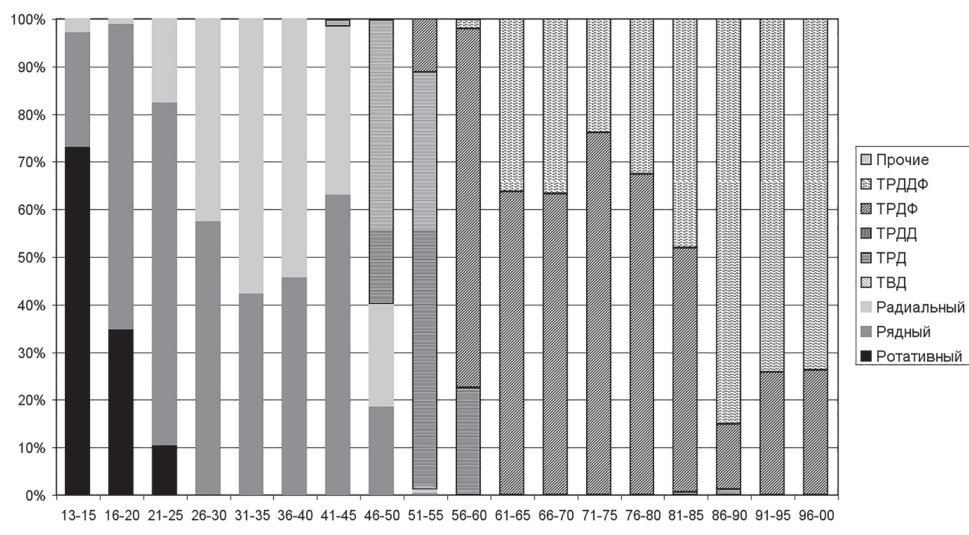


Рис. 3. Изменение соотношения типов двигателей на самолетах-истребителях по пятилетним периодам (по постройке)

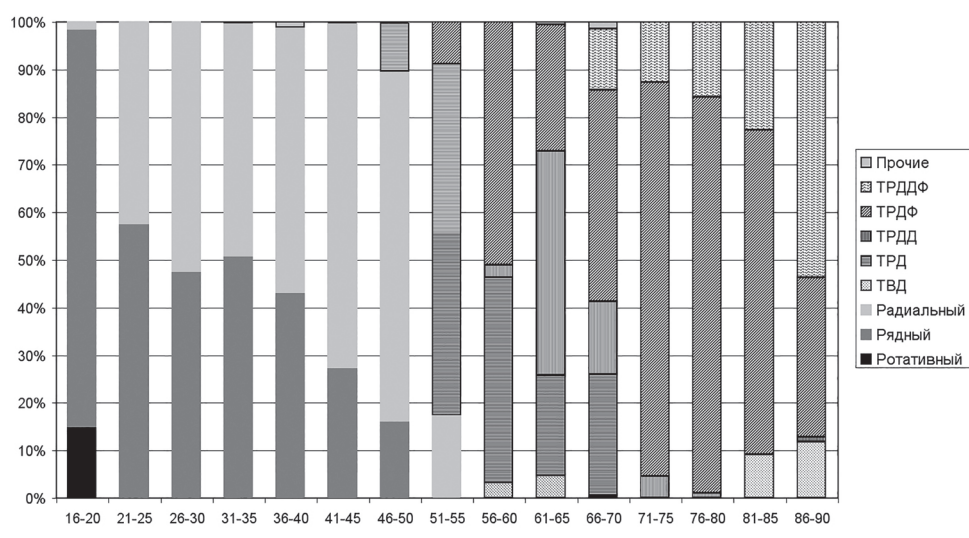


Рис. 4. Изменение соотношения типов двигателей на самолетах-бомбардировщиках по пятилетним периодам (по постройке)

вытесняет старое: самолеты с ротативными, рядными и радиальными моторами полностью сняты с производства. Но новая волна модернизации, возникшая прежде всего из-за требований к увеличению дальности самолетов, что, в свою очередь, связано с ростом глобализации мира и изменением географии деловых и туристических поездок, а также с ростом доли населения

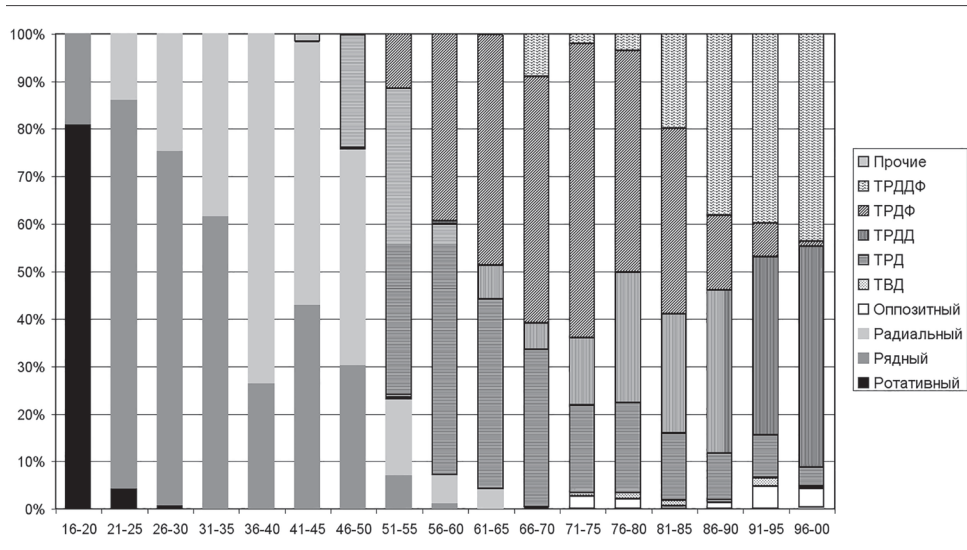


Рис. 5. Изменение соотношения типов двигателей на ударных самолетах по пятилетним периодам (по постройке)

и ВВП Азиатско-Тихоокеанского региона с его огромными расстояниями, не привела к вытеснению старой технологии. Напротив, каждое из решений заняло свою долю рынка, причем оппозитные моторы продолжают удерживать большую его часть.

Рис. 3 (типы силовых установок самолетов-истребителей) демонстрирует вытесняющую конкуренцию, свойственную военным технологиям. Но в 1990-е гг. происходит некоторый откат. Он связан с глобальными политическими изменениями: распадом СССР и Варшавского договора. Это привело к сокращению на порядок военного производства не только в СССР, но и в США и Западной Европе. Поэтому в мировом производстве выросла доля других стран, прежде всего КНР, продолжавших в это время строить самолеты по уже устаревшей технологии.

Таким образом, исторические закономерности, в связи с колоссальной сложностью изучаемого объекта и огромным числом действующих на него факторов, могут проявляться только статистически. Отклонения же от ожидаемого поведения могут либо быть сразу объяснены, как в нашем случае, либо, напротив, служить сигналом о появлении еще неучтенного в исследовании внешнего фактора, повлиявшего на ход исторического процесса — в данном случае процесса смены технических решений для данного класса изделий.

Диаграмма для бомбардировщиков (рис. 4) завершается 1990 г., так как после этого производство самолетов этого класса драматически сократилось в связи с распадом СССР. Она также показывает постоянную смену поколений и непрекращающуюся технологическую гонку вооружений.

А вот диаграмма для ударных самолетов (рис. 5) ведет себя более интересно. Предыдущие решения оказываются вытеснены новыми, но итоговое

состояние — это доминирование не одного, а двух решений: использование двухконтурных турбореактивных двигателей без форсажной камеры (ТРДД) и с форсажом (ТРДДФ). Класс ударных самолетов распался на сверхзвуковые машины, такие как F-15E, сближающиеся по своим возможностям с полноценными бомбардировщиками, и гораздо более дешевые дозвуковые самолеты поля боя и учебно-боевые самолеты.

Следовательно, отклонение поведения диаграммы от ожидаемого может не только сигнализировать о влиянии внешних возмущающих факторов, но и дать информацию об изменениях, происходящих внутри самого класса технических устройств, в том числе о происходящей внутри него диверсификации.

Таким образом, проверка на новом материале, относящемся и к гражданским, и к военным технологиям, не привела к опровержению гипотезы.

Численный анализ изменения тренда

Можно ли выявить изменение поведения системы не только по внешнему виду графиков, но и численно? К сожалению, большинство статистических методов ориентировано на вычисление либо тренда, либо сезонных составляющих¹⁷. Нас же интересует именно определение момента фазового перехода, когда меняется сам тренд.

Для определения момента изменения поведения системы введем зависящий от времени параметр $D(t)$:

$$D(t) = \sqrt{1/2 * \sum_k (y^k(t) - y^k(t-1))^2} = \sqrt{1/2 * \sum_k (\Delta y^k(t))^2},$$

где $y^k(t)$ — доля силовых установок типа k в период t , $y^k(t-1)$ — доля того же типа силовых установок в предыдущий период, $\Delta y^k(t) = y^k(t) - y^k(t-1)$ — изменение доли со временем. Суммирование идет по всем типам силовых установок k . Так как сумма долей равна единице, из k параметров независимы только $(k-1)$.

Корень введен для того, чтобы при анализе размерных величин (в нашем случае доли безразмерны) размерность параметра $D(t)$ совпадала с размерностью изучаемой величины. Множитель $1/2$ введен для того, чтобы при полной смене решений $D(t)$ за этот период равнялся единице (если есть только два типа моторов, в период 1 все они были первого типа, а во второй — все второго типа, то параметр D , рассчитанный для второго периода $t=2$, будет равен $D(2) = \sqrt{1/2 * ((1-0)^2 + (0-1)^2)} = 1$).

Этот параметр велик, если идет быстрая смена поколений, и мал, если поколения технических решений (в нашем случае — типов силовых установок) сосуществуют и их доли меняются медленно. Точка его уменьшения и сигнализирует о смене фаз развития.

¹⁷ Афанасьев В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование. Саратов: АйПиЭр Медиа, 2020. Раздел 3.2: Показатели, характеризующие тенденцию динамики. С. 38–41.

Но период «вытесняющей конкуренции» может привести к тому, что одно решение практически полностью вытеснит остальные. Например, в 1970-е гг. подавляющее большинство самолетов имело дюралюминиевую конструкцию. Но это не означает перехода к сосуществованию. Поэтому будем рассматривать изменчивость только части, не включающей самое популярное решение. Например, если в момент $t - 1$ доля самых популярных двигателей равнялась 60 %, в момент $t - 70$ %, то имеет смысл рассматривать вариацию только остатка распределения, т. е. вариацию $1 - \min(60 \%, 70 \%) = 40$ % величины. Поэтому окончательный параметр, описывающий вытесняющую конкуренцию, равен

$$D(t) = \sqrt{1/2 * (\sum_k (\Delta y^k(t))^2) / (1 - \max_k (\min(y^k(t), y^k(t-1))))},$$

Если какое-то решение занимает 100 % и в период t , и в период $(t - 1)$, то знаменатель выражения в формуле для $D(t)$ обращается в ноль. Мы рассматриваем это как высшую степень вытесняющей конкуренции: одно решение вытеснило все остальные. Поэтому в этом случае полагается $D(t) = 1$ (можно показать, что это и есть предел при любом поведении $y^k(t) \rightarrow 0$ для всех k , кроме одного).

На рис. 6 приведена динамика поведения параметра D , рассчитанного по пятилетним периодам для четырех классов самолетов: трех гражданских и военных (бомбардировщики). Среди гражданских классов – пассажирские самолеты, коммерческие (самолеты, осуществляющие невоенную авиационную деятельность за исключением обучения, а также самолетов общего назначения и пассажирских; в этот класс входят транспортные самолеты, сельскохозяйственные, аэрофотосъемочные, почтовые, буксировщики планеров и т. д.) и самолеты общего назначения (от трех до 11 мест включительно).

Видна разница поведения коэффициента для двух групп. Для гражданских самолетов он снижается, причем имеется и точка перегиба – смены фаз развития. Для военных самолетов коэффициент сильно флуктуирует (интересно его снижение в конце периода разрядки напряженности между мировыми войнами в районе 1930 г.), но в среднем остается постоянным, существенного его снижения не происходит.

Таким образом, динамика смены типов силовых установок на самолетах различного назначения подтверждает высказанную гипотезу. Размер статьи позволяет привести только агрегированные данные для всего мира. Интересные выводы получаются из анализа динамики типов силовых установок по отдельным крупным странам и регионам; в целом динамика по США, СССР и Западной Европе соответствует выдвинутым гипотезам.

Интересно также примерное совпадение моментов резкого уменьшения графиков параметра D , рассчитанных для различных качественных параметров гражданских самолетов: используемых конструкционных материалов, конфигурации крыла, схем шасси, типов двигателей.

Предложенный параметр D может быть использован и для анализа качественных показателей других исторических процессов, например

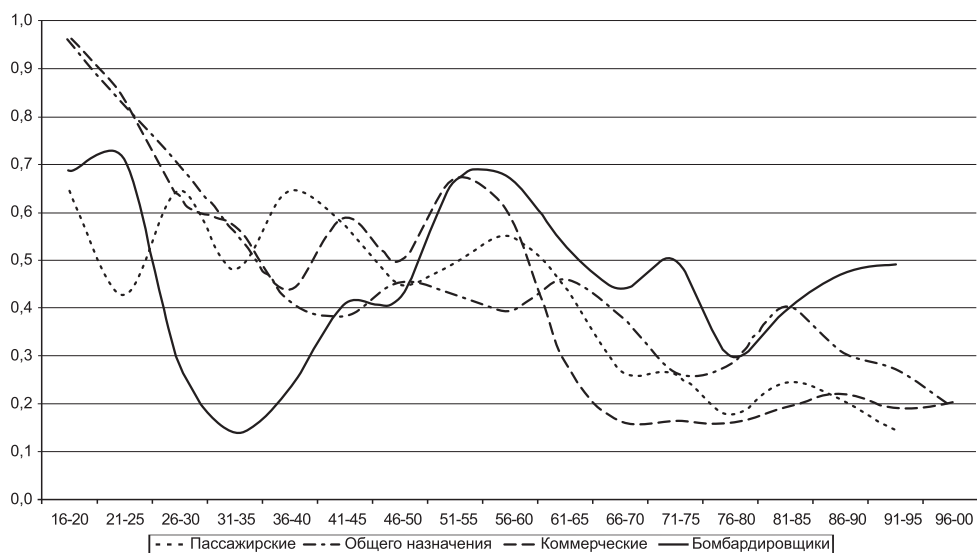


Рис. 6. Динамика параметра D для самолетов различного назначения

технологических укладов. Он позволит определить момент, когда чередование технических решений сменяется их сосуществованием или наоборот.

Проверка третьей гипотезы

Третья гипотеза, утверждающая, что смена технических решений в производстве происходит быстрее, чем в разработке, ранее была проверена при анализе конструкций самолетов общего назначения, т. е. на данных о гражданской технологии.

В качестве военной технологии выбрана смена типов силовой установки на самолетах-истребителях во время их особенно быстрого совершенствования в 1941–1961 гг. Для анализа использованы собранные сведения о 820 моделях истребителей, созданных в мире в 1941–1961 гг., и 345 000 экз. истребителей, построенных в мире за тот же период.

На рис. 7 приведено распределение строившихся в мире самолетов по типам двигателей. Видно, что быстро сменили друг друга рядные, радиальные (звздообразные) и турбореактивные двигатели (ТРД). Турбореактивные двигатели с форсажной камерой (ТРДФ) в течение нескольких лет занимали небольшую долю — их отладка и внедрение в производство, требующие жаропрочных материалов, разработка методов защиты конструкции планера от раскаленной форкамеры, были непростой задачей. Но в середине 1950-х гг. ТРДФ быстро вытеснили «обычные» ТРД. А в начале 1960-х гг. пришла пора двухконтурных ТРД с форсажной камерой (ТРДДФ).

На рис. 7 нас прежде всего интересует наклон границы, разделяющей доли ТРД и ТРДФ. Видно, что он велик и смена поколений в производстве



Рис. 7. Распределение построенных самолетов-истребителей по типу двигателя

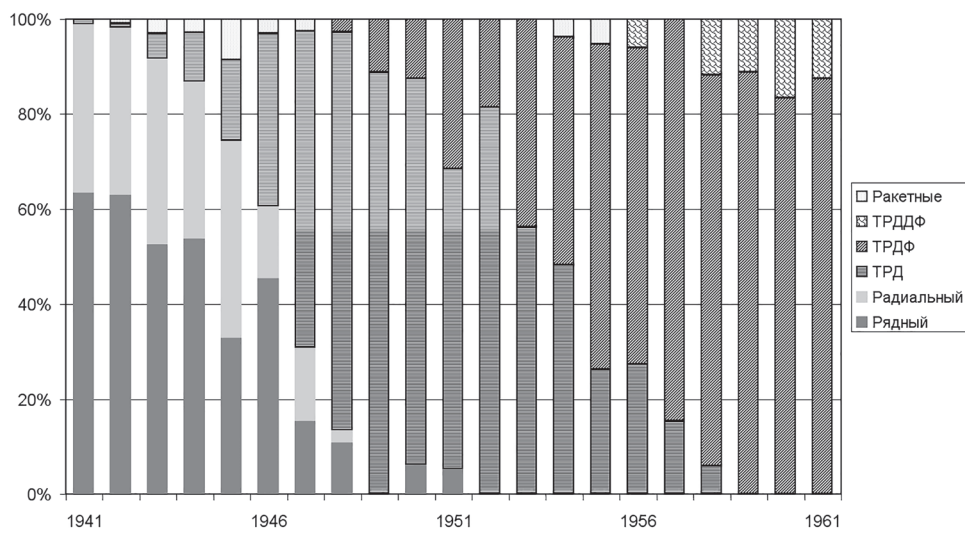


Рис. 8. Распределение новых моделей истребителей по типу двигателя

произошла в течение пятилетия, причем новое техническое решение почти полностью вытеснило старое.

Рассмотрим теперь тот же раздел долей ТРД и ТРДФ на рис. 8. Здесь дано распределение числа новых моделей самолетов, созданных в данном году, по типу двигателей, т. е. он относится не к производству, а к НИОКР — научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам.

Кривая раздела на рис. 8 идет намного более полого, и переход от проектирования истребителей с ТРД к самолетам с ТРДФ занял не пяти-, а десятилетие.

То, что в создание новых моделей с ТРДФ было вложено много сил до того, как они начали доминировать в производстве, вполне естественно. Но вот то, что разработка истребителей с уже устаревшими бесфорсажными ТРД активно продолжалась в 1956–1957 и даже 1958 г., удивляет. Так же, как и продолжавшаяся в 1950–1951 гг. разработка истребителей с поршневыми двигателями.

И это доказывает гипотезу: разработка устаревших решений часто ведется и после того, как большинству производителей становится ясна их устарелость. Значит, подобный шаблон поведения типичен для инженерного сообщества и будет встречаться и в будущем. Так как это увеличивает затраты на НИОКР без соответствующего роста количества и качества продукции, такой шаблон поведения вреден. Руководство отрасли должно помнить о его существовании и своевременно пресекать.

Отметим также раздел «Прочие» на рис. 8. Это прежде всего экспериментальные самолеты с ракетными двигателями и несколько моделей турбовинтовых истребителей. Сравнение рис. 8 с рис. 7 показывает, что усилия конструкторов, разрабатывающих такие модели, оказались потраченными напрасно: в серийное производство самолеты запущены не были. Следовательно, надо с большой осторожностью расходовать средства, особенно государственные, на конструкции, построенные не по господствующей методологии.

Итак, анализ новых данных — распределения производства истребителей и новых моделей самолетов-истребителей по типам двигателей в годы быстрой эволюции конструкций — подтверждает выдвинутую гипотезу.

Четвертая гипотеза

В процессе обработки данных родилась еще одна гипотеза о законах развития технических устройств: количество агрегатов в техническом устройстве во время фазы развития растет, а затем уменьшается до оптимального в смысле удобства использования и / или безопасности.

Проиллюстрируем ее изменением числа двигателей, — а это важнейший агрегат, — на самолетах XX в.

Большинство из изученных нами классов плохо подходят для такого анализа. Истребители были в основной массе одномоторными до 1960-х гг., после чего быстро увеличилась доля двухмоторных машин. Самолеты общего назначения по большей части одномоторные, иногда — двухмоторные, то же самое касается и ударных самолетов. Число типов бомбардировщиков относительно невелико, что увеличивает статистическую погрешность. И только пассажирские самолеты представлены в нескольких вариантах компоновки, что дает возможность построить содержательную динамику.

На рис. 9 приведено изменение долей самолетов с разным количеством двигателей в производстве (в штуках). Видно, что до Второй мировой войны пассажирским самолетам требовалось все больше моторов, их конструкция усложнялась.

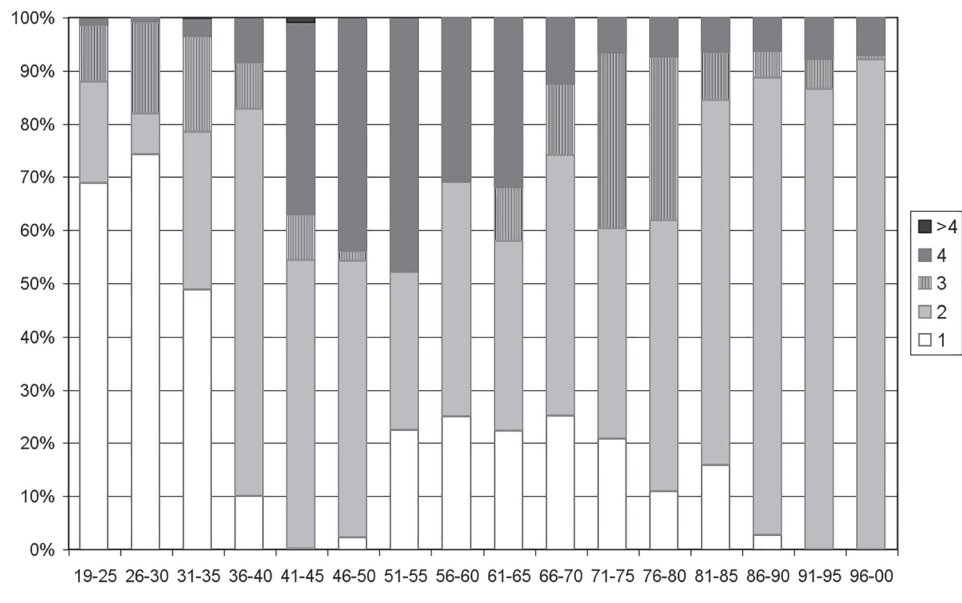


Рис. 9. Доля пассажирских самолетов с различным количеством двигателей в производстве

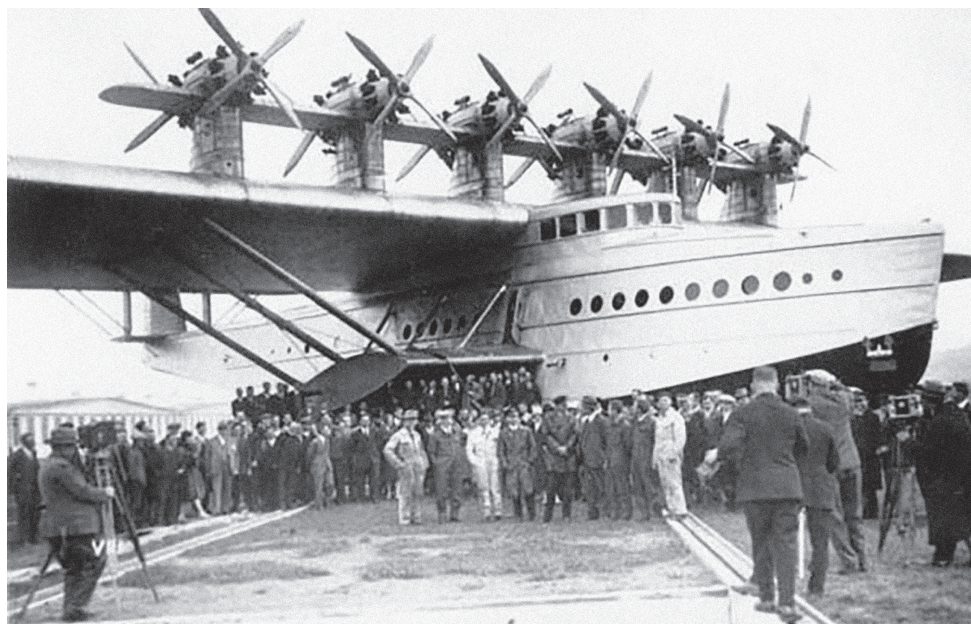


Рис. 10. 12-двигательный Dornier Do X. — самый многомоторный пассажирский самолет. Построенный в 1929 г. самолет имел салон, рассчитанный на перевозку 160 пассажиров

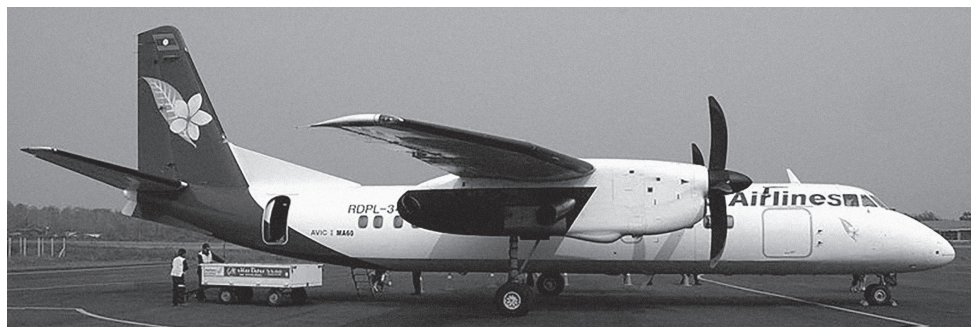


Рис. 11. Последний тип пассажирского самолета, созданный в XX в., китайский Сиань МА-60, как и большинство других новых моделей, имеет два двигателя. Первый полет опытный МА-60 совершил 12 марта 2000 г.

При переходе к трехмоторным самолетам резко увеличились надежность и безопасность полета: такие аппараты могли продолжать горизонтальный полет и после отказа одного из двигателей¹⁸. Затем наступила эра четырехмоторных самолетов, продлившаяся практически до конца 1950-х гг.

Но позднее достаточно развившаяся технология стала приводить к упрощению изделий. Среднее число двигателей снижалось, эксперименты с 6–12-двигательными монстрами (рис. 10) 1930–1940-х гг. остались в прошлом.

После 20-летнего ренессанса трехмоторных машин (американские *L-1011*, *DC-10*, британские *Britten Norman BN-2 “Trislander”*, французские *Dassault “Falcon”*, советские Ту-154, Як-40, Як-42), также отчетливо видимого на рис. 9, наступил период практически полного доминирования двухмоторных конструкций (рис. 11).

Новый минимум ограничен снизу все теми же соображениями безопасности, сформулированными еще в 1920-е гг.: пассажирский самолет должен продолжать полет после отказа одного двигателя. После Второй мировой войны правило ужесточили: теперь речь шла не только о полете, но и о продолжении взлета при отказе одного двигателя. Значит, двигателей нужно было как минимум два.

Рис. 12 показывает тот же процесс изменения числа двигателей на пассажирских самолетах более наглядно. Одна кривая на нем — это среднее число двигателей на самолетах, находящихся в данный временной период в производстве, другая — на разрабатываемых в этот же период новых моделях.

То, что кривая «новые модели» идет выше кривой «в производстве», естественно: более крупные многомоторные самолеты в среднем строились меньшим тиражом, чем одно- и двухмоторные машины, поэтому в разработке доля многомоторных самолетов выше, чем в выпуске. Но в целом поведение кривых похоже: взлет, небольшое плато и неравномерное падение, стабилизирующееся около естественного минимума, равного двум.

¹⁸ Соболев Д. А. История развития пассажирских самолетов (1910–1970-е годы). М.: Русские витязи, 2018. С. 48.

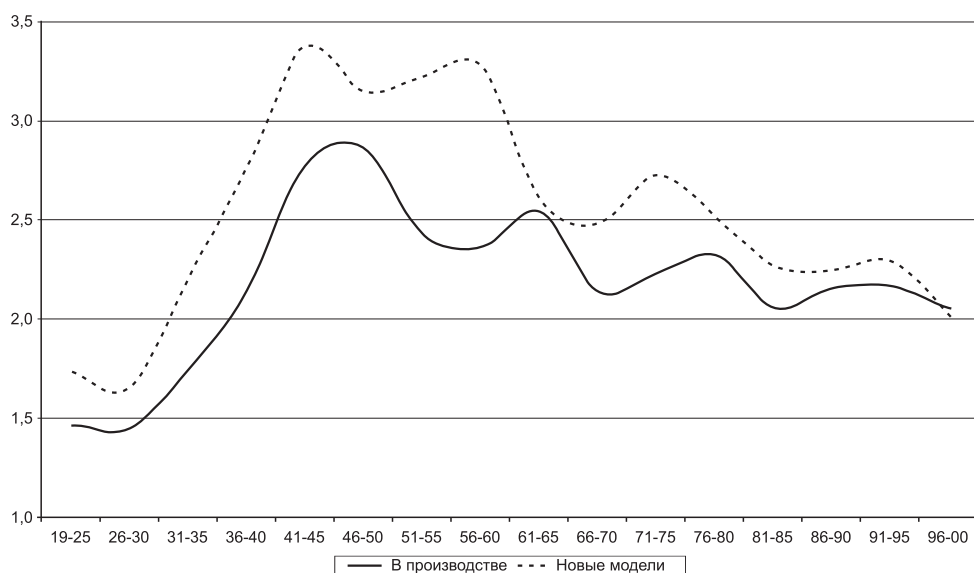


Рис. 12. Среднее число двигателей на построенных пассажирских самолетах (кривая «в производстве») и в разрабатываемых в данный период новых моделях таких самолетов

Итак, на подавляющем большинстве пассажирских самолетов число двигателей свелось к минимуму, ограниченному соображениями безопасности, — двум.

Вероятно, это проявление общего, но трудно формулируемого принципа: развитая техника должна быть простой в использовании и эксплуатации. Возможно, впервые его сформулировал А. Кларк: «Любая достаточно развитая технология неотличима от магии»¹⁹.

Такой критерий дает возможность отсеивать, скорее всего, неверные футурологические прогнозы: если футуролог описывает неудобную технику — он, вероятно, не прав.

Прогнозы, подобные тем, которые великий фантаст Р. Хайнлайн давал в своей знаменитой саге «Астронавт Джонс»²⁰, вышедшей в 1953 г. (астронавты в уме переводили числа из десятичной системы в двоичную для ввода исходных данных в компьютер, что долго, неудобно и неизбежно приводит к ошибкам), не сбылись. И аналогичные современные предсказания неудобных в использовании и переусложненных в эксплуатации технических решений тоже вряд ли сбудутся.

Соответственно, при разработке новых решений инженерам целесообразно задать себе вопрос: возможно ли хотя бы в принципе и без учета текущих технических ограничений сделать разрабатываемую технику простой, легкой и безопасной в эксплуатации? Если ответ не очевиден, то выделять ресурсы на такую разработку следует особенно осторожно.

¹⁹ Clarke A. Profiles of the Future. 2nd ed. London: MacMillan, 1973. P. 3.

²⁰ Хайнлайн Р. Астронавт Джонс. Миры Роберта Хайнлайна. Рига: Полярис, 1994. Т. 7.

Заключение

В статье выдвинуты четыре гипотезы о закономерностях развития техники. Они проверены на новом материале, относящемся как к гражданским, так и к военным технологиям, на динамике использования двигателей различных типов. Выявлено, что закономерности развития гражданских и военных технологий отличаются.

Показано, что статистические гипотезы в истории техники можно убедительно проверять на данных, включающих описание нескольких тысяч объектов, каждый из которых характеризуется несколькими параметрами.

Предложен параметр, позволяющий определять время смены тенденций поведения объектов. Он отличается от широко применяющихся в математической статистике измерений трендов и сезонных колебаний.

Показано, что значимых результатов в поиске историко-технических закономерностей можно достичь, сравнивая динамику средневзвешенных параметров (в нашем случае — распределения долей используемых типов двигателей) с разными критериями усреднения. В статье это усреднения по выпуску и по разрабатываемым новым моделям.

Подобные программы выявления закономерностей развития техники путем статистической обработки количественно измеримых данных выдвигались и ранее. На автора произвела сильное впечатление статья сотрудника ИИЕТ РАН Г. Н. Алексеева 40-летней давности. Алексеев писал:

...историко-технические факты должны обрабатываться в расчете на выявление закономерностей развития исследуемых объектов, т. е. так, чтобы были получены количественные данные о критериях эффективности, критериях развития, об их зависимости от внешних и внутренних факторов ²¹.

Но в то время отсутствовал необходимый инструментарий для реализации подобных программ. Сейчас же, во время широкого распространения и доступности разнообразных систем управления базами данных и программ для автоматизации статистических расчетов, нужный инструментарий появился.

Поэтому автор был бы рад видеть подобные исследования на материале других областей истории техники и готов поделиться своим опытом по сбору, формализации данных и способам их обработки. Проверка выдвинутых гипотез на материале других отраслей позволила либо увеличить их правдоподобность, либо фальсифицировать их. И тот и другой результат послужили бы накоплению научных знаний и нашему лучшему пониманию того, каковы закономерности развития техники и как именно можно их выявлять.

Алексеев в статье говорил и о возможности на историко-техническом материале строить и «прогнозное ориентирование возможностей развития технического объекта на ближайшее и отдаленное будущее» ²². На мой взгляд, это слишком оптимистично: новые технологии очень часто

²¹ Алексеев Г. Н. О некоторых методологических вопросах историко-технических исследований (на примере работ по истории авиации и космонавтики) // Из истории авиации и космонавтики. М.: ИИЕТ АН СССР, 1983. Вып. 47. С. 78.

²² Там же. С. 97.

оказываются совершенно неожиданными, а будущее — не похожим на прогнозы футурологов с инженерным уклоном. К. Поппер, также исходя из того, что технологии меняются быстро и непредсказуемо, вообще отказывал историкам в возможности найти закономерности развития ²³.

Но в состав техники как социальной системы входит и куда более медленно меняющийся компонент, чем технологии. Это человек и его психика. И, как мы видели при анализе третьей гипотезы, история техники действительно позволяет выявлять повторяющиеся паттерны поведения инженеров, конструкторов, технологов, в том числе вредные с точки зрения эффективности производства или повышения эффективности изделий, а значит — дает возможность их своевременно обнаруживать и предотвращать и в современной технической деятельности.

Таким образом, практическая роль истории техники для планирования деятельности предприятий и страны в целом, для более точного прогнозирования технико-экономических результатов определенных действий может заключаться и в процессе выявления статистическими методами повторяющихся в развитии техники ситуаций.

References

- Afanas'ev, V. N. (2020) *Analiz vremennykh riadov i prognozirovaniye [Analysis of Time Series and Forecasting]*. Saratov: IPR Media.
- Alekseev, G. N. (1983) O nekotorykh metodologicheskikh voprosakh istoriko-tehnicheskikh issledovaniy [On Some Methodological Issues of Historico-Technical Research], *Iz istorii aviatsii i kosmonavтики*, iss. 47, pp. 65–102.
- Aviatsionnye pravila. Chast' 25. Normy letnoi godnosti samoletov transportnoi kategorii [Aviation Regulations. Part 25. Airworthiness Standards for Transport Category Airplanes]* (1994). Moskva: Mezhdunarodnyi aviatsionnyi komitet.
- Bel'kind, L. D., Veselovskii, O. N., Konfederatov, I. Ia., and Shneiberg, Ia. A. (1960) *Istoriia energeticheskoi tekhniki. 2-e izd. [History of Power Technology. 2nd ed.]*. Moskva and Leningrad: Gosenergoizdat.
- Biushgens, G. S. (ed.) (1998) *Aerodinamika, ustoichivost' i upravliaemost' sverkhzvukovykh samoletov [Aerodynamics, Stability and Controllability of Hypersonic Airplanes]*. Moskva: Fizmatlit.
- Clarke, A. (1973) *Profiles of the Future. 2nd ed.* London: MacMillan.
- Gorovoi, B. I., Lagosiuk, G. S., and Chernenko, Zh. S. (1977) *Samolet An-26. Konstruktsiia i ekspluatatsiia [An-26 Aeroplane. Design and Maintenance]*. Moskva: Transport.
- Kachorovskii, I. B. (2008) *Professiia — letchik. Vzgliad iz kabiny [Occupation: Pilot. A View from the Cockpit]*. Sankt-Peterburg: Morkniga.
- Khainlain, R. E. (Heinlein, R. A.) (1994) *Astronavi Dzhons. Miry Roberta Khainlaina [Starman Jones. Robert Heinlein's Worlds]*. Riga: Poliaris, vol. 7.
- Klimov, V. T. (ed.) (2000) *Pravda o sverkhzvukovykh samoliotakh [The Truth about Supersonic Airplanes]*. Moskva: Moskovskii rabochii.
- Kuz'min, Iu. V. (2019) Ot istorii tekhniki k zakonam razvitiia tekhniki [From the History of Technology to the Laws of Technological Development], in: Shcherbinin, D. Iu., and Fando, R. A. (eds.) *Institut istorii estestvoznaniia i tekhniki im. S. I. Vavilova. Godichnaia nauchnaia konferentsiia, 2019 [S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology. Annual Scientific Conference, 2019]*. Saratov: Amirit, pp. 276–280.

²³ Поппер К. Нищета историцизма. М.: Прогресс. 1993. С. 11.

- Kuz'min, Iu. V. (2020) Istoriia sel'skokhoziaistvennogo samoletostroeniia [History of Agricultural Airplane Production], in: Kuz'min, Iu. V. (ed.) *Legendy i mify aviatsii [Legends and Myths of Aviation]*. Moskva: Russkie vitiazi, vol. 10, pp. 179–226.
- Kuz'min, Iu. V. (2020) Konstruktorskie shkoly kak aktory istorii tekhniki. Na primere statisticheskogo analiza mirovogo samoletostroeniia [Design Schools as Actors in the History of Technology. As Exemplified by Statistical Analysis of Global Aircraft Engineering], in: Garskova, I. M. (ed.) *Istoricheskie issledovaniia v kontekste nauki o dannykh: informatsionnye resursy, analiticheskie metody i tsifrovye tekhnologii: materialy mezhdunarodnoi konferentsii, Moskva, 4–6 dekabria 2020 g. [Historical Research in the Context of Data Science: Information Resources, Analytical Methods and Digital Technologies: Proceedings of International Conference, Moscow, December 4–6, 2020]*. Moskva: MAKS Press, pp. 64–70.
- Kuz'min, Iu. V. (2020) Sootnoshenie ob'emov proizvodstva i rezul'tativnosti konstruktorskikh rabot v mirovom aviiastroenii XX v. Statisticheskii analiz bazy dannykh [The Ratio of Production and Effectiveness of Design Works in the Global Aircraft Industry in the 20th Century. Statistical Database Analysis], *Istoricheskaiia informatika*, no. 2, pp. 61–82.
- Kuz'min, Iu. V. (2021) *Bibliograficheskii spravochnik po samoletam XX veka [Bibliographic Reference Book of 20th Century Airplanes]*. Moskva: IIET RAN.
- Kuz'min, Iu. V. (2022) Razvitie konstruksii chetyrekhmestnykh samoletov v XX veke [Development of Design of Four-Seater Airplanes in the 20th Century], *Istoricheskaiia informatika*, no. 3, pp. 56–80.
- Kuz'min, Iu. V. (2022) Rol' aviapromyshlennosti SShA v razvitii aviatsii obshshego naznacheniia [Role of US Aircraft Industry in the General Aviation Development], *Vestnik Tambovskogo universiteta, seriia: Gumanitarnye nauki*, vol. 27, no. 4, pp. 1108–1120.
- Kuz'min, Iu. V. (2022) Umeiut li inzheneri upravliat'? Na primere istorii samoletostroeniia [Are Engineers Capable of Managing? As Exemplified by the History of Aircraft Construction], *Aviatsiia i kosmonavtika*, no. 9, pp. 23–29.
- Kuz'min, Iu. V. (2023) Passazhirskoe samoletostroenie XX veka. Kolichestvennyi analiz [Passenger Aircraft Construction in the 20th Century. Quantitative Analysis], *Nauchnyi vestnik MTGU GA*, vol. 26, no. 3, pp. 8–24.
- Popper, K. (Popper, K.) (1993) Nishcheta istoritsizma [The Poverty of Historicism]. Moskva: Progress.
- Sobolev, D. A. (2018) *Istoriia razvitiia passazhirskikh samoletov (1910–1970-e gody) [History of Development of Passenger Airplanes (1910s – 1970s)]*. Moskva: Russkie vitiazi.

Received: February 20, 2023.