

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ СЕМЕНОВ *

Период времени, начиная с середины XIX в. и по настоящий момент, характеризуется бурным развитием научно-технического прогресса. В данной статье на основе ретроспективного анализа развития техники с учетом главных факторов технологического уклада рассмотрены особенности развития современных сложных технических систем (СТС), основные фазы их жизненного цикла и их длительность. В статье отмечено, что по мере развития техники сокращаются период внедрения и освоения новых идей и разработок СТС (временной промежуток между замыслом идеи и ее воплощением сократился со 100 до 5 лет), а также сроки жизни каждого последующего поколения одной и той же разновидности образцов техники, т. е. от момента зарождения образца нового поколения до его морального старения проходит все меньше времени, в пределах 2–10 лет в зависимости от области техники. В связи с этим в статье показано, что на современном этапе развития техники для обеспечения конкурентоспособности новой продукции важным является определение момента перехода с прежней технологии на новую, при этом особенности и методы перехода на новую технику рассмотрены на примере автомобильной промышленности.

Ключевые слова: техника, научно-технический прогресс, сложные технические системы (СТС), технологический разрыв, жизненный цикл СТС.

MODERN CHARACTERISTICS OF THE DEVELOPMENT OF COMPLEX TECHNOLOGICAL SYSTEMS

SERGEI SERGEEVICH SEMENOV [□]

Rapid progress of science and technology has characterized the period since the mid-19th century. This article provides a retrospective historical analysis of the chief factors that influenced the development of complex technological systems and the phases and duration of their life cycles. In the course of technological progress, the time lag between the first conception of a complex technological system and its full development and practical application has been constantly shrinking, from about a

* ОАО «Государственное научно-производственное предприятие “Регион”», Россия, 115230, Москва, Каширское шоссе, д. 13А. E-mail: gnppregion@sovintel.ru.

[□] State research and production enterprise “Region”. Kashirskoe shosse, 13A, Moscow, 115230, Russia. E-mail: gnppregion@sovintel.ru.

100 to approximately 5 years. Lifetimes of the subsequent generations of a particular technological system, from the first model to the point when it becomes completely obsolete, have also been reduced to between 2 and 10 years, depending of the type of technology. In order to ensure the competitiveness of a product, one has to determine correctly the moment of transition from an old technological system to a new one. The methods of such technological change are discussed here through the example of automobile technology.

Keywords: technics, technology, technological progress, complex technological systems, technological gap, life cycle of complex technological systems.

Для общества начала XXI в. характерно дальнейшее наращивание технологических возможностей во всех сферах человеческой деятельности. Говоря словами русского экономиста Н. Д. Кондратьева, мир вступил в пятый цикл технологического уклада, для которого определяющими факторами являются не только усложнение машин, различных аппаратов, но и интенсивное развитие новых технологий, опирающихся на последние достижения в области микрорэлектроники, информатики, биотехнологии, генной инженерии, новых видов энергии, освоения космического пространства, спутниковой связи и т. д.¹

По данным научной школы в сфере экономики наукоемких технологий МИФИ, полученным за последнее десятилетие², были уточнены временные рамки четвертого и пятого укладов и введено понятие шестого цикла, приходящегося на период 2010–2050 гг., в котором будут преобладать нанотехнологии.

Следует также отметить, что по мере прогресса в области науки и техники заметно сократился период между научными исследованиями и созданием технических средств³. Этот период составлял для фотографии 102 года, для телефона – 56 лет (1820–1876), для радио – 28 лет (1867–1895), для телевидения – 14 лет (1922–1936), для беспилотного летательного аппарата⁴ – 6 лет (1903–1909), для радара – 14 лет (1926–1940), для транзистора – 5 лет (1948–1953), для лазера – 5 лет (1956–1961) (рис. 1)⁵. В табл. 1 представлены хронологические рамки периодов создания некоторых новых технологий и машин⁶.

Современная продукция производится на основе новых высоких технологий, в особенности информационных. В связи с тем что значительная доля

¹ Кондратьев Н. Д., Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды. Международный фонд Н. Д. Кондратьева и др. М.: ЗАО Изд-во «Экономика», 2002. – 767 с.; Нецадин А. А., Кашин В. К., Литсиц И. В., Вигдорчик Е. А. Экономическое развитие страны и конверсия // Конверсия в машиностроении. 2000. № 1. С. 6–20; Глазьев С. Ю. Технологические сдвиги в экономике России // Экономика и математические методы. 1992. Т. 33. Вып. 2. С. 5–25.

² Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада в экономике // Ред. С. Ю. Глазьев, В. В. Харитонов. М.: Триват, 2009. Глазьев С. Выход из хаоса // Военно-промышленный курьер. 2014. № 42 (560). С. 1, 3.

³ Уварова Л. И. Научный прогресс и разработки технических средств. М.: Наука, 1973.

⁴ Файвуш Я., Аррисон В. Самолет без летчика и управления им по радио. М.: Авиахим, 1925.

⁵ Буренок В. М. Технологические и технические основы развития вооружения и военной техники. М.: Граница, 2010. С. 216; Александров В. В. Развивающиеся системы. В науке, технике, обществе и культуре. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. Ч. 1. Теория систем и системное моделирование.

⁶ Билински В. Д. Методы оценки технического уровня и конкурентоспособности продукции. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000.

Таблица 1. Длительность периодов создания некоторых научно-технических новшеств

Новшество	Год начала промышленных разработок	Продолжительность (в годах)		
		инкубационного периода	промышленных разработок	всего процесса создания
Автомобильный транспорт	1891	23	4	27
Авиационный транспорт	1903	6	8	14
Радиовещание	1913	17	9	26
Электронные лампы	1914	7	6	13
Телевидение	1933	22	12	34
ЭВМ	1944	15	6	21
Атомная электростанция	1954	11	3	14
Интегральные схемы	1958	2	3	5

производства будет связана с информационными технологиями, по оценке корпорации РЭНД (США), в ближайшие 10–20 лет произойдет углубление неравенства наций и, как следствие, небывалый рост напряженности во всем мире ⁷. Поэтому считается, что нация, которая освоит новые информационные технологии, получит бесспорные преимущества в своем развитии.

Понятие жизненного цикла используется для оценки периода времени от начала исследований, связанных с разработкой новых изделий, до снятия этих изделий с производства. Каждая из этих фаз может оцениваться затратами S и продолжительностью T , выполняться они могут последовательно, но для ускоренной замены устаревших конструкций машин новыми чаще фазы жизненного цикла проводятся с некоторым совмещением по времени (рис. 2) ⁸. На рисунке условно показано изменение затрат на протяжении каждой из фаз жизненного цикла машин.

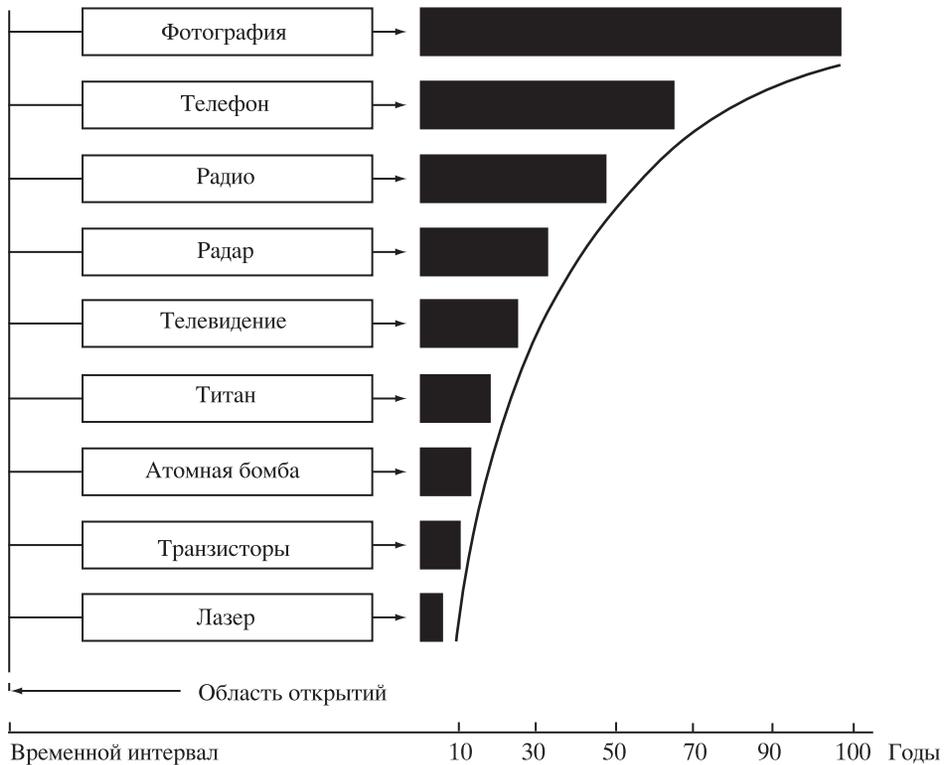
Цикл «жизни» современных сложных технических систем (СТС) (машин) включает ряд фаз, каждая из которых отличается друг от друга степенью научного и технического совершенства изделия, организационными особенностями, экономическими характеристиками, уровнем спроса (рис. 2) ⁹.

Научный прогноз (фаза $0 - t_1$) дает толчок к активизации научно-исследовательских работ (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР) (фаза $t_1 - t_2$) в заданном направлении, результатом является постепенное улучшение характеристик будущей машины, которая после прохождения определенного комплекса испытаний может быть передана в производство (фаза $t_2 - t_3$), отработка изделия продолжается и в этой фазе, но уже более медленными темпами. Наконец, конструкция и технологические процессы достига-

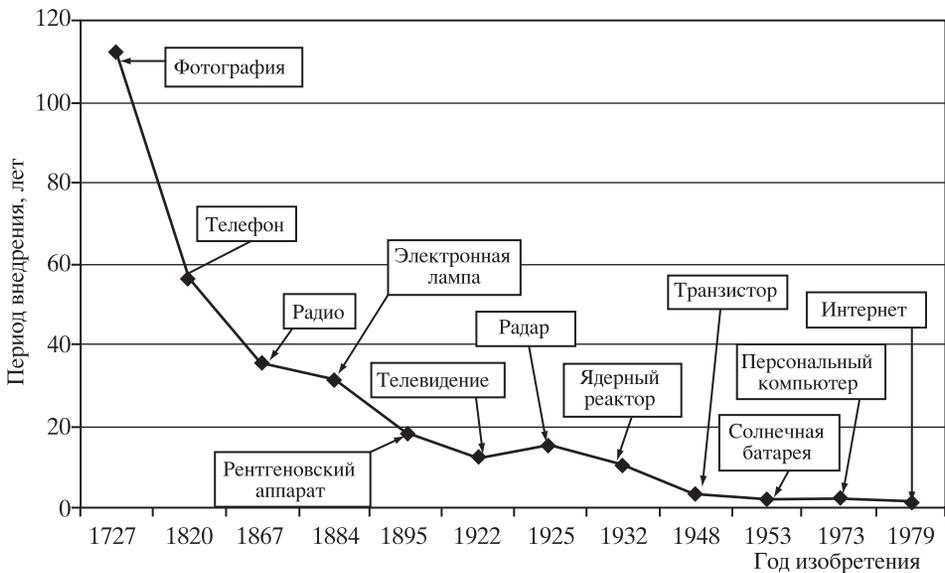
⁷ Гриняев С. Цифровое неравенство наций // Независимое военное обозрение. 20 января – 5 февраля 2004 г. № 3 (363). С. 4.

⁸ Техничко-экономический анализ машин и приборов / Ред. М. И. Ипатов, В. И. Постников. М.: Машиностроение, 1985.

⁹ Проскураков А. В. Организация создания и освоения новой техники. М.: Машиностроение, 1975.



а



б

Рис. 1. Временной интервал между датой открытия и практическим его использованием: а – временной интервал, б – период внедрения во времени

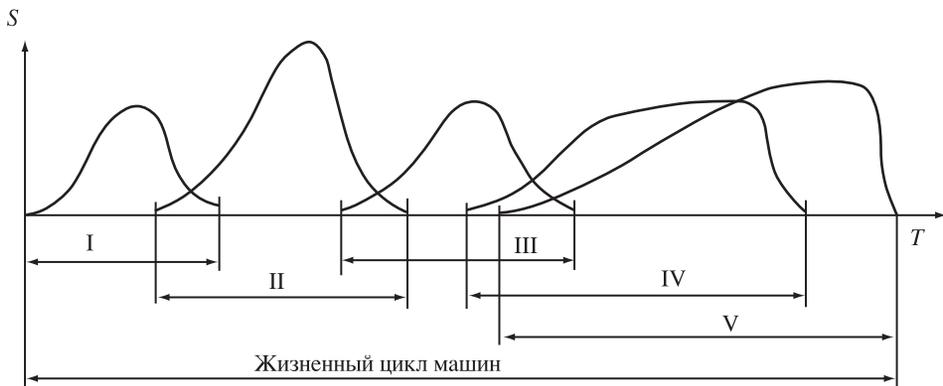


Рис. 2. Структура жизненного цикла машин. Фазы жизненного цикла машин: I – фундаментальные и поисковые исследования, II – прикладные исследования, конструкторская и технологическая подготовка производства, III – освоение производства новых машин, IV – производство машин, V – эксплуатация машин

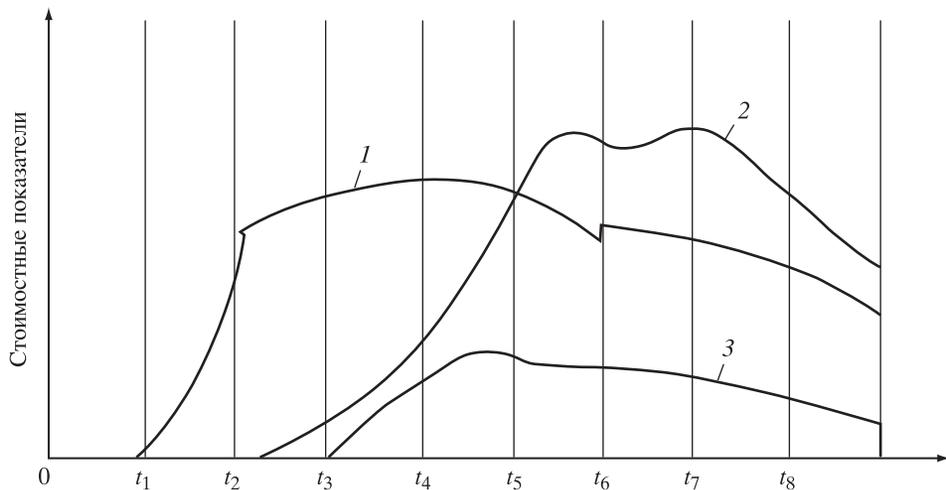


Рис. 3. Фазы цикла жизни изделия: 1 – затраты на разработку, испытания и серийное производство, 2 – цена реализации продукции, 3 – прибыли изготовителя и потребителя, фазы (0 – t_1) – научный прогноз, (t_1 – t_2) – НИР и ОКР, (t_2 – t_3) – внедрение в производство, (t_3 – t_4) – рост, (t_4 – t_5) – зрелость, (t_5 – t_6) – насыщение, (t_6 – t_7) – частичная модернизация, (t_7 – t_8) – прекращение использования

ют степени совершенства при данном уровне развития науки и техники (кривая 1, рис. 3).

Одновременно увеличивается спрос на новую продукцию с лучшими эксплуатационными показателями (кривая 2), следовательно, растут прибыли изготовителя и потребителя (кривая 3) по фазам (t_3 – t_4) и (t_4 – t_5). Фаза (t_5 – t_6) характеризует насыщение рынка сбыта, возникновение признаков морального старения конструкции, вызванных научно-техническим прогрессом. Изготовитель вынужден изыскивать способы продления жизни изделия, про-

изводство которого хорошо отлажено. Так возникает потребность в модернизации конструкции ($t_6 - t_7$), которая на некоторое время вновь повышает заинтересованность потребителей в приобретении данной продукции¹⁰. Но наука неуклонно движется вперед, появляются изделия, основанные на принципиально новом конструктивно-технологическом подходе, а выпуск старого изделия постепенно свертывают, и наступает фаза его моральной гибели ($t_7 - t_8$). На основе изучения информационных источников

и обработки накопленного статистического материала существующими методами прогнозирования возможно определять временные интервалы развития конструкций и процессов разного назначения и устанавливать момент перехода к новым принципам создания изделий. Поскольку наука развивается опережающими темпами по отношению к производству, то возможности производства, как правило, оказываются ограниченными и не позволяют использовать наиболее перспективные технические решения сразу после их появления¹¹.

Анализ СТС с зарождающимися технологиями показывает, что в начале своего развития они имеют не очень хорошие характеристики, но по мере их совершенствования и использования происходит существенное улучшение технического уровня СТС. На рис. 4 представлена динамика развития техники, основанной на старой и новой технологиях¹². S-образная кривая отражает зависимость между затратами, связанными с улучшением продукта или технологического процесса, и результатами, полученными от вложения средств. Успех возникает вначале медленно, затем набирает темп, ускоряется, но потом неизбежно сходит на нет, технология приходит в упадок.

Фирмам важно знать о технологическом пределе и вовремя перейти к новой технологии. «Технологический разрыв» – это переход от одной технологии к качественно другой (или от одного продукта к качественно другому, удовлетворяющему ту же потребность). С наступлением современного этапа научно-технической революции фирмы высокоразвитых стран вступили, по словам П. Дракера, в «век разрыва непрерывности»: растет частота технологических разрывов. Возникают новые условия конкуренции, последние

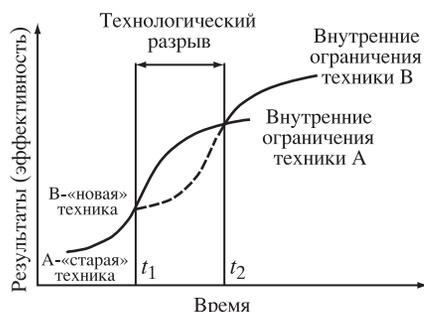


Рис. 4. S-образные кривые замещения одной технологии другой

¹⁰ Процесс модернизации принято разделять на модернизацию и модификацию. В области создания военной техники под модернизацией (фр. moderne – новейший, современный) понимается обновление морально устаревших образцов военной техники путем изменения конструкции, элементной базы, материала или технологии изготовления в целях значительного улучшения их характеристик и повышения эффективности использования, под модификацией – разработка конструктивных вариантов однотипных образцов военной техники для использования в условиях, отличающихся от условий применения основного (базового) образца (Долбенков В. Г. Основные принципы создания перспективных ракетных комплексов как сложных технических систем // Известия РАН. 2012. № 3 (73). С. 108–109).

¹¹ Билинкис. Методы оценки технического уровня...

¹² Эйрес Р. Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование / Ред. Г. М. Добров. М.: Мир, 1971. С. 282–284; Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. М.: Прогресс, 1974. С. 187–206.

десятилетия дают много примеров, когда технологические разрывы означали исчезновение не только отдельных видов продукции, но и целых отраслей и приводили к падению и даже банкротству одних корпораций и к взлету других. Широко известна ситуация в электронной промышленности западных стран: здесь в середине 50-х гг. XX в., в начале эры современной электроники, объем продаж электронных ламп составлял примерно 700 млн долл., продажи транзисторов были ничтожны – 7 млн долл. Но за четверть века произошел переход к транзисторам и интегральным схемам¹³. В отрасли произошла почти полная смена лидеров. Технологические разрывы – это сегодня одна из самых серьезных угроз, игнорировать которую не могут даже самые благополучные, процветающие фирмы западных стран. Ярким примером неучета новых развивающихся технологий является деятельность фирмы «Кодак», которая была лидером пленочной технологии фотосъемки. Первый цифровой фотоаппарат также был создан этой фирмой. Однако впоследствии она утратила передовые позиции, вовремя не перешла на цифровую технику фотографирования и претерпела процедуру банкротства.

В монографии Р. Эйреса¹⁴ отмечено, что всегда бывает важным выбрать оптимальный момент начала работ (не слишком рано, не слишком поздно) по созданию продукции на основе новых технологий. Ведь лидер в какой-либо области всегда совершает больше ошибок и должен приложить больше усилий, чем те, кто следует за ним. За право быть первым в какой-либо области иногда приходится платить слишком большую цену, особенно если работы были начаты слишком рано. Вот почему все нововведения следует патентовать, так как наличие патента дает право монопольного владения изобретением на определенный срок для компенсации финансовых затрат, а возможность использования другими фирмами может быть осуществлена путем приобретения лицензии у фирмы-патентообладателя. Опоздание с использованием новых технологий может привести к утрате уже завоеванных позиций на мировом рынке.

Жизненный цикл, этапы и их длительность

В настоящее время жизненный цикл СТС составляют следующие этапы: НИР, аванпроект, эскизный проект, рабочий проект, испытания, серийное изготовление, эксплуатация. В последние годы по причине длительного производства вооружения и военной техники при планировании стали также учитывать все фазы жизненного цикла изделия – от его изготовления, ремонта, модернизации до утилизации¹⁵. При этом, как установил Д. М. Гвишиани, при разработках новых изделий в США в среднем менее 2% выдвигаемых идей воплощаются в новую, пользующуюся спросом на рынке продукцию¹⁶. Тенденция отказа от идей или проектов по мере продвижения по стадиям процесса создания новой конструкции представлена на рис. 5. Как считал Э. Янч, консультант Организации экономического сотрудничества и развития

¹³ Смирнов А. Д., Максимов В. Ф., Акуленок Д. Н. и др. Рыночная экономика. В 3 т. М.: Соинтэк, 1992. Т. 2. Часть 1. Основы бизнеса. С. 114–117.

¹⁴ Эйрес. Научно-техническое прогнозирование... С. 282–284.

¹⁵ Гутнев В. Функции ВПК необходимо расширить // Военно-промышленный курьер. 27 марта – 2 апреля 2013 г. № 12 (480). С. 4.

¹⁶ Уварова. Научный прогресс...

в 1970-е гг., общий промежуток времени от открытия до нововведения при эффективном проведении всего цикла исследований и разработок в общем составляет 15 лет. Длительность этапов жизненного цикла современных СТС представлена в табл. 2.

Таблица 2. Оценка продолжительности отдельных этапов жизненного цикла некоторых видов техники (в годах)

Наименование объекта	Выработка проектных и условных основных спецификаций	Конструирование, изготовление и испытание опытного образца	Рабочие чертежи на массовое производство и наладку оборудования	Время производства до выпуска первых промышленных образцов	Общая продолжительность
Танкодесантный корабль	0,5	0,7	0,9	0,8	2,9
Минный тральщик	0,8	0,8	0,8	0,8	3,2
Безоткатное орудие	0,3	1,7	1,0	1,3	4,3
Средний танк ¹⁷	0,13	2,3	0,5	1,1	4,2
Эсmineц	0,8	2,1	1,3	1,0	5,2
Подводная лодка ¹⁸	–	–	–	–	15
Транспортный самолет	0,5	2,4	0,5	1,8	5,2
Бомбардировщик	0,5	3,0	0,8	1,8	6,1
Реактивный истребитель ¹⁹	0,8	3,3	0,7	2,4	7,2
Космический корабль ²⁰	–	–	–	–	4
Автоматическая телефонная станция	–	–	–	–	6,0
Спутник связи	–	–	–	–	5
Реактивный двигатель	–	–	–	–	14
Радар ²¹	–	–	–	–	10–13
Магнитофон	–	5	–	35	40
Гирокомпас	13	–	–	40	53

¹⁷ Необходимо заметить, что отечественный серийный танк нового поколения Т-64 внедрялся и отрабатывался в СССР долго и мучительно на протяжении практически всех 60-х гг. XX в. Процесс доводки был фактически завершен только спустя полтора десятилетия после начала испытаний прототипа. Перспективный танк «объект 195» разрабатывался в 1990-е и 2000-е гг., но так и не был принят на вооружение. Колесный БТР-90 отрабатывали с 1994 г. более 15 лет и также до серии не довели (*Барабанов М.* Критический взгляд на ГПВ-2020 // Военно-промышленный курьер. 9–15 января 2013 г. № 1 (469). С. 6).

¹⁸ Атомная ракетная подводная лодка проекта 955 «Юрий Долгорукий» строилась 15 лет (там же).

¹⁹ В США при создании истребителя пятого поколения *Lockheed Martin F-22A* период времени от первого полета демонстратора *YF-22* (1990) до начала поступления в ВВС первой серийной партии *F-22A* (2004) – по сути на те же войсковые испытания – составил 15 лет (там же).

²⁰ Космический корабль *Dragon* успешно вышел на орбиту // Аэрокосмическое обозрение. 2006. № 10. С. 12–18.

²¹ Фирме «Тале» потребовалось восемь лет для того, чтобы довести РЛС с активной фазированной антенной решеткой RBE2 от этапа проектирования до серийного производства (Франция. Поставка партии РЛС с АФАР RBE2 для истребителей «Рафаль». Экспресс-информация ГосНИИАС. 2010. № 38. С. 3).

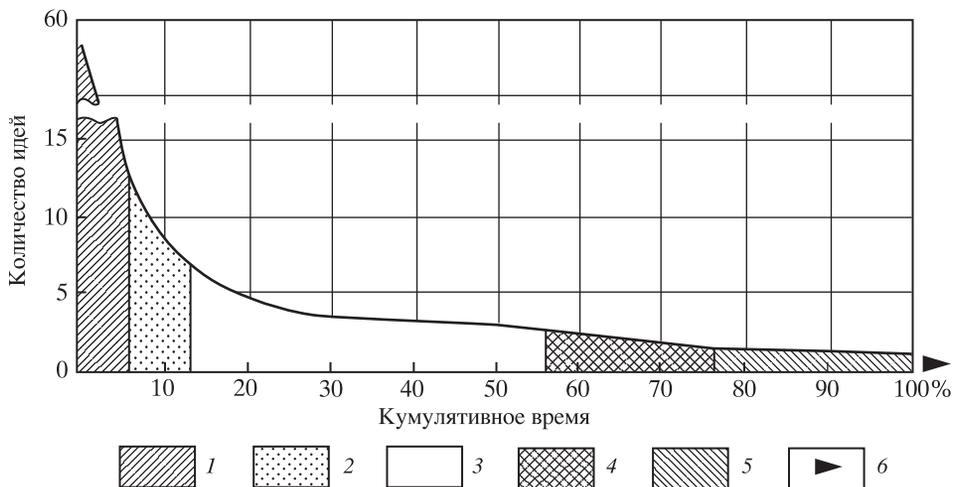


Рис. 5. Жизнеспособность проектов новых изделий (по результатам обследования 51 фирмы). Эволюция по стадиям: 1 – отбор идей, 2 – анализ конъюнктуры, 3 – разработка проекта, 4 – испытания изделия, 5 – сбыт, 6 – одно удачное новое изделие.

Результаты проведенных исследований показывают, что технический прогресс ведет к постоянному уменьшению сроков жизни каждого последующего поколения одной и той же разновидности изделий, в том числе оружия и военной техники: *от момента зарождения образца нового поколения до его морального старения проходит все меньше времени*. При этом конструкция образца все более усложняется из-за стремления максимально удовлетворить предъявляемые к нему требования. Усложнение конструкции системы оружия ведет к увеличению трудоемкости ее разработки, сроков ОКР и производства. По оценкам специалистов, смена поколений большинства технических устройств машиностроения (двигателей, самолетов, автомобилей и т. п.) происходит не реже, чем каждые 5–10 лет, а по наиболее динамично развивающимся разновидностям (радиоэлектронным системам, ЭВМ и т. п.) – за один-два года. В то же время создание некоторых сложных технических систем затягивается на 5–10, а иногда на 15 и более лет, что приводит к производству нового, но уже морально устаревшего оружия и военной техники ²² (табл. 3).

В зависимости от вида изделий (например, автомобиль, станок и др.) соотношения между фазами жизненного цикла по времени и затратам различаются. Как уже отмечалось, в связи с усложнением конструкций увеличиваются затраты на начальные фазы. Ускорение научно-технического прогресса сокращает жизненный цикл, что приводит к более частой замене в производстве устаревших конструкций новыми. Частая смена объектов производства создает большие сложности на предприятиях-изготовителях. Так, в автомобильной промышленности машины, созданные в 1946–1953 гг., находились в производстве 11–23 лет, созданные в 1954–1957 гг. – 7–15 лет, а модели,

²² Куликов В. А. История оружия и вооружения народов и государства с древнейших времен до наших дней. Уфа: Изд-во «Восточный университет», 2003.

Таблица 3. Длительность разработки основных составных частей летательных аппаратов различных поколений (в годах)

Наименование составной части летательного аппарата	Поколения авиатехники		
	первое и второе	третье	четвертое
Планер и его системы	2–3	4–5	6–7
Двигатель	1,5–3	3–6	5–10
Вооружение	2–3	3–6	6–11
Пилотажно-навигационные комплексы	2–4	3–7	4–10
Комплексы управления вооружением	2–4	4–8	7–13
Бытовое радиоэлектронное оборудование:	2–4	4–7	5–8
– связи	–	2–8	4–9
– обороны и разведки			

сконструированные в 1958–1962 гг., – 3–7 лет²³. В период перехода на выпуск новых машин, как правило, снижаются показатели эффективности производственных подразделений и всего предприятия. В связи с этим для фазы освоения производства новых машин и снятия с производства устаревших (рис. 4, последняя стадия IV фазы) необходимо разработать наиболее рациональные организационные решения.

Методы перехода на выпуск новых машин

Опыт отечественных и зарубежных предприятий дает много примеров вариантов организации перехода с одних изделий на другие. Обычно выделяют последовательный, параллельный и параллельно-последовательный методы, каждый из которых может быть осуществлен как с остановкой производства, так и без остановки (рис. 6). Метод перехода выбирают, учитывая факторы, характеризующие осваиваемую машину и производство. Эти факторы могут быть представлены в виде трех групп:

1) факторы, характеризующие осваиваемую машину: научно-технический уровень машины, отличие от машины, снимаемой с производства, степень конструкторской унификации, сравнительная технико-экономическая эффективность старой и новой машин; 2) факторы, характеризующие технологию производства: технологическая унификация, использование типовых технологических процессов и унифицированной оснастки, уровень специализации оборудования, использование станков с программным управлением, промышленных роботов, гибких автоматизированных систем; 3) факторы, характеризующие организационно-технические условия производства: наличие резервных производственных мощностей, резервных площадей, возможности использования модульных методов строительства; использование стандартных решений в проектных работах.

²³ Мьмин Ю. Н., Грачев Л. А., Скворцов Ю. В. и др. Техничко-экономический анализ машин и приборов...

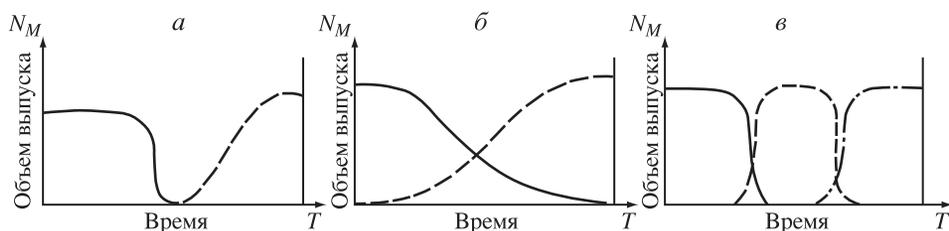


Рис. 6. Основные методы перехода на выпуск новых машин: а – последовательный, б – параллельный, в – параллельно-последовательный; сплошная линия – старая машина, пунктирная линия – новая машина

Некоторые особенности процессов перехода на выпуск новых машин иногда позволяют однозначно выбрать метод. Так, для параллельно-последовательного метода, который характеризуется поэтапным переходом на новую машину, необходимы техническая осуществимость этого варианта и создание переходных моделей. В этом случае за счет постепенных модернизаций выпускаемых конструкций переходят от «гибридных» изделий к оригинальным конструкциям. Такое решение задачи перехода на выпуск новых изделий хорошо иллюстрируется примерами автомобильной промышленности в советский период (опыт ЗИЛа, ГАЗа, АЗЛК, ВАЗа доказывает эффективность такого метода для перехода на новые автомобили). Для осуществления параллельного метода, при котором одновременно выпускаются старые образцы машин (с уменьшением их объема выпуска) и новые машины (с наращиванием их объема выпуска), необходимы резервные производственные мощности, резервные площади для установки дополнительного оборудования. Если применение параллельного и параллельно-последовательного методов невозможно, то используют последовательный метод. При этом сначала резко уменьшают объемы выпуска старых машин, а затем наращивают объемы выпуска машин.

До сих пор мы неоднократно отмечали, как вовремя перейти на новые технологии с тем, чтобы иметь эффективную и высококонкурентную продукцию. Но это не всегда справедливо. Например, в условиях ведения войны, когда все ресурсы государства напряжены, это может дать отрицательный результат. В статье²⁴ убедительно показано, что постановка на серийное производство более эффективные танки Т-44 могла привести к резкому, примерно трехкратному сокращению объемов производства в течение года. Поэтому исключительно правительственным было решение о модернизации советского среднего танка Т-34, что обеспечило Т-34-85 боевые преимущества в боях с массовыми образцами немецкой бронетехники. В Германии был создан танк Pz. Kpfw «Пантера», однако промышленность так и не смогла сделать его самым многочисленным танком из-за большой сложности и трудоемкости. На производство танка затрачивалось 150 тыс. чел.-час., тогда как трудоемкость Т-34 составляла на начало 1943 г. 17 600 чел.-час. (на 1 января 1945 г. заводская трудоемкость более мощной модификации Т-34 составляла 3251 чел.-час.).

²⁴ Устьянцев С. Урок четвертый: стратегический выбор. «Наша задача состоит не в том, чтобы делать новые машины, а в том, чтобы повысить боевые качества Т-34, увеличить их выпуск» // Военно-промышленный курьер. 2014. № 47 (569). С. 3.