

МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАРОЖДАЮЩИХСЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Крянев А.В.¹, (Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", г. Москва)
Семенов С.С.² (ОАО "Государственное научно-производственное предприятие "Регион", г. Москва)

Данная статья посвящена проблеме оценки технического уровня (ТУ) сложных технических систем (СТС), основанных на новых зарождающихся технологиях, при этом в статье подробно отражены особенности развития современной техники и изложена актуальность и существующие методы определения момента перехода на новые технологии, описан принцип формирования прогнозных значений основных характеристик новой технологии и представлен метод оценки ТУ СТС с зарождающимися технологиями.

Ключевые слова: технический уровень, коэффициент технического уровня, сложная техническая система, жизненный цикл, зарождающаяся новая технология, прогнозные значения, темп роста новой технологии, момент перехода на новую технологию.

1. Актуальность определения момента перехода на новые технологии

Для общества начала XXI в. характерно дальнейшее наращивание технологических возможностей во всех сферах человеческой деятельности. Если судить с позиций теории русского экономиста Н.Д. Кондратьева (1892-1931 гг.), то мир вступил в пятый цикл технологического уклада, для которого определяющими факторами является не только усложнение машин, различных аппаратов, но и интенсивное развитие новых технологий, опирающихся на последние достижения в области микроэлектроники, информатики, биотехнологии, генной инженерии, новых видов энергии, освоение космического пространства, спутниковой связи и т.д. (таблица 1) [3, 8].

По данным научной школы в сфере экономики наукоемких технологий МИФИ, полученным за последнее десятилетие [6], были уточнены временные рамки четвертого и пятого укладов и введен шестой цикл, относящийся к периоду 2010-2050 гг., в котором преобладают нанотехнологии.

Современная продукция строится на основе новых высоких технологиях, в особенности информационных. В связи с тем, что значительная доля общественного труда будет связана с информационными технологиями, то по оценке корпорации РЭНД (США) в ближайшие 10-20 лет произойдет углубление неравенства наций и, как следствие – небывалый рост напряженности во всем мире [4]. Поэтому считается, что нация, которая освоит новые информационные технологии, бесспорно получит преимущества в своем развитии.

Следует также отметить, что по мере прогресса в области науки и техники, заметно сократился период между научными исследованиями и созданием технических средств [20]. Этот период исчисляется для фотографии в 102 года, для телефона – 56 лет (1820-1876), для радио – 28 лет (1867-1895), для телевидения 14 лет (1922-1936), для беспилотного летательного аппарата³ – 6 лет (1903-1909), для радара – 14 лет (1926-1940), для транзистора – 5 лет (1948-1953), для лазера – 5 лет (1956-1961), рис. 1.

В таблице 2 представлен период создания некоторых новых технологий и машин [1].

Как считал Э. Янч, консультант Организации экономического сотрудничества и развития в 1970-е годы, общий промежуток времени от открытия до нововведения при эффективном проведении всего цикла исследований и разработок в общем составляет 15 лет.

Цикл "жизни" машин (рис. 2) включает ряд фаз, каждая из которых отличается друг от друга степенью научного и технического совершенства изделия, организационными особенностями, экономическими характеристиками, уровнем спроса [20].

¹ Александр Витальевич Крянев, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры "Прикладная математика", (avkryanov@mephi.ru).

² Сергей Сергеевич Семенов, канд. техн. наук, руководитель группы анализа и перспективных исследований (gnppregion@sovintel.ru).

³ Файвуш Я., Аррисон В. Самолет без летчика и управления им по радио. – М.: Авиахим, 1925. – 45 с.

Таблица 1. Технологические циклы научно-технического преобразования

Циклы	Страны – лидеры технического прогресса	Общая характеристика	Ядро технологического цикла	Ключевые факторы	Ядро нового цикла
Третий цикл (1880–1940 гг.)*	Германия, США, Великобритания, Швейцария, Нидерланды, Италия, Дания, Австро-Венгрия, Канада, Япония, Испания, Россия, Швеция	Активное использование в промышленном производстве электроэнергии, развитие тяжелого машиностроения и электротехнической промышленности на базе стального проката, новых открытий в области химии. Развитие химической промышленности. Нефтяной бум в США, формирование военно-промышленного комплекса в Европе, изобретение и внедрение телеграфа и радио. Производство автомобилей и самолетов, добыча цветных металлов (в том числе алюминия), разработка пластмасс и полимеров, производство товаров длительного пользования, средств радио- и телекоммуникаций. Открытие фирм, картелей, трестов, корпораций, монополий, олигополий. Государство либо осуществляет контроль за ними, либо целиком ими владеет. Концентрация финансового и банковского капитала	Электротехническая промышленность, тяжелое машиностроение, неорганическая химия	Электродвигатель; металлы (в том числе сталь)	Автомобилестроение, органическая химия, добыча и переработка нефти, цветная металлургия, автомобильное строительство
Четвертый цикл (1930–1990 гг.)	США, страны Западной Европы, Канада, Австралия, Япония, Швеция, Швейцария, СССР, Бразилия, Мексика, Китай, Тайвань, Индия	Развитие энергетики на основе нефти и нефтепродуктов, Развитие средств связи. Развитие автомобиле-, станко-, тракторостроения. Разработка новых видов вооружения и военной техники. Выпуск товаров длительного пользования. Строительство скоростных автомагистралей и аэропортов. Создание компьютера и разработка программных продуктов. Разработка и активное использование продукции электронной промышленности. Развитие атомной промышленности. Массовое производство на основе конвейерной технологии. Господство олигополической конкуренции, формирование транснациональных корпораций, осуществляющих прямые инвестиции в экономику различных стран. Перенос массового производства в страны «третьего мира»	Автомобиле- и тракторостроение, цветная металлургия, производство товаров длительного пользования. Синтетические материалы, органическая химия, добыча и переработка нефти	Двигатель внутреннего сгорания	Микроэлектронные компоненты
Пятый цикл (1980–2040 гг.)	Япония, США, Германия, Швеция, страны Западной Европы, Тайвань, Южная Корея, Австралия, Бразилия, Мексика, Аргентина, Венесуэла, Китай, Индия, Турция, Индонезия, страны Восточной Европы, Россия (?)	Бурное развитие микроэлектроники, информатики, биотехнологий, генной инженерии. Получение энергии из нетрадиционных источников, освоение космического пространства. Распространение спутниковой связи. Формирование единой сети крупных и средних фирм, осуществляющих тесное взаимодействие в области технологий, контроля качества продукции, планирования инвестиций и т.д., логистика	Электронная промышленность, оптоволоконная техника, программное обеспечение, телекоммуникации, роботостроение, добыча и переработка газа, информатика	Микроэлектронные компоненты	Биотехнологии, космическая техника, тонкая химия
* Первый (1785–1835 гг.) и второй (1830–1890 гг.) циклы не показаны.					

Таблица 2. Темпы создания научно-технических новшеств

Новшество	Год начала промышленных разработок	Продолжительность (в годах)		
		Инкуба- ционного периода	Промыш- ленных разработок	Всего процесса создания
Алюминий	1886	31	6	37
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
Титан	1936	26	14	40
Антибиотики	1939	11	1	12
ЭВМ	1944	15	6	21
Синтетическая кожа	1950	12	14	26
Атомная электростанция	1954	11	3	14
Интегральные схемы	1958	2	3	5



Рис.1. Временной интервал между датой открытия и практическим его использованием

Научный прогноз (фаза $0 - t_1$) дает толчок к активизации НИР и 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 $t_2 - t_3$). Оработка изделия продолжается и на этой фазе, но уже более медленными темпами. Наконец, конструкция и технологические процессы достигают степени совершенства при данном уровне развития науки и техники (кривая 1 рис. 2). 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 $(фаза t_4 - t_5)$. Фаза $(t_5 - t_6)$ характеризует насыщение рынка сбыта, возникновением симптомов морального старения конструкции, вызванных бурным научно-техническим прогрессом. Изготовитель вынужден изыскивать способы продления жизни изделия, производство которого хорошо отлажено. Так возникает потребность в модернизации конструкции $(t_6 - t_7)$, которая на некоторое время вновь повышает заинтересованность потребителей в приобретении данной продукции. Но наука неуклонно движется вперед, появляются изделия, основанные на принципиально новом конструктивно-технологическом подходе, а выпуск старого изделия постепенно свертывают, и наступает фаза $(t_7 - t_8)$ его моральной гибели. **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 появления (таблица 3) [1].

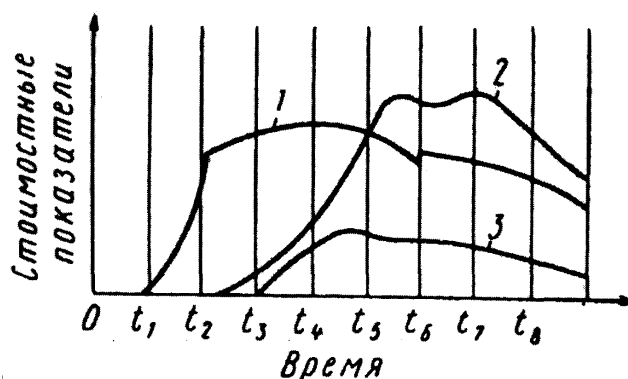


Рис. 2. Фазы цикла жизни изделия: кривая 1 – затраты на разработку, испытания и серийное производство; кривая 2 – цена реализации продукции; кривая 3 – прибыли изготовителя и потребителя; фазы (0 – t_1) – научный прогноз; (t_1 – t_2) – НИР и ОКР; (t_2 – t_3) – внедрение в производство; (t_3 – t_4) –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

В настоящее время определен жизненный цикл современных сложных технических систем (СТС) составляют этапы: НИР, аван-проект, эскизный проект, рабочий проект, испытания, серийное изготовление, эксплуатация. При этом, как установил чл. корр. АН СССР Д.М. Гвишиани, для новых изделий и их разработках в США в среднем менее 2 % выдвигаемых идей воплощаются в новую, пользующуюся спросом на рынке продукцию [20]. Тенденция отказа от идей или проектов по мере продвижения по стадиям процесса создания новой конструкции представлена на рис. 2.

Таблица 3. Оценка продолжительности отдельных этапов жизненного цикла некоторых видов техники (в годах)

Наименование объекта	Выработка проектных и условных основных спецификаций	Конструирование, изготовление, испытание опытного образца	Рабочие чертежи на массовое производство и наладку оборудования	Время производства до выпуска первых промышленных образцов	Общая продолжительность
Танко-десантный 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	0,13	2,3	0,5	1,1	4,2
Эсминец	0,8	2,1	1,3	1,0	5,2
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	0,8	3,3	0,7	2,4	7,2
Автоматическая телефонная станция	–	–	–	–	6,0
Спутник связи	–	–	–	–	5,0
Реактивный двигатель	–	–	–	–	14,0
Нейлон	–	–	–	–	11
Радар	–	–	–	–	10-13
Магнитофон	–	5	–	35	40
Гирокомпас	13	–	–	40	53

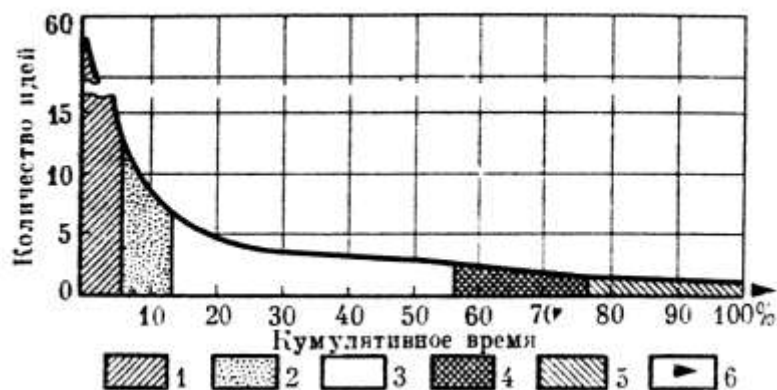


Рис. 2. Жизнеспособность проектов новых изделий. (по результатам обследования 51 фирмы). Эволюция по стадиям: 1 – отбор идей; 2 – анализ конъюнктуры; 3 – разработка проекта; 4 – испытания изделия; 5 – сбыт; 6 – одно удачное новое изделие

Поиску новых перспективных технологий особое значение придается в США. С этой целью особое значение Управление перспективных исследовательских программ национальной разведки США (IARPA) ищет новые способы выявления и приоритетов перспективных технологий по всему миру [7]. Разработана и осуществляется исследовательская программа FUSE (Foresight and Under Standing from Scientific Exposition – "Предвидение и понимание на научной основе") с участием ученых университетов, институтов, компаний, по которой предполагается получить надежную и автоматизированную систему отбора и оценки технической информации из открытых источников с тем, чтобы выбрать лучшие для глубокого изучения. Для российского оборонно-промышленного комплекса необходимо, как отмечено в статье [15] технологический рывок, который немислим без научно обоснованного методического аппарата по выявлению новых передовых и зарождающихся технологий.

В связи с важностью выявления перспективных технологий, а также учитывая то, что интервал времени от идеи до внедрения для современных объектов техники сокращен (например, смена поколений компьютеров происходит за 1-3 года и менее) первостепенное значение приобретает фактор выявления новых прогрессивных технологий, которые обеспечат в будущем фирме-разработчику успех и опережающее развитие.

2. Характер развития современной техники

Анализ сложных технических систем (СТС) с зарождающимися технологиями приводит к тому, что в начале своего развития они имеют низкие характеристики, но по мере их совершенствования и использования происходит существенное улучшение технического уровня (ТУ) СТС.

На рис. 3. представлены динамика развития техники, основанные на старой технологии и новой [22, 23]. 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. "Технологически» разрыв" – это периоды перехода 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 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 годов, 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 схемам [19]. 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 не учета 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 в настоящее время терпит банкротство, ее долг составляет 7 млрд. долл.



Рис. 3. S-образные кривые замещения одной технологии другой

В монографии [22] 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 большие ошибки 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 (достигнутых) позиций на мировом рынке. Но, чтобы добиться успеха и освоить вовремя высококонкурентные технологии необходимо научиться определять моменты перехода на новые технологии.

Можно привести пример из области новых высоких, в том числе и информационных технологий. Так, в 1990-е годы, когда стала создаваться глобальная навигационная система позиционирования объектов GPS NAVSTAR, точность определения местоположения объектов была невелика (среднеквадратическое отклонение σ составляло около 60 м). Поэтому возможно еще к этой системе не был проявлен интерес со стороны потенциальных потребителей, хотя она являлась всепогодной и круглосуточной. И только после ее ввода в 1995-1996 гг., когда была обеспечена точность, позволяющая определять координаты положения объекта в любой зоне Земли с точностью 8-13 м, спутниковая навигация стала широко использоваться в гражданской сфере и военных технологиях, в особенности для обеспечения навигации и высокоточного наведения оружия, например управляемых авиационных бомб, на цель (рис. 4) [13, 16]. Повышение точности наведения с $\sigma = 14$ м до $\sigma = 3$ м увеличивает вероятность попадания в 4,5 раза.

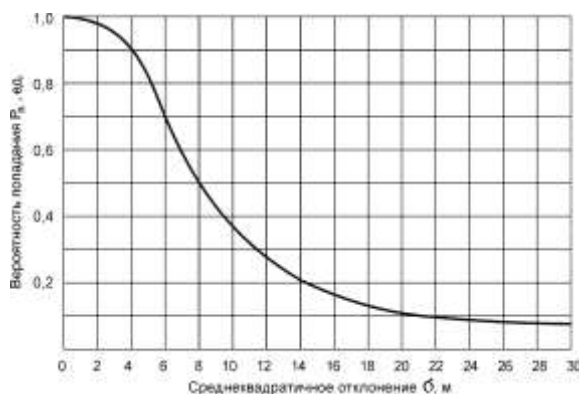


Рис. 4. Вероятность попадания УАБ $P_{п,} = F(a)$ в цель при круговом рассеивании и нормальном законе распределения

Поэтому решение проблемы выбора оптимального времени уже начатых работ по новым технологиям занимает важное место в менеджменте организаций и предприятий..

Одним из элементов системы управления качеством продукции и повышения ее конкурентоспособности является так называемая базовая оценка, под которой подразумевается "оценка процессов, продукции и всех признаков компонент на основе сопоставлений с лучшими мировыми достижениями, в том числе и в других отраслях" [10]. Чтобы сделать метод базовых оценок более доступным для производителей, были созданы базы данных о наивысших достижениях. Например, фирма "Эрнст энд Янг" и Американский фонд качества провели исследования международных достижений в области качества. Было обследовано более 500 компаний 4-х стран в автомобильной промышленности, банковской сфере, производства компьютеров, а также в отраслях обслуживающих здравоохранение.

При этом были получены следующие результаты:

- сравнению с лучшими мировыми достижениями придается первостепенное значение (США и Япония около 30 %, Канада – 25 %);
- на предварительную оценку проектов технико-экономического обоснования планирования выделяется фирмами в среднем в США – не менее 25 % и Японии – до 40% от общих затрат.

О характере развития СТС в области военных технологий можно судить на примере развития УАБ и беспилотных летательных аппаратов (БЛА) во второй половине XX в. Анализируя динамику развития зарубежных УАБ с лазерными и телевизионными системами самонаведения по $K_{ТУ}$ за почти 30-летний период можно отметить, что со временем путем вложения значительных ассигнований постепенно совершенствуется технология создания УАБ и наблюдается плавный, почти линейный характер возрастания технического совершенствования УАБ с 1,0 до 1,35 (рис. 5) [16]. Это дает нам основание считать, что в соответствии с концепцией долгосрочного стратегического планирования развитие такого технического объекта, как УАБ, соответствует верхнему участку S-образной кривой В "Результаты-затраты" или "Эффективность-Время" (рис. 3) [16].

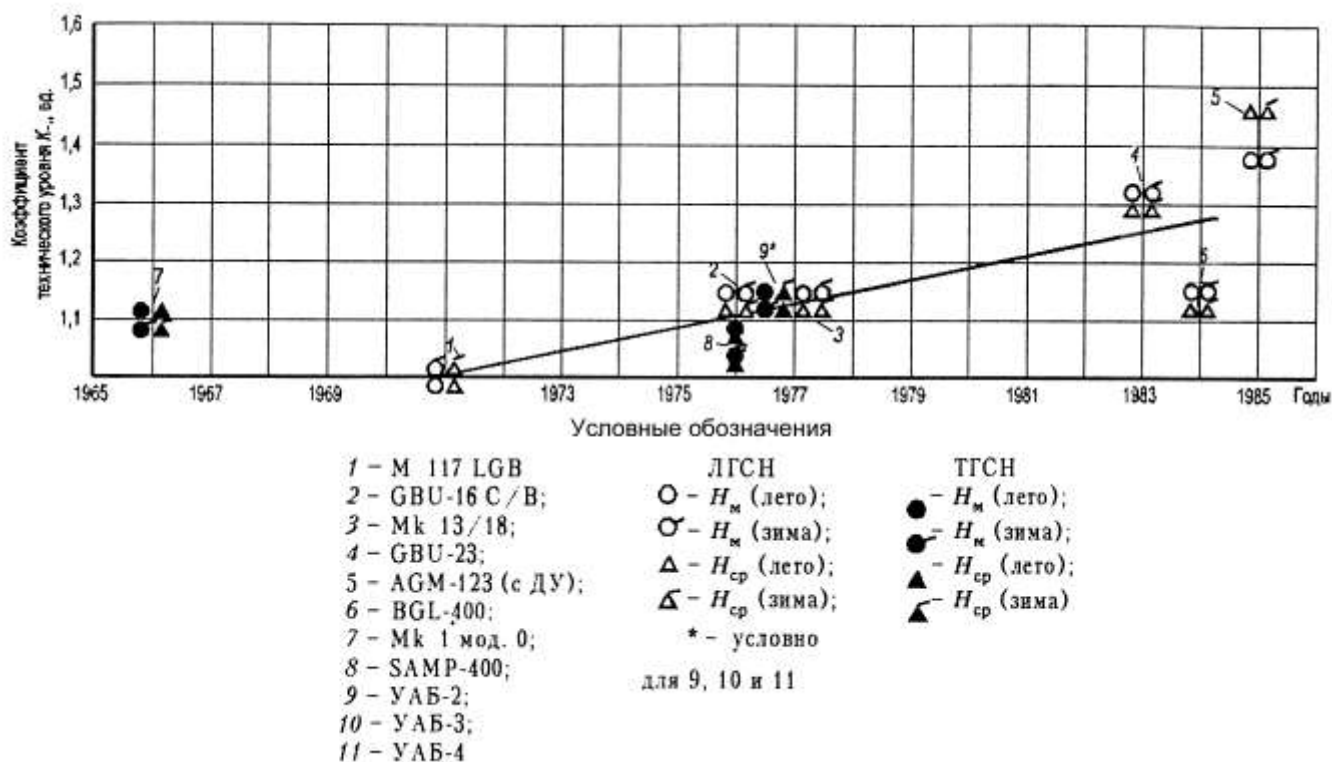


Рис. 5. Зависимость коэффициента технического уровня $K_{ТУ}$ УАБ калибра 500 кг в функции года окончания их разработки ($K_{ТУ}$ базы сравнения принят за единицу)

Кривая А соответствует развитию обычных авиабомб (АБ) (рис. 3). Их развитие шло эволюционным путем (как за счет совершенствования свойств АБ, так и прицельно-навигационного комплекса самолета-носителя) также с плавным увеличением значения ТУ. Появление УАБ в период 40-60-х годов, как показывают расчеты, отмечен скачкообразным возрастанием коэффициента ТУ до 2...3 [14], что можно объяснить за счет перехода со старой технологии на новую (кривая В) (рис. 3).

Полученные выводы подтверждаются данными о эффективности действия боевой авиации в различные исторические периоды [21]. Во вторую мировую войну для поражения одной цели, размером 60х199" (типа промышленного здания) было сброшено порядка 9000 бомб и было сделано около 1500 вылетов самолета типа В-17 (статистика по результатам бомбардировок Германии союзной авиацией). Во Вьетнаме истребитель-бомбардировщик В-4 "Фантом" для поражения одной цели делал 30 боевых вылетов, сбрасывая 176 неуправляемых бомб калибра 500 фунтов. В операции "Буря в пустыне" использовались уже управляемые авиабомбы с лазерными и телевизионными системами наведения. Самолет F-117 нес две 2000-фунтовые бомбы с лазерной ГСН и в одном вылете уничтожал две цели. В последней иракской войне за один вылет бомбардировщик В-2 нес 16 шт. 2000-фунтовых авиабомб и поражал одновременно 16 целей. Эта наглядная демонстрация влияния технического прогресса на развитие оружия.

Дальнейшее эволюционное развитие УАБ безусловно можно связать с улучшением ТТХ УАБ (повышение точности наведения, увеличение дальности применения, расширение условий боевого применения по режимам сброса, временным и погодным условиям и т.д.), однако значительный прирост $K_{ТУ}$ следует ожидать от использования революционирующих технологий, например, Интернет-технологий, т.е. необходимо устранить "технологический разрыв"¹. Это использование высокоточных всепогодных систем управления и наведения (GPS/INS –технология), тепловизионная система наведения DAMASK и т.п., способных надежно функционировать в любых географических и климатических условиях по широкому спектру целей (поверхностных (подповерхностных), в том числе подвижных) с осуществлением принципа "сбросил-забыл" и автоматической селекцией заданного класса целей, а также эффективных специализированных или универсальных боевых частей, аэродинамических схем, обеспечивающих маневренность и максимальную дальность полета УАБ, новых конструктивных технологий, снижающих радиолокационную заметность и т.п. Рост эффективности боевого применения УАБ в составе ударного авиационного комплекса по мере их совершенствования представлен на рис. 6 [17].

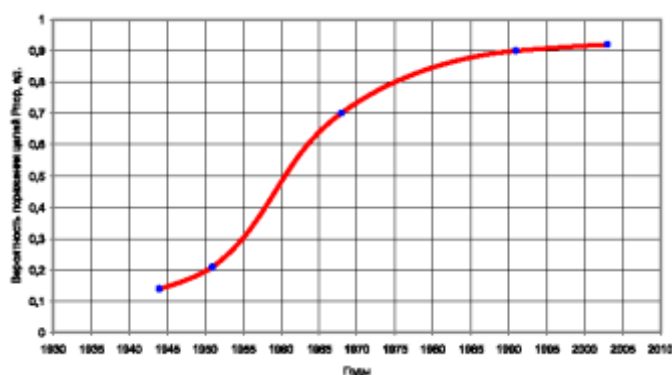


Рис. 6. Динамика потенциально достижимой вероятности поражения целей УАБ ($P_{пор}$)

Как следует из рис. 6 вероятность поражения возросла с момента появления микроэлектроники в период с 1950 г. по 1967 г. в 3,5 раза и в период с 1990 г. по 1995 г. на 2-5 %.

В диссертации [12] по комплексному коэффициенту качества K_K были определены характер и тенденции развития КР или БЛА (рис. 7).

Приведенные примеры позволяют сделать вывод о том, что используя данные ретроспективного анализа о ТУ объекта исследования, а также его прогнозные значения можно выявлять перспективные технологии развития создаваемой техники.

¹ "Технологический разрыв" – это период перехода от одной технологии к качественно другой (или от одного продукта к качественно другому, удовлетворяющему ту же потребность. Современный этап научно-технической революции характеризуется ростом частоты технологических разрывов.

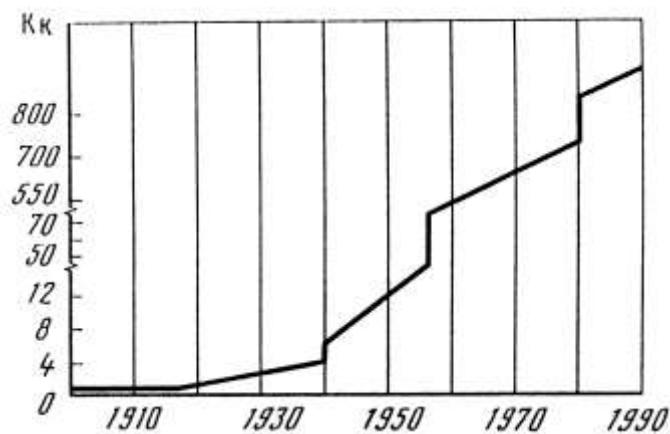


Рис. 7. Изменение по времени комплексного коэффициента качества БЛА

3. Существующие методы определения момента перехода на новые технологии

В монографии [16] был предложен метод оценки ТУ УАБ на основе весовых коэффициентов, который может быть также использован для определения тенденций развития различных СТС,

Для оценки методом сравнения всех показателей предложен критерий ТУ ($K_{ТУ}$), который характеризует разрабатываемый образец по отношению к существующим аналогам (отечественным или зарубежным):

$$K_{ТУ} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} K_{n_i} \varphi(i)}{\sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i)}, \quad (1)$$

где $K_{ТУ}$ – критерий технического уровня;

$\varphi(i)$ – функция, нормирующая вес i -го относительного показателя, входящего в ранжированную последовательность;

n – общее число показателей;

K_{n_i} – относительное значение i -го показателя, значимость которого определяется местом, занимаемым в ранжированной последовательности.

Эти показатели применяются в двух модификациях:

если повышению ТУ соответствует увеличение рассматриваемого i -го показателя; например, увеличение дальности сброса КАБ (УАБ) ($D_{\max}$), то относительное значение i -го показателя определяется по формуле:

$$K_{n_i} = \frac{K_{o_i}}{K_{z_i}}, \quad (2)$$

где K_{o_i} – величина i -го показателя разрабатываемого (сравниваемого) образца;

K_{z_i} – величина i -го показателя аналога, принятого для сравнения;

если повышению ТУ соответствует уменьшение рассматриваемого показателя; например, при уменьшении КВО ($E_{КВО}$), то относительное значение i -го показателя определяется по формуле:

$$K_{n_i} = \frac{K_{z_i}}{K_{o_i}}. \quad (3)$$

На основе данного метода был проведен ретроспективный анализ развития зарубежных УАБ и разработана аттестационная шкала (таблица 4) для оценки перспективности УАБ [16].

Оценка технического уровня альтернативных образцов УАБ с использованием метода весовых коэффициентов осуществлялась при следующих оценочных показателях [16]:

- $E_{КВО}$, м – круговое вероятное отклонение;
- $m_{БЧ}$, кг – масса БЧ;
- $m_{ВВ}$, кг – масса ВВ БЧ;
- $D_{пр. \max}$, км – максимальная дальность сброса УАБ;
- $t = (1 - t_{упр. \text{ и нав.}} / t_0)$ – коэффициент автономности полета УАБ после ее сброса с учетом степени

участия летчика-оператора ($t_{\text{упр. и нав.}}$ – суммарное время управления и наведения УАБ на цель; t_6 – общее время полета УАБ после сброса);

– $T = T_{\text{прим.}} / 24$ – коэффициент круглосуточности применения УАБ ($T_{\text{прим.}}$ – возможное время применения УАБ в течение суток, ч).;

– $B = B_{\text{прим.}} / 100$ – коэффициент всепогодности применения УАБ ($B_{\text{прим.}}$ – суммарное время возможности применения (выполнения задачи наведения) по условиям продолжительности при метеоусловиях (дождь, снег, туман, дымка) в % к дням года).;

– $Об = Об_{\text{прим.}} / 100$ – коэффициент применения УАБ по условиям отсутствия облачности ($Об_{\text{прим.}}$ – суммарное время возможности применения УАБ по условиям выполнения задачи наведения при облачности в % к дням года).

Таблица 4. Аттестационная шкала перспективности УАБ

Пределы изменения $K_{\text{ТУ}}$	Прогнозная оценка изделия в целом
1,05-1,065	Не перспективная УАБ
1,07-1,13	Малоперспективная УАБ
1,135-1,265	Перспективная УАБ
1,27 и выше	Весьма перспективная УАБ

Для СТС с зарождающимися технологиями в начальный период развития t_1 характерен низкий ТУ $K_{\text{ТУ-1}}$. Однако исследователь может ожидать в будущем развитие СТС, основанной на новой технологии. Тогда, при проведении оценок по определению ТУ следует использовать для описания СТС с новыми технологиями прогнозных значений ее основных характеристик и произвести сравнение t_2 . (рис. 3). В этом случае при рассмотрении СТС на основании данных по новой технологии среди остальных альтернативных решений возможно получение положительных решений. При таком подходе исключается отсеивание новых технологий ввиду их неготовности на начальных стадиях разработки, как это было бы в случае сравнения СТС с имеющимися характеристиками в момент времени (t_1).

Известна также работа [9], в которой представлена модель оптимизации выпуска продукции на рынок, причем момент перехода определяется путем сравнения достигнутого уровня продукции с мировым. На рис. 9 представлена динамика мирового уровня качества и уровня качества продукции конкретного предприятия. Мировой уровень качества непрерывно растет, в то время как уровень качества продукции конкретного предприятия меняется скачкообразно. Он заметно увеличивается при выпуске на рынок новой марки продукции, а затем остается постоянным вплоть до выпуска следующей марки. В течение жизненного цикла очередной марки продукции ее уровень качества сначала заметно выше мирового, затем преимущество уменьшается, наконец, уровень качества оказывается ниже мирового, и через некоторое время марка снимается с производства.

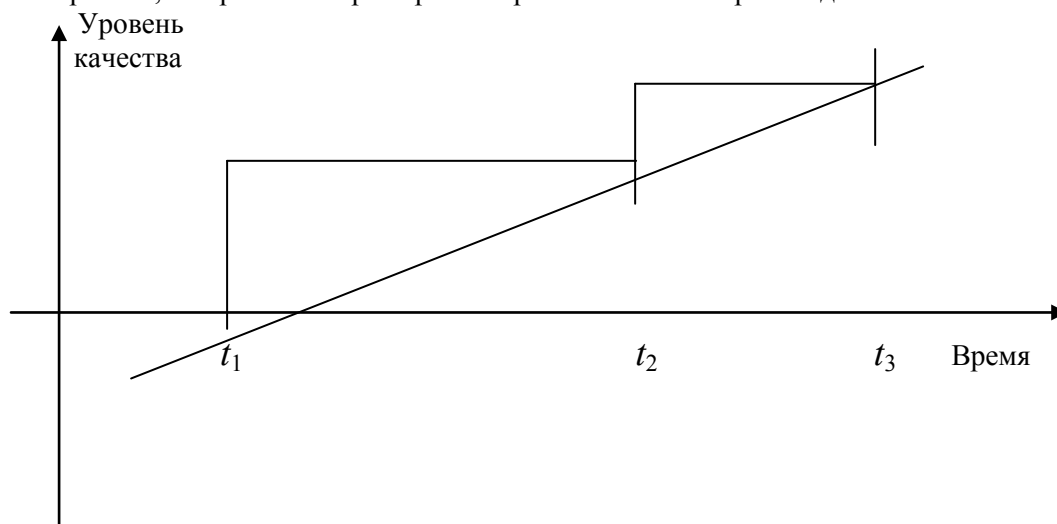


Рис. 8. Сравнение динамики мирового уровня качества и уровня качества продукции конкретного предприятия

4. Основные принципы и метод оценки технического уровня сложных технических систем с зарождающимися технологиями

Предполагаем, что процесс развития исследуемых СТС является эволюционным. Так как в предлагаемом методе оценки ТУ СТС с применением теории прогнозирования используется S-образный вид развития технологий, то рассмотрим эту зависимость более подробно.

Линейный и экспоненциальный рост функции, наблюдаемый на определенных этапах развития технологии, можно рассматривать как аппроксимированные отрезки логистической кривой [2, 11]. На рис. 9 экспоненциальный характер имеет часть логистической кривой в интервале $(t_1 - t_2)$, характеризующем период зарождения и экспериментального опробования технологии, которая повышает производительность процесса изготовления продукции. Этот период, когда СТС имеет малый удельный вес среди других аналогичных СТС, называется латентным периодом. Линейный характер зависимости появляется на этапе $(t_2 - t_3)$ наращивания выпуска продукции, изготавливаемой по новой технологии, который можно характеризовать как бурное развитие нового поколения СТС. Период насыщения соответствует интервалу $(t_3 - t_4)$, когда становится необходимым переход на принципиально новую технологию. Время жизни поколения СТС составляет интервал времени $(t_4 - t_1)$.

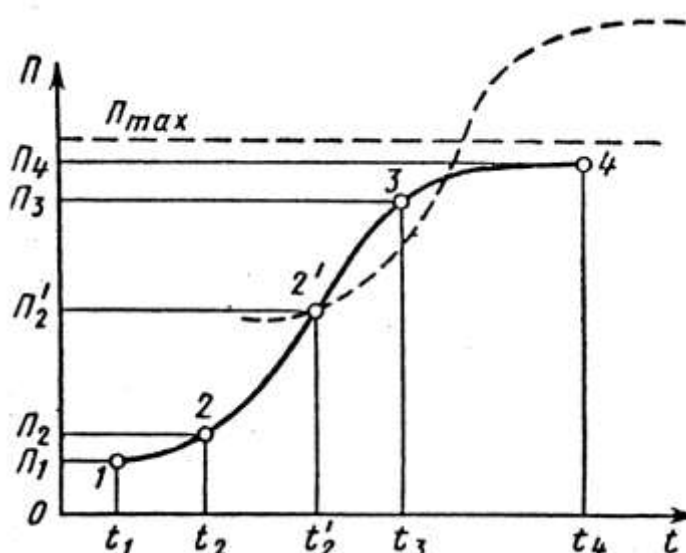


Рис. 9. Логистическая кривая роста производительности технологического процесса (Π):
— старая технологии; — — — — новая технология, зарождающаяся при существующей

Новую технологию разрабатывают не только после окончательного устаревания и отмирания прежних технологических методов. Иногда новая технология рождается еще при существовании экономически жизнеспособной старой технологии (точка t_2'). Определение момента замены технологических процессов, а, следовательно, оборудования, оснастки и т. д. является сложной задачей, решение которой возможно на базе всестороннего анализа современного состояния и прогнозирования перспектив технологии и производства, исходя из характера развития рассматриваемого процесса.

Функция, соответствующая логистической кривой (применительно к динамике производительности технологического процесса), имеет вид

$$\ddot{I}(t) = \frac{\ddot{I}_{\max}}{1 + A \cdot \exp(-u \cdot t)}, \quad (4)$$

где $\ddot{I}_{\max}$ — предельное значение производительности рассматриваемой технологии, u определяет темп роста производительности технологии, а поскольку

$$\frac{\ddot{I}_{\max}}{\ddot{I}(0)} = 1 + A, \quad (5)$$

$A \cdot 100\%$ показывает — насколько процентов вырастит производительность рассматриваемой технологии по отношению к её начальному значению.

Анализ логистической зависимости (4) показывает, что при $A > 1$ наибольшее значение темпа роста производительности достигается для момента времени $t^* = \frac{\ln(A)}{u}$, откуда имеем соотношение

$$u = \frac{\ln(A)}{t^*}. \quad (6)$$

Таким образом, для прогнозирования динамики развития новой технологии достаточно спрогнозировать числовые значения двух характеристик:

1. Максимальный уровень производительности новой технологии;
2. Время достижения максимального темпа роста новой технологии.

Используя затем соотношения (5)-(6), получаем прогнозные значения параметров A , u прогнозной модели, а из равенства (4) и прогноз самой динамики развития производительности новой технологии.

Для определения погрешности в прогнозных значениях $\ddot{I}(t)$, зная порядок погрешностей прогнозных значений вышеуказанных двух характеристик, подсчитываем дисперсии прогнозных значений параметров A , u и дисперсии значений производительности для любой даты в будущем, используя формулы

$$\sigma^2(u) = \frac{\sigma^2(A)}{A^2 \cdot t^{*2}} + \left(\frac{\ln A}{t^{*2}} \right)^2 \cdot \sigma^2(t^*), \quad \sigma^2(A) = \frac{\sigma^2(\ddot{I}_{\max})}{\ddot{I}^2(0)},$$

$$\sigma^2(\ddot{I}(t)) = \sigma^2(\ddot{I}_{\max}) \cdot \frac{t}{t^*}, \quad (7)$$

где значения дисперсий $\sigma^2(t^*)$, $\sigma^2(\ddot{I}_{\max})$ определяются на основе экспертных оценок.

В частности, используя формулы (7), можно вычислять доверительные интервалы для параметров u , A и значений $\ddot{I}(t)$ для любого заданного уровня доверия [5].

Пример 1. Пусть определены следующие значения:

$$\frac{\ddot{I}_{\max}}{\ddot{I}(0)} \approx N(2.3; 0.1), \quad t^* \approx N(5; 0.2). \quad (8)$$

Имеем:

$$\sigma^2(u) \cong 0.0024, \quad \sigma^2\left(\frac{\ddot{I}(t)}{\ddot{I}(0)}\right) = 0.02 \cdot t. \quad (9)$$

Пример 2. Рассмотрим пример развития новой технологии, связанной с ЛА. В 1990 г. точность наведения ЛА на объекты составляла $T = 60$ м (1990 год возьмем за начало отсчета). Известно, что в 1995 г. точность составляла $T = 11 \pm 2$ м, а в 2003 г. уже $T = 4 \pm 1$ м. Определим производительность новой технологии согласно равенству $\Pi = 100 - T$. Тогда $\Pi(0) = 100 - 60 = 40$, $\ddot{I}(5) = 89 \pm 2$, $\ddot{I}(13) = 96 \pm 1$. Таким образом, в 2003 году с помощью новой технологии по существу было достигнуто максимальное значение её производительности. Следовательно, для рассматриваемого примера имеем следующие значения:

$$\frac{\ddot{I}_{\max}}{\ddot{I}(0)} = \frac{96}{40} = 2.4, \quad A = \frac{\ddot{I}_{\max}}{\ddot{I}(0)} - 1 = 1.4.$$

Значение u находим из равенства

$$\frac{\Pi(5)}{\Pi(0)} = 2.225 = \frac{2.4}{1 + 1.4 \cdot \exp(-u \cdot 5)}, \quad \text{откуда получаем } u = 0.576.$$

Следовательно, функция, соответствующая динамике производительности технологического процесса, имеет вид

$$\frac{\ddot{I}(t)}{\ddot{I}(0)} = \frac{2.4}{1 + 1.4 \cdot \exp(-0.576 \cdot t)}. \quad (10)$$

На рис. 10 представлен график функции (10), на оси абсцисс отложены годы (нулю соответствует 1990 г.), на оси ординат отложено отношение $\frac{\ddot{I}(t)}{\ddot{I}(0)}$.

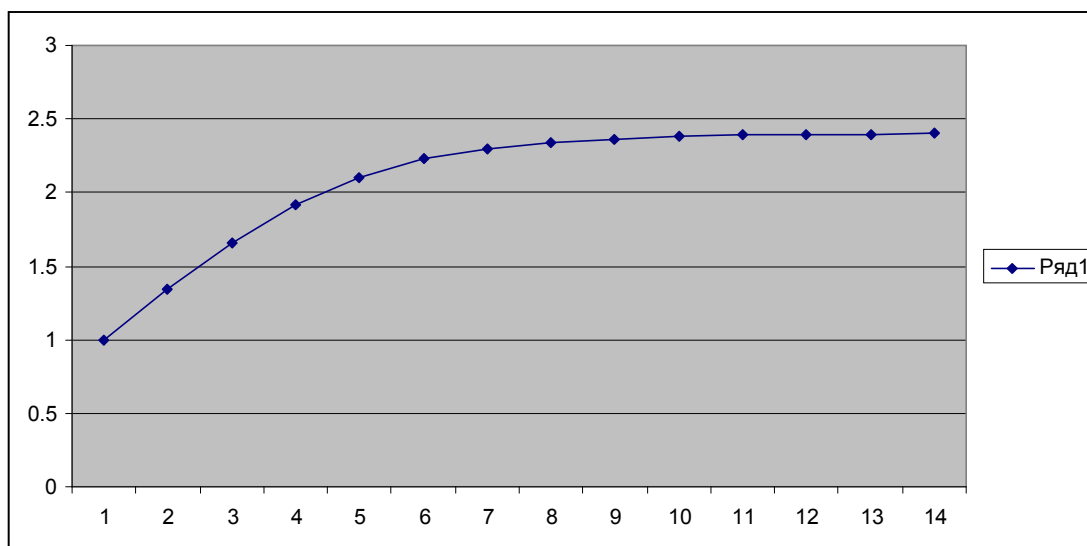


Рис. 10. Динамика производительности технологического процесса ЛА

С учетом вышесказанного, общая схема метода оценки ТУ СТС, известная по статье [18], при оценке СТС с зарождающимися технологиями будет изменена таким образом, как представлено на рис. 10. Данный метод реализован в информационно-аналитической системе "Оценка и выбор" [14]. Следует заметить, что при оценке ТУ СТС принимается во внимание совокупность оценочных показателей, при этом может получиться, что даже прогрессивный характер одного из анализируемых параметров новой технологии может не дать значительного прироста ТУ.

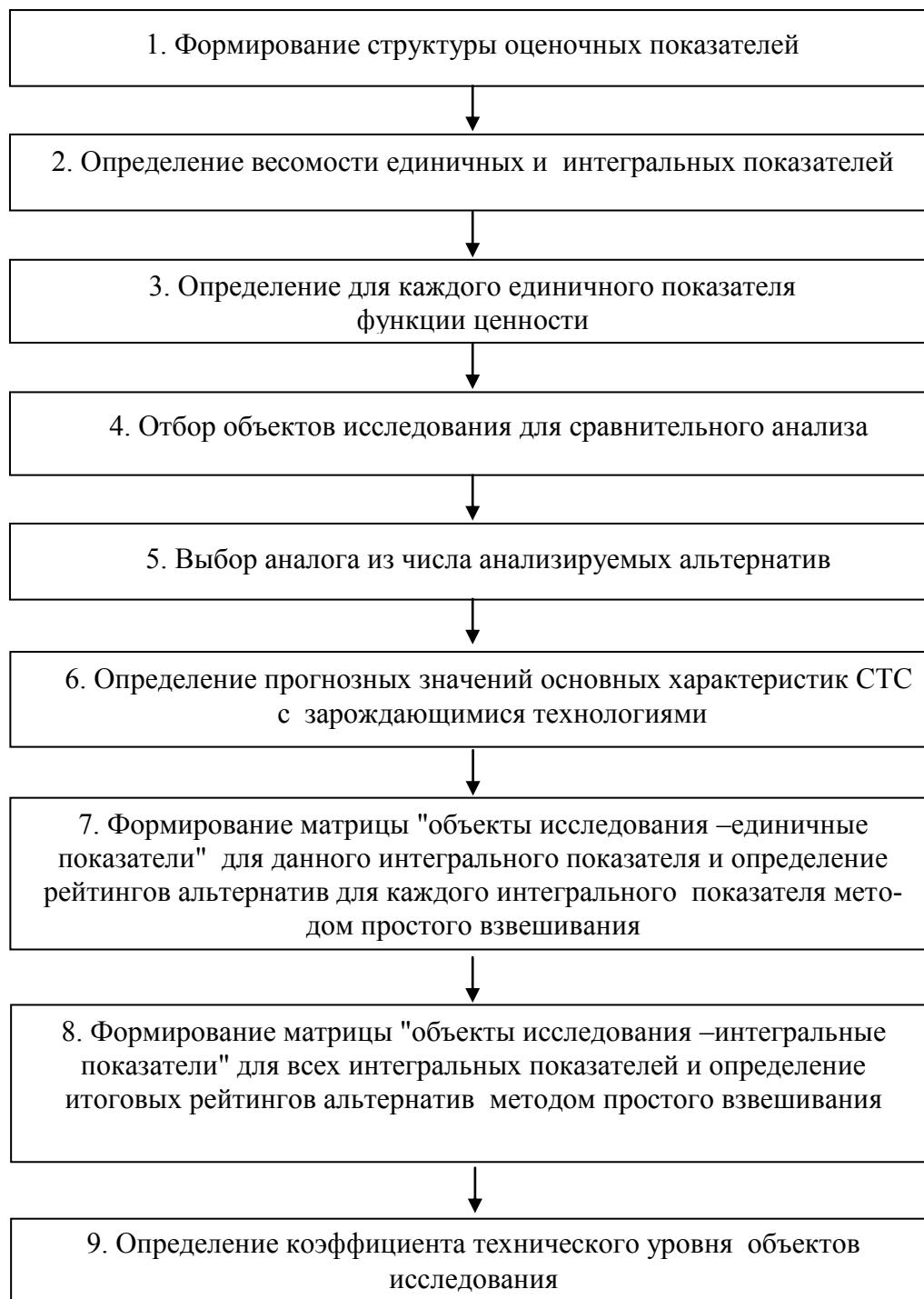


Рис. 11 – Этапы решения задачи сравнительного анализа CTC с помощью ИАС "Оценка и выбор"

Выводы

1. Анализ создания новых технологий показал, что развитие современных CTC соответствует логистической кривой роста эффективности, при этом только около 2% выдвигаемых идей воплощается в новую продукцию, а период времени от зарождения до внедрения в среднем составляет около 15 лет в XX в., с тенденцией сокращения в XXI в.
2. Предложенный метод определения момента перехода при создании CTC со старой технологии на новую базируется на прогнозной экспертной оценке развития показателей CTC,
3. Разработанный алгоритм оценки смены технологий при создании CTC обоснован и апробирован. Внедрение данного метода будет способствовать созданию высокотехнологичной продукции.

Литература

1. БИЛИНКИС В.Д. *Методы оценки технического уровня и конкурентоспособности продукции.* – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. – 118 с
2. ГАЙКОВИЧ А.И. *Основы теории проектирования сложных технических систем.* – СПб.: НИЦ "МОРИНТЕХ", 2001. – 432 с.
3. ГЛАЗЬЕВ С.Ю. *Технологические сдвиги в экономике России* // Экономика и математические методы. 1992. – Том 33, вып. 2. – С. 5-25.
4. ГРИНЯЕВ С. *Цифровое неравенство наций* // Независимое военное обозрение. – 2004. – № 3 (363) – 20 января – 5 февраля. – С. 4.
5. КРЯНЕВ А.В., ЛУКИН Г.В. *Метрический анализ и обработка данных.* М.: Физматлит, 2010. – 280 с.
6. НАНОТЕХНОЛОГИИ как ключевой фактор нового технологического уклада в экономике // Под ред. акад. РАН С.Ю. Глазьева и проф. В.В. Харитонova. – М.: Изд-во "Триват", 2009. – 304 с.
7. НАЦИОНАЛЬНАЯ разведка США ищет перспективные технологии // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 10. – С. 89.
8. НЕЩАДИН А.А., КАШИН В.К., ЛИПСИЦ И.В., ВИГДОРЧИК Е.А. *Экономическое развитие страны и конверсия* // Конверсия в машиностроении. – 2000. – № 1. – С. 6–20.
9. ОРЛОВ А.В. *Организационно-экономическое моделирование.* – Ростов н/Д., 2009. – 475 с. – 134-140.
10. ОТИС ПОРТ, ДЖОН КЭРИ. *Стремление к совершенству.* Специальный репортаж // Бизнес Уик. – 1992. – № 11. – С. 20-27.
11. ПРОСКУРЯКОВ А.В. *Организация создания и освоения новой техники.* – М.: Машиностроение, 1975. – 224 с.
12. НОВИЧКОВ Н.Н. *Развитие крылатых ракет самолетных схем.* Дис. канд. техн. наук. – М., 1982. – 341 с.
13. ПРОБЛЕМЫ функционирования глобальной спутниковой навигационной системы GPS после 2000 г.: Экспресс-информация / ГосНИИАС. – 1998. – № 27–28. – С. 8–9. – (Авиационные системы).
14. ПРОБЛЕМЫ создания корректируемых и управляемых авиационных бомб / Сост. С.С. Семенов, В.Н. Харчев; Под ред. Е.С. Шахиджанова. – М.: Инженер, 2003. – 528 с.
15. РОГОЗИН Д. *России нужна "умная оборонка".* Газета "Красная звезда". – 2012. – 7 февраля. – С.
16. СЕМЕНОВ С.С., ХАРЧЕВ В.Н., ИОФФИН А.И.. *Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники.* – М.: Радио и связь, 2004. – 552 с.
17. СЕМЕНОВ С.С., ХАРЧЕВ В.Н., *Корректируемые авиабомбы российских ВВС.* – М.: Изд. группа "Бедре-тдинов и Ко", 2005. – 88 с.
18. СЕМЕНОВ С.С., ЩЕРБИНIN В.В. *Метод оценки технического уровня систем наведения управляемых авиационных бомб* // Вопросы оборонной техники. Сер. 9. Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. – М.: ФГУП "НТЦ "Информтехника", 2010. – Вып. 1 (242) – 2 (243). – 108 с. – С. 29-32.
19. СМIRHOB A.Д., МАКСИМОВ В.Ф., АКУЛЕНOK Д.Н. и др. *Рыночная экономика.* В 3 т. Т. 2. Часть 1. Основы бизнеса/ – М.: Соминтэк, 1992. – 160 с. – С. 114-117.
20. УВАРОВА Л.И. *Научный прогресс и разработки технических средств.* – М.: Наука, 1973. – 272 с.
21. ФЕДОСОВ Е.А. *Высокоточное оружие и технологии сетевого целеуказания и управления – основы глобального удара боевой авиации в XXI веке* // Труды юбилейной научно-технической конференции "Авиационные системы в XXI веке" (г. Москва, 11-13 апреля 2006 г.). Под ред. Е.А. Федосова. Том 1. – М.: ГНЦ РФ "ФГУП "ГосНИИАС", РАН. – 594 с. – С. 9-29.
22. ЭЙРЕС Р. *Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование.* Под ред. Г.М. Доброва. – М.: Мир, 1971. – 296 с. – С. 282-284.
23. ЯНЧ Э. *Прогнозирование научно-технического прогресса.* – М.: Прогресс, 1974. – 591 с. – С. 187-206.

TECHNOLOGICAL LEVEL ESTIMATION METHOD OF THE COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS BASED ON ARISING TECHNOLOGIES USING

Kryanev Alexander, National research nuclear university "MEPhI", Moscow, Dr. of sciences, the professor of chair "Applied mathematics" (avkryanev@mephi.ru).

Semenov Serguey, Open Society "State research-and-production enterprise" Region ", Moscow, PhD, the head of analysis and perspective researches group (gnppregion@sovintel.ru).

Given article is devoted a problem of a technological level (TL) estimation of complex technical systems(CTS) based on new arising technologies. Thus in article features of development and urgency of modern technologies are in detail reflected. Existing methods of transition moment definition to new technologies is stated. The formation principle forecasting values of the basic characteristics of new technology is described. The method of TL CTS estimation with arising technologies is presented.

Keywords: technological level, technological level factor, complex technical system, life cycle, arising new technology, forecasting values, rate of new technology growth, the moment of transition to new technology.