

УДК 621.001.2:658.512.4

С. Г. СЕЛИВАНОВ, А. Н. ПЕТРОВ, А. А. НУРГАЛИЕВ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ МЕХАТРОННЫХ КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТАНКОСТРОЕНИИ

Установлены закономерности смены поколений техники, высоких и критических технологий, которые могут быть использованы при решении задач смены технологических укладов в авиационном производстве средствами его технического перевооружения. *Высокие и критические технологии; мехатронные технологии станкостроения; техническое перевооружение производства*

Современные направления НИОКР и опытно-технологических НИР по созданию производственных критических и высоких технологий федерального уровня России в соответствии с «Основами политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу» можно определить следующим перечнем: прецизионные и нанометрические технологии обработки, сборки, контроля; технологии на основе сверхпроводимости; мехатронные технологии; лазерные и электронно-ионно-плазменные технологии...

Этот перечень не является каноническим, он постоянно пополняется как на федеральном уровне, так и на уровне субъектов Российской Федерации. Аналогичные перечни разрабатываются и в отраслевых министерствах, например, для машиностроения такой перечень характеризуют данные табл. 1.

Каждый из видов названных «критических технологий» подразделяется на кластеры, группы, подвиды, типы и другие таксоны, например, мехатронные технологии классифицируют: на технологии вращательных и линейных перемещений путем интеграции средств прецизионной механики, электроники и электротехники; технологии станочных и робототехнических комплексов; измерительных машин, транспортных средств, средств газо- и нефтедобычи; гексаподов — машин с параллельной кинематикой и т. д.

Для обоснования выбора названных и других критических технологий, определения законов и закономерностей смены поколений техники и технологий можно использовать S-образные кривые развития технологической

системы, которые характеризуются улучшением главных параметров целевой функции (F) во времени (T) и характеризуют процесс смены поколений техники (рис. 1).

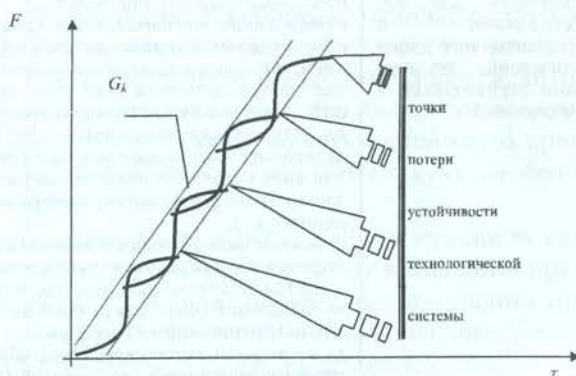


Рис. 1. Трубка траекторий устойчивого развития технологической системы

Такое математическое моделирование позволяет утверждать, что после прохождения точки перегиба S-образной закономерности, т. е. после перехода от стадии интенсивного развития в стадию дефлирующего развития желательно приступить к началу научно-исследовательских работ для перехода к новой S-образной кривой развития, основанной на применении в анализируемой технологической системе нового принципа действия. Данное решение позволяет осуществить профилактические меры, которые не допускают переход технологической системы в стадию стагнации, последующей деградации и гибели, т. е. обеспечивает устойчивое ее развитие на основе освоения новых высоких и критических технологий.

Перечень критических технологий машино- и приборостроения

Кластеры	Основной перечень критических технологий
Информационно-телекоммуникационные технологии управления	<p>а) общие информационные технологии автоматизированного управления (высокопроизводительные вычислительные системы, компьютерное моделирование, искусственный интеллект, информационная интеграция и системная поддержка жизненного цикла продукции (CAD, CAM, CAE, CALS-технологии), информационно-телекоммуникационные системы, распознавание образов и анализ изображений...),</p> <p>б) технологии создания интеллектуальных систем навигации и управления; технологии распределенных вычислений и систем; технологии производства программного обеспечения;</p> <p>в) биоинформационные технологии...</p>
Космические технологии	<p>авиационная и ракетно-космическая техника с использованием новых технических решений, технологии высокоточной навигации и управления движением, космические технологии...</p>
Критические производственные технологии общего назначения для инновационного проектирования	<p>а) прецизионные и наноструктурные технологии обработки, сборки, контроля, технологии на основе сверхпроводимости, мехатронные технологии, лазерные и электронно-ионно-плазменные технологии...;</p> <p>б) технологии элементной базы микроэлектроники, наноэлектроники и квантовых компьютеров, опто-, радио- и акустоэлектроники, оптической и СВЧ-связи;</p> <p>в) технологии новых материалов – технологии керамических и стекломатериалов, полимеров и композитов, металлов и сплавов со специальными свойствами, синтетических сверхтвердых материалов, материалов для микро- и наноэлектроники, технологические совместимые модули для металлургических мини-производств, нанотехнологии и наноматериалы; технологии создания и обработки полимеров и эластомеров; технологии создания и обработки кристаллических материалов со специальными свойствами, технологии создания композиционных и керамических материалов;</p> <p>г) технологии атомной и водородной энергетики; технологии возобновляемых источников энергии; технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем; технологии создания энергосберегающих систем...</p>
Специальные критические промышленные технологии для инвестиционного и инновационного проектирования технического перевооружения предприятий	<p>а) технологии композиционных материалов – технологии биметаллов, термодиффузионного сращивания деталей, изготовления углерод-углеродных композиционных материалов, композитов на основе стекловолокна и полипропилена...;</p> <p>б) технологии заготовительного производства – литейные технологии (литья под низким давлением, получения высокоточных отливок в формы на основе электрокорунда, литья под регулируемым давлением, технологии жидкой штамповки, технологии литья в графитовые и керамические формы, литья под электромагнитным давлением, литья методом направленной кристаллизации, литья выжиманием, литья в вакуумированные пресс-формы, плазменно-индукционной плавки, электронно-лучевой плавки, литья в вакуумно-пленочные формы, литья в замороженные формы...);</p> <p>в) обработки металлов давлением (взрывная штамповка, электровысадка, изотермическая штамповка в режиме сверхпластичности, сферодвижная штамповка обкатыванием, штамповка на термопрессах, электрогидравлическая штамповка, малоотходные и высокоточные порошковые технологии на пресс-автоматах...);</p> <p>г) базовые технологии изготовления изделий : проектные и директивные технологические процессы постановки на производство новой техники; технологии бесплазменной увязки деталей и технологической оснастки летательных аппаратов; технологии производства длинномерных трубных деталей на основе радиальнойковки, вакуумного ионно-плазменного азотирования, нанесения эрозиянностойких покрытий магнетронным способом;</p> <p>д) технологии высокоскоростной обработки, обеспечивающие многократное увеличение производительности мощностей предприятий ОПК (лазерной и гидроабразивной резки заготовок, высокоскоростной обработки резанием, скоростного термомеханического борирования, скоростной термообработки, скоростной химико-термической обработки и скоростного гомогенизирующего отжига в условиях низкочастотных акустических воздействий, скоростного глубинного шлифования, скоростной плавки металлов, скоростной химико-термической обработки отливок в жидкофазовом состоянии, высокоскоростной химико-термической обработки в условиях энергетической поляризации, ультразвукового и электрических полей, с использованием реагентосодержащих шаржированных материалов, скоростной лазерной химико-термической обработки, скоростного нанесения износостойких металлостружечных покрытий в условиях ультразвуковых воздействий);</p> <p>е) технологии механообработки деталей – лазерные технологии (резки, перфорации, электронно-лучевые технологии, лазерное маркирование, лазерное скрайбирование ...), ультразвуковые высокоскоростной обработки резанием, электрообработки (электроэрозионная, электроконтактная резка) и сплавов, технологии термоэнергетической (труднообрабатываемых металлов) деформационно-режущей механической обработки;</p> <p>ж) технологии высокоавтоматизированной обработки (роботизированные технологии, технологии гибких производственных систем, интегрированного, интеллектуального («умного») производства, томатических линиях, станках-автоматах ...);</p> <p>з) технологии термической и химико-термической обработки и упрочнения деталей (газовые ионные процессы азотирования, нанесения многослойных газотермических покрытий, вакуумного напыления, осаждения покрытий в электростатическом поле из газовой фазы, технологии акустического старения металлов, технологии ионно-плазменной обработки, в т.ч. ионно-вакуумное азотирование, ионно-вакуумная цементация, ионная имплантация, ионное легирование ...), технологии малодеформационной закалки, в том числе в водорастворимых неионногенных полимерах высокомолекулярных изокинилот, импульсная управляемая закалка с охлаждением в магнитных жидкостях ...);</p> <p>и) технологии контроля и испытаний (технологии неразрушающего контроля на основе акустической эмиссии и эффекта магнитоупругости, технологии контроля на координатно-измерительных машинах, лазерного контроля технологического процесса сборки, например, лопаточных решеток газотурбинных двигателей; технологии автоматического контроля...)</p>

Модификация технологической системы в рамках постоянного принципа действия, как правило, вызывает ее продвижение вверх по S-образной кривой, а изменение принципа действия – смену S-образной кривой развития (рис. 1). Если такие изменения не выйдут за пределы определенной «трубки траекторий» (G_k), то мы вправе констатировать устойчивое развитие технологической системы средствами смены поколений техники.

Рассмотрим в связи со сказанным способы определения закономерностей развития металлорежущих станков и смены их поколений. На S-образных зависимостях F (рис. 1) может приобретать смысл различных показателей качества и технического уровня металлорежущих станков (производительности, точности, уровня автоматизации, количества выполняемых технологических функций или дополнительных опций и т. д.).

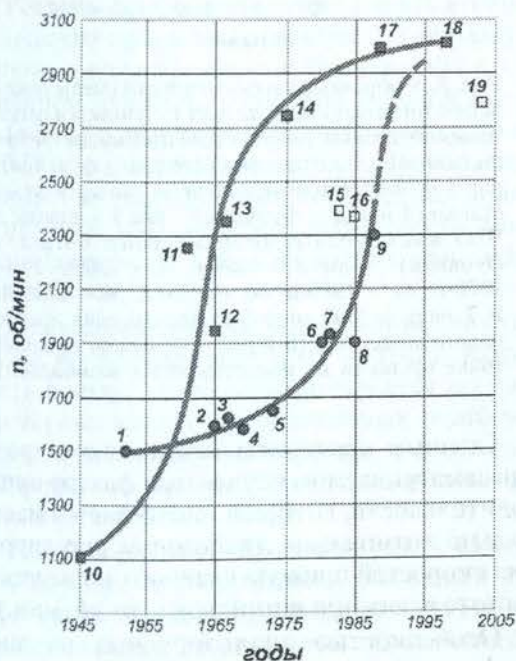


Рис. 2. S-образные закономерности развития шлифовальных станков. Модельный ряд шлифовальных станков 5-го типоразмера: 3Б153; 3Б153У; 3М152В; 3Б153У; 3М153; 3М153У; 3М153А; 3М153Е. Точки 15, 16, 19 – это неконкурентоспособные модели шлифовальных станков, которые существуют внутри множества моделей данного вида техники и технологий, ограничиваемой S-образной кривой

Из рис. 2 видно, что шлифовальные станки 5-го типоразмера на нижней линии регрессии (о) по показателю максимальной частоты вращения шпинделя (n_{\max} , об/мин), который характеризует предельно возможные скоростные характеристики обработки (производительность), пока еще не достигли уров-

ня высоких технологий (пунктирный участок линии), т. е. в ходе исследования мы столкнулись с неполной S-образной закономерностью развития технической системы.

Новые станки 2-го типоразмера (□) находятся в верхней части S-образной кривой (полная S-образная кривая развития), что свидетельствует о достижении уровня «высокой технологии» шлифования на таких станках и требует выполнения НИОКР, направленных на разработку «критических технологий», т. е. принципиально новых технологий высокоскоростного шлифования и смены на этой основе поколений таких шлифовальных станков.

При таком условии перехода к «критической технологии» должен быть использован более прогрессивный принцип (физический эффект, технологический способ или метод) для обеспечения прорыва в данной специальной технологии производства.

Объяснение закона смены поколений техники и технологий как способа дальнейшего развития технологий, отличающегося от закона эволюционного развития технических систем наличием нескольких волн развития, основывается на том, что любая техническая система в рамках любого постоянного принципа действия выполняет следующие функции:

- технологические – Т, их сущность сводится к заданному способу изменения предмета труда, основанному на применении того или иного физического, химического, биологического и т. п. эффекта в технологии;
- энергетические – Э, связанные с энергообеспечением технологии и механизацией процесса;
- информационно-управляющие – И, связанные с управлением и автоматизацией процесса.

Отсюда сущность закона смены поколений техники и разработки критической технологии сводится не только к изменению принципа выполнения технологических функций путем замены их на более совершенные, например, путем перехода от силовой схемы резания к высокоскоростной обработке, но и к смене поколений техники и технологий путем механизации и автоматизации. Этот второй путь предполагает изменения принципов выполнения не столько технологической, сколько энергетической и информационно-управляющей функций в технологическом процессе. При этом следует иметь в виду, что «кризис» – это не фатальное деструктив-

ное явление, приводящее к разрушению старой технологии. Дословный перевод термина «кризис» (от гр. *crisis* – решение, решительный исход, приговор) означает только то, что изменение принципиальной основы технологического способа позволяет решительно перейти к новой, более конкурентоспособной технологии, которая приходит на смену старой технологии того же назначения, например, замена силовой схемы резания на высокоскоростную обработку или метод твердого точения.

Рассмотрим в связи со сказанным более подробно закономерности развития мехатронных технологий и обеспечения с их помощью технологического перевооружения машиностроительного производства в целях формирования новых технологических укладов промышленного производства. При этом следует иметь в виду, что в производстве технологического оборудования в нашей стране до недавнего времени не было принято выделять новые поколения техники и технологии. В станкостроении чаще вели речь о смене гаммы станков; замене их на оборудование повышенной, высокой, особо высокой точности или на особо точные станки; о внедрении автоматов и полуавтоматов; о модернизации станков и других нововведениях. Вместе с тем технологическое оборудование, равно как и другие изделия новой техники развивались в полном соответствии с объективными научными законами инноватики.

Проиллюстрируем сказанное путем построения S-образных закономерностей развития токарных станков (рис. 3) [1]. Для этого рассмотрим вначале особенности динамики развития токарных станков и замены их на токарные станки с ЧПУ и мехатронные станки того же назначения.

Анализируя динамику развития токарных станков на начальных стадиях жизненного цикла развития мехатроники важно отметить следующее:

- вначале произошла замена универсальных станков на станки с числовым программным управлением (ЧПУ), которые работали в сочетании с внешней электронной вычислительной машиной (ЭВМ) и интерполятором, используемым в целях разработки программ для управления станком с ЧПУ с индивидуального пульта управления таким оборудованием с помощью магнитной ленты или перфоленты;

- впоследствии произошла замена токарных станков с ЧПУ на мехатронные токар-

ные станки со встроенной ЭВМ, в том числе с адаптивными системами управления.

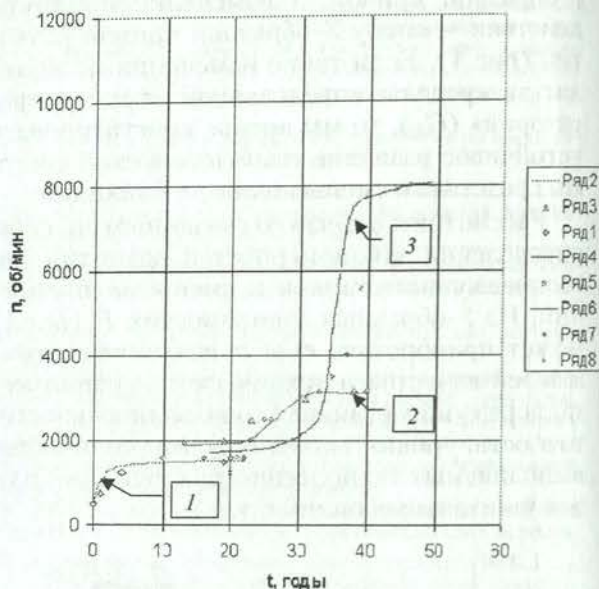


Рис. 3. S-образные закономерности смены поколений токарных станков: ряд 1 – универсальные токарные станки, работающие преимущественно по силовой схеме резания (2-й ряд – функция); ряд 3 – быстроходные токарные универсальные станки (4-й ряд – функция); ряд 5 – станки с ЧПУ и мехатронные токарные станки (6-й ряд – функция); годы: 0 – 1950-й, 10 – 1960-й, 20 – 1970-й, 30 – 1980-й, 40 – 1990-й, 50 – 2000-й. В 7 ряду в 2003 году был только один станок нового поколения (8-й ряд – функцию по одной точке провести не представляется возможным)

Главным критерием технического уровня в рассматриваемом случае был фактор производительности, который определяется максимально возможным диапазоном регулирования скоростей привода главного движения по частоте вращения шпинделя («*n*» об/мин.).

Особенностью анализируемых на рис. 3 графиков, которая отличает их от типовых S-образных зависимостей, является наличие «шариажной» (от фр. *charriage* – надвинутый слой в результате горизонтального смещения (дислокации)) S-образной кривой (2). Такая дислокация возникла вследствие запаздывания в станкостроении XX века распространения технологических инноваций, связанных с последовательным появлением инструментальных сталей, быстрорежущих сталей, литых твердых сплавов, металлокерамических твердых сплавов, минералокерамики, других сверхтвердых материалов и инструментов с многослойными износостойкими покрытиями. Названная замена инструментальных материалов позволила многократно увеличить

скорости резания, например, в десятки раз, при продвижении перечисленных материалов начиная от инструментальных сталей.

«Шариажные» S-образные зависимости в отличие от типовых случаев инноватики приводили не к изменению принципа действия металлорежущего оборудования и смене поколения металлорежущих станков, а только к изменению структуры технологической системы «станок–приспособление–инструмент–деталь» путем расширения диапазона регулирования скоростей преимущественно в пределах силовой схемы резания металлов и возможностей подшипников качения шпиндельного узла станка. По такой схеме получили развитие быстроходные станки (S-образная кривая 2 на рис. 3), которые были ориентированы на технологическое обеспечение названных выше новаций в металлообработке.

Реальные технологические сдвиги, технологические прорывы (разрывы в S-образных кривых смены техники и технологий) с изменением принципа действия станков стали возможны при переходе к токарным станкам с ЧПУ и мехатронным станкам (S-образная кривая 3 на рис. 3). Такой переход, как видно из рисунка, обеспечивает возможности многократного роста производительности механообработки.

При анализе S-образных закономерностей смены поколений токарных станков важно иметь в виду, что кривые построены по точкам первых моделей установочных серий новых моделей токарных станков, т. е. по точкам первых инноваций, получивших коммерческий успех.

Таким образом, S-образная кривая каждого поколения станков является внешней эмпирической огибающей множества точек токарных станков. Внутри этой области находятся модификации токарных станков с существенно улучшенными показателями конкурентоспособности по показателям качества и технического уровня. Например, производными моделями от токарно-винторезного станка модели 1К62 являются: токарные станки моделей 16К20 ($n = 1600 \text{ мин}^{-1}$), 16К20ВФ1 ($n = 1600 \text{ мин}^{-1}$), SN500S (Словакия, $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$), КЛ-280 («Веркоп», Украина, $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$), «Энтерпрайз» (Индия, $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$) и т. д., которые производились до конца XX века.

Аналитическое представление S-образных функций смены поколений рассматриваемых металлорежущих станков может быть осуще-

ствлено путем построения различных однофакторных линий регрессии, например, с использованием тригонометрических функций вида (1), (2), (3), которые использованы для аналитического описания смены поколений токарных станков (рис. 3):

$$n_2 = 680 \cdot \arctg(t) + 500, \quad (1)$$

$$n_4 = 400 \cdot \arctg(t - 25) + 2500, \quad (2)$$

$$n_6 = 2100 \cdot \arctg(t - 35) + 4900, \quad (3)$$

где t – год выпуска установочной серии, заданный в условных единицах.

Вместе с тем, такое упрощенное описание закономерностей смены поколений техники и технологий, позволяя осуществлять укрупненное прогнозирование развития технологий, не отвечает на многие вопросы решения задач повышения технического уровня и качества анализируемой технической системы. В этой связи нередко требуется разработка многофакторных математических моделей, которые позволяют более точно оценивать динамику изменения не одного, а нескольких важных показателей технического уровня и качества анализируемой техники и технологии. Рассмотрим этот случай на примере анализа смены поколений расточных металлорежущих станков [2].

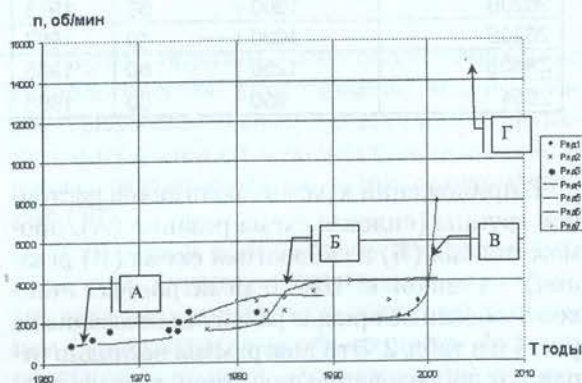


Рис. 4. S-образные закономерности смены поколений расточных мехатронных станков по показателю производительности: А – ряд 4 – универсальные расточные станки и станки с позиционной СЧПУ, работающие преимущественно по силовой схеме резания; Б – ряд 5 – быстроходные расточные станки с контурной СЧПУ; В – ряд 6 – расточные станки с контурной СЧПУ и мехатронные обрабатывающие центры с горизонтальной компоновкой шпинделя; Г – ряд 7 – в 2004 году появился станок нового поколения (ряд 8 – эмпирическую функцию по одной точке провести не представляется возможным)

Исходные данные для анализа смены поколений расточных станков

Модель	Обороты шпинделя (максимальное значение), об/мин	Погрешность позиционирования стола, мкм	Год начала выпуска модели станка	Точность позиционирования, %	Количество выполняемых функций	Уровень механизации и автоматизации в баллах	Уровень механизации и автоматизации	Обобщенный показатель технического уровня
HX250IF	30000	2	2004	99,998	9			
HX250IF	15000	2	2004	99,998	9	69	0,48	0,682
MH-400	8000	10	2001	99,99	8	68	0,47	0,601
2B622Ф4	4000	15	2000	99,985	7	61	0,42	0,535
BMC-110	3000	17	1999	99,983	7	67	0,47	0,537
ИР1250ПМФ4	2250	20	1998	99,98	7	63	0,44	0,524
ИР1250Ф40	2250	30	1997	99,97	7	61	0,42	0,520
ИС800	4000	10	1998	99,99	7	67	0,47	0,545
МС12-250М1	3000	10	1996	99,99	7	61	0,42	0,527
2204АМ1Ф4	4000	8	1992	99,992	6	61	0,42	0,514
2206ВМФ4	3500	16	1988	99,984	6	61	0,42	0,510
2204ВМФ4	2500	12	1985	99,988	6	61	0,42	0,502
6Б76ПМФ4	3150	16	1985	99,984	6	61	0,42	0,507
2А459АМ1Ф4	2500	10	1983	99,99	6	61	0,42	0,502
ИР500МФ4	3000	18	1982	99,982	6	61	0,42	0,506
ИР800МФ4	3000	20	1980	99,98	6	61	0,42	0,506
ЛР434Ф4	2000	25	1979	99,975	6	60	0,42	0,496
ГД400ПМ1Ф4	1600	40	1977	99,96	6	60	0,42	0,492
2А637Ф1	3000	15	1989	99,985	5	20	0,14	0,414
6Б76ПМФ2	2500	25	1982	99,975	5	44	0,31	0,451
2637ГФ2	2500	30	1975	99,97	5	37	0,26	0,439
2620ГФ-1	1600	35	1974	99,965	4	20	0,14	0,381
6904ВМФ2	2000	20	1974	99,98	4	44	0,31	0,426
2620В	1600	60	1973	99,94	3	13	0,09	0,348
2620Е	1600	40	1967	99,96	3	13	0,09	0,348
2А636	1250	50	1965	99,95	3	13	0,09	0,345
2654	950	80	1963	99,92	3	13	0,09	0,343

В приложении к развитию станков расточной группы (силовая схема резания (А), промежуточная (Б) и скоростная схема (В) резания) – станков с ЧПУ и мехатронных станков S-образные кривые развития показаны на рис. 4 и в табл. 2. Эти диаграммы наглядно отражают последовательную смену трех последних поколений станков данного типа.

Поколение (А) состояло из универсальных расточных станков и станков с позиционной системой числового программного управления (ЧПУ), работающих по силовой схеме резания. Усложнение форм обрабатываемых поверхностей и конфигураций деталей и требований к ним привело к появлению следующего поколения (Б) расточных станков с контурной системой ЧПУ и работающих, в основном, по силовой схеме резания. Но в этом поколении уже начинают появ-

ляться станки с увеличенным диапазоном регулирования частот вращения шпинделя до 4000 об/мин, что позволяло им приблизиться к скоростной схеме резания. Появление новых износостойких покрытий режущего инструмента, применение новых более технологичных материалов заготовок, уменьшение припусков на обработку заготовок, а также изменения кинематики приводов и конструкции опор шпинделя станков привело к переходу на высокоскоростную схему резания, реализованную в поколении (В), которое относится к мехатронным станкам.

К показателям качества (назначения) станков относят не только показатель производительности, но и показатель точности. Рассмотрим в дополнение к сказанному смену поколений расточных станков по показателю точности позиционирования стола станка.

В паспортных данных металлорежущих станков, как правило, приводятся характеристики погрешности позиционирования стола станка на базовой длине. Различные изготовители в качестве базовой длины используют 100, 200 или 1000 мм. Погрешность позиционирования стола станка можно преобразовать в относительный показатель точности, выраженный в процентах, который получим по следующей формуле:

$$\delta = \left(1 - \frac{\Delta}{L_{\text{баз}}}\right) \cdot 100, \quad \% \quad (4)$$

где δ – показатель точности; Δ – погрешность позиционирования стола станка, мм; $L_{\text{баз}}$ – базовая длина, мм.

Для той же анализируемой совокупности отечественных и зарубежных станков (табл. 2.) S-образные зависимости смены поколений металлорежущих станков принимают следующий вид, рис. 5.

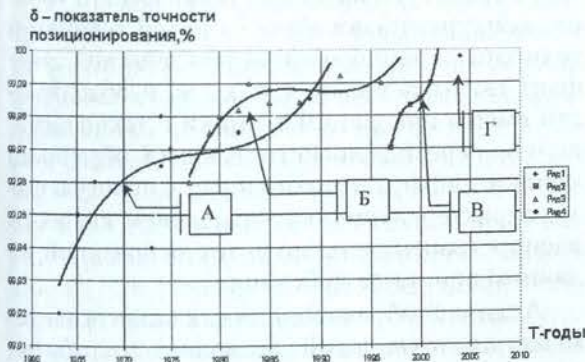


Рис. 5. S-образные закономерности смены поколений расточных мехатронных станков по показателю точности: А – ряд 1 – универсальные расточные станки и станки с позиционной СЧПУ; Б – ряд 2 – быстроходные расточные станки с контурной СЧПУ; В – ряд 3 – расточные станки с контурной СЧПУ и мехатронные обрабатывающие центры с горизонтальной компоновкой шпинделя; Г – ряд 4 – в 2004 году появился станок нового поколения (эмпирическую функцию по одной точке провести не представляется возможным)

Полученные эмпирические функции полиномиального типа имеют следующий вид:

$$\delta_A = 10^{-5}t^3 - 0,06t^2 + 122t - 80054, \% \quad (5)$$

$$\delta_B = 2 \cdot 10^{-5}t^3 - 0,1t^2 + 204t - 135113, \% \quad (6)$$

$$\delta_V = 0,0008t^3 - 5t^2 + 10000t - 7 \cdot 10^6, \% \quad (7)$$

Критерий технического уровня – многогранное понятие, включающее в себя большой спектр показателей: от показателей назначения (производительности, точности, ...)

и надежности до эргономических показателей и коэффициентов, характеризующих технологичность конструкции изделия. К показателям технического уровня в этой связи можно отнести показатели функциональности (они количественно характеризуют число выполняемых функций), уровня автоматизации и другие. Применительно к металлорежущему оборудованию расчет таких показателей также показывает наличие локальных S-образных закономерностей смены поколений металлорежущих станков (рис. 6, 7).



Рис. 6. S-образные закономерности смены поколений расточных мехатронных станков по показателю относительной функциональности

Таким образом, многофункциональное технологическое оборудование можно охарактеризовать числом выполняемых функций и их долей от максимально возможного числа совмещаемых на одном станке функций (Φ).

Переходя к обобщенному критерию технического уровня, можно произвести мультипликативную свертку показателей назначения (производительность, точность, функциональность, уровень автоматизации) в обобщенный критерий.

После расчета обобщенного параметра построим «суммарные» кривые развития станков расточной группы по различным частным показателям технического уровня (Y_T) и проследим смену поколений таких станков. Полученные эмпирические функции имеют следующий вид:

$$\epsilon_{\Sigma B} = 0,07 \operatorname{arctg}(t - 2001) + 0,6; \quad (8)$$

$$\epsilon_{\Sigma B} = 0,015 \operatorname{arctg}(t - 1988) + 0,51; \quad (9)$$

$$\epsilon_{\Sigma B} = 0,04 \operatorname{arctg}(t - 1974) + 0,35. \quad (10)$$



Ya - уровень автоматизации

Рис. 7. S-образные закономерности смены поколений расточных мехатронных станков по уровню автоматизации

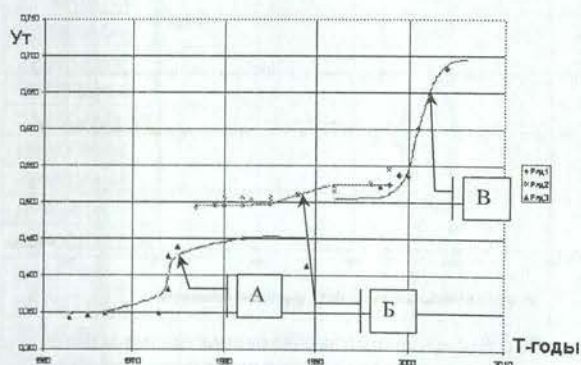


Рис. 8. S-образные закономерности смены поколений расточных мехатронных станков по обобщенному показателю технического уровня ($Y_t = \epsilon \Sigma I$): А — ряд 1 — универсальные расточные станки и станки с позиционной СЧПУ; Б — ряд 2 — быстроходные расточные станки с контурной СЧПУ; В — ряд 3 — расточные станки с контурной СЧПУ и мехатронные обрабатывающие центры с горизонтальной компоновкой шпинделя

Кроме показателей технического уровня и качества на положении новой техники и технологии относительно S-образной кривой развития сказываются и другие закономерности, которые обобщают научный закон смены поколений техники и технологии.

Использование рассмотренных выше закономерностей позволяет модифицировать технику и технологии, повышать конкурентоспособность продукции, технологий и услуг, что обеспечивает продвижение таких технологий на рынок, к потребителям с учетом следующих закономерностей диффузии технологии (табл. 3). При этом диффузия инноваций — это процесс их распространения в ходе коммерциализации новых технологий. S-образные кривые в данном случае называют «кривыми замещения» технологий.

Известны и другие математические модели замещения или диффузии технологий.

Смысл таких кривых развития (кривых замещения технологий) определяется тем, что затраты на разработку новшества на начальной стадии его жизненного цикла дают обычно низкую отдачу, результативность новой технологии несущественно превышает результативность техники и технологии предшествующего поколения. Затем за счет научно-исследовательских работ, НИОКР, развития изобретательской и рационализаторской деятельности появляются новые модели, промышленные образцы, устройства и способы, которые существенно повышают конкурентоспособность технологии данного принципа действия. По этой причине распространенность инновации начинает резко повышаться. На заключительных стадиях жизненного цикла инновации происходит «старение» технологии данного принципа действия, что проявляется в несущественном повышении параметров качества, технического уровня, конкурентоспособности новой техники и технологии данного принципа действия. Этот факт сказывается не только на необходимости смены поколений техники и технологии, но и на переходе логистических (S-образных) кривых диффузии технологии в пологую фазу, характеризующую сокращением скорости распространения технологии, основанной на данном принципе действия.

Анализ S-образных кривых развития и замещения технологий позволяет разрабатывать новые стратегии развития инновационной деятельности, определять государственные, отраслевые и региональные научно-технические приоритеты, способы налогового и кредитного регулирования в прорывных областях инновационной деятельности, создавать условия повышения инновационной и предпринимательской активности, менять отношение к инновациям.

В исследовании колебаний инновационной деятельности иногда используют не только отдельные S-образные кривые замещения технологий, но и более сложные зависимости и математические модели на всем множестве таких кривых смены поколений техники и технологий. Для этих целей может быть использован математический аппарат спектрального и кросс-спектрального анализа [6], суть которого состоит в анализе вариаций временных рядов в частотном диапазоне.

Таблица 3

Модели «кривых замещения» технологий

№	Наименование	Вид закономерности	Условные обозначения
1	S-образная кривая Перла [3] ¹	$Y_t = L / (1 + ae^{-(k+bt)})$	Y_t — величина переменной по временной точке t ; t — фактор времени; a, k, b — числовые параметры (константы); L — верхний предел переменной Y ; e — основание натурального логарифма
2	Несимметричная S-образная кривая Гомпертца [3]	$y_t = ka^{bt}$	y_t — величина переменной по временной точке t ; t — фактор времени; a, k, b — числовые параметры (константы); e — основание натурального логарифма
3	S-образная кривая А. Ф. Каменева [4]	$K = \frac{L}{a+e^{bc-d \cdot T}}$	L, a, b, c, d — коэффициенты, отражающие специфику изменения критерия эффективности (K) для рассматриваемого класса технологических систем; T — время в годах; e — основание натурального логарифма

¹Черная металлургия, угольная промышленность, железнодорожный транспорт, пивоваренная промышленность. Например, для нововведения «скоростной наполнитель бутылок» $Y_t = 16 / (1 + e^{-(20,58+0,36t)})$

В основе спектрального и кросс-спектрального анализа лежит предположение, в силу которого стационарные временные ряды могут быть разложены на несколько некоррелированных компонентов, каждому из которых соответствует определенный период или частота. При анализе технологических циклов смены поколений техники и технологий в названной работе применяется Фурье-анализ. Он основан на использовании взвешенных кросскорреляционных функций Парзена и требует применения сложного математического аппарата. Полученные в результате такого анализа функции спектральной плотности или автоспектра позволяют оценить относительную значимость каждого частотного диапазона с точки зрения «вклада» соответствующего ему компонента в общую колебательную динамику временного ряда. Названные методы являются обобщающими в отношении нескольких S-образных кривых замещений разных поколений техники и технологий, но из-за высокой сложности математического аппарата при несущественном росте достоверности результатов анализа трендов развития таких технологий они не получили широкого применения в инновационной деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что развитие металлорежущих станков подчиняется S-образным закономерностям, которые позволяют определить условия смены поколений металлорежущих

станков и переход к развитию критических мехатронных технологий.

Установленные закономерности развития высоких и критических технологий, в частности мехатронных технологий станкостроения, позволяют их использовать не только в технологическом прогнозировании, но и при создании базы данных АРМ-технолога нового поколения для разработки проектных и перспективных технологических процессов в машиностроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селиванов, С. Г. Инновационные закономерности подготовки производства оборудования с ЧПУ и мехатронных станков / С. Г. Селиванов, В. С. Асеев, О. Л. Гмызова, В. М. Магасумов // Вклад науки Республики Башкортостан в реальный сектор экономики. Уфа, 2003. С. 151–155.
2. Селиванов, С. Г. Закономерности разработки высоких и критических технологий для технического перевооружения машиностроительного производства / С. Г. Селиванов, А. Н. Петров // Проблемы машиноведения и критических технологий в машиностроительном комплексе РБ: сб. науч. тр. Уфа: Гилем, 2005.
3. Аньшина, В. М. Инновационный менеджмент: концепции, многоуровневые стратегии и механизмы инновационного развития: учеб. пособие / под ред. В. М. Аньшина, А. А. Дагаева. 2-е изд. М.: Дело, 2006. С. 86, 499.
4. Селиванов, С. Г. Технологическая инноватика / С. Г. Селиванов. М.: Наука, 2004. С. 79.

5. **Sahal, D.** PatternS of Technological Innovation / D. Sahal. New York Univ., 1981. 366 p.

ОБ АВТОРАХ



Селиванов Сергей Григорьевич, проф., каф. технол. машиностроения. Дипл. инж. по автоматиз. и комплексн. механиз. машиностроения (УЛИ, 1970). Д-р техн. наук по технол. машиностроения (Мосстанкин, 1991). Иссл. в обл. технол. подготовки, реконструкции, теории организации производства.



Петров Александр Николаевич, инж. ОАО «УМПО». Дипл. инж. (УГАТУ, 2005) и дипл. магистр техн. и технол. (УГАТУ, 2006) по технол. машиностроения.



Нургалиев Азат Ахатович, инженер ОАО «УМПО». Дипл. инж. (УГАТУ, 2005) и дипл. магистр техн. и технол. (УГАТУ, 2006) по технол. машиностроения.