

Классификация технологий, оборудования и металлорежущих станков. Эволюция и развитие

А. П. Кузнецов

Приведен анализ и эволюция подходов к методам классификации технологий и оборудования, рассмотрены состояние, базовые градации и особенности существующих классов и видов технологий и оборудования, в частности металлорежущих станков. Предложены концептуальные положения, принципы, структуры, а также дана методика построения многоуровневой системы классификации технологий, технологических методов и процессов обработки изделий, технологического оборудования и производственных систем, которые базируются и описываются энергоинформационной моделью, реализующей физические явления и эффекты.

Ключевые слова:

классификатор, энерго-информационная модель, технологии, производственные процессы, металлообрабатывающее оборудование

УДК 621.9 | ВАК 2.5.5

DOI: 10.22184/2499-9407.2023.31.2.50.72

«Формальная логика есть не что иное, как учение о свойствах, общих для всякой классификации».

А. Пуанкаре

«Прежде всего научись каждую вещь называть ее именем: это первая и важнейшая из всех наук».

Пифагор Самосский

Процесс развития науки (знаний), техники, технологий, оборудования и производств происходит одновременно по общим закономерностям, с разной скоростью, взаимосвязано и взаимообусловлено. Одновременно с этим развиваются и их видовые, функциональные, конструктивные решения, построения, конфигурации, а также производственные разнообразия и разновидности их использования

и применения. Обобщение знаний о характерных особенностях этого процесса позволяет их систематизировать, стандартизировать, выделяя общие принципы, классифицировать устойчивые свойства и состояния на разных уровнях общности, что определяет и укрепляет понимание условий, методов, способов, направлений и прогнозов изменений как частей, так и систем.

Так, например, известны классификация шести экономических циклов разной длительности (Дж. Китчина – до 5 лет, К. Жугляра – до 15 лет, С. Кузнецца – до 25 лет, Н. Кондратьева – до 60 лет) [1], шести технологических укладов (рис. 1а) [2], индустриальных этапов развития: «Индустрия 1.0» (1784–1870 гг.); 2.0 (1870–1969 гг.); 3.0 (1969–2016 гг.); 4.0 (2016 – н.в.) и до 5.0, а также новая модель эволюции технологий (рис. 1б) и технологических укладов в парадигме глобального будущего и «зеленого» развития [3].

В настоящее время считается, что мировая экономика в своем развитии прошла пять технологических укладов и приближается к шестому технологическому укладу (подробно см.: СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2017. № 3).

Приведенные выше классификации обусловлены и определены основными признаками их появления и разделения, которыми, в первую очередь, являются новые технологии, соответствующие им новые виды машин, оборудования и производственных систем, а ядром применения новых технологий являются новые отрасли. Иными словами, при таком рассмотрении классификационных признаков просматриваются **методы реализации взаимосвязанного преобразования энергии, материи и информации.**

Обращает на себя внимание тот факт, что количество новых технологий, предположительно, увеличивается на порядок в каждом новом технологическом укладе. Переход к новому технологическому оборудованию происходит при следующих наиболее вероятных циклах исчерпания возможностей конструкции:

- а) при неизменном принципе действия улучшаются параметры, характеристики, свойства технического объекта (оборудования, машины) до приближения их к оптимальным или эффективным;

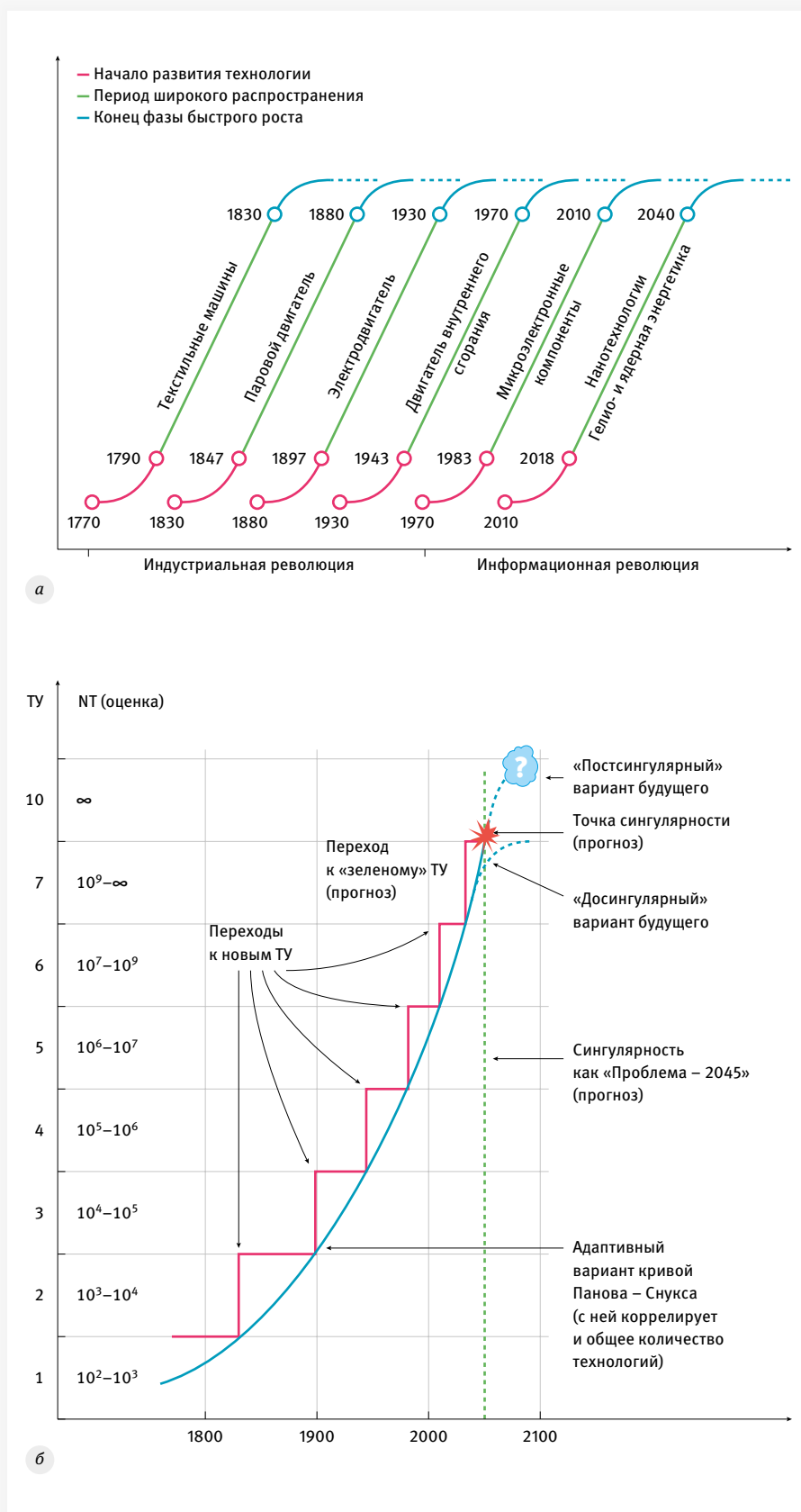


Рис. 1. Схема видов и период развития технологических укладов (а) [2] и модель эволюции технологий и технологических укладов (б) [3]

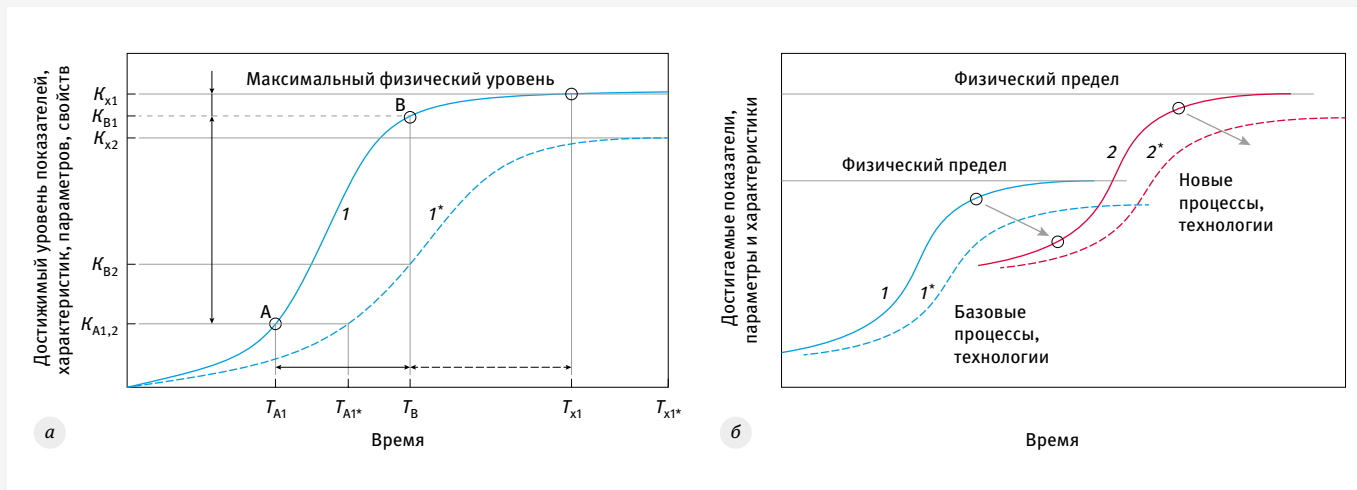


Рис. 2. Схема модели эволюционного S-развития: а – технологии и технологического оборудования (1 – идеальная, 1* – реальная); б – базовой и новой технологии и оборудования (1, 2 – идеальная, 1*, 2* – реальная)

- б) после исчерпания возможностей улучшения по циклу «а» происходит переход к более рациональной структуре, после чего развитие опять идет по циклу «а» до приближения параметров, характеристик, свойств технического объекта этой структуры к глобальному экстремуму или пределу для данного принципа действия;
- с) после исчерпания возможностей циклов «а» и «б» осуществляется переход к созданию технического объекта на другом принципе или физической природе действия.

Развитие технологического объекта по описанному сценарию иллюстрируется S-образной кривой (рис. 2а), которое и происходит до уровня K_x достижения предельных показателей, параметров, характеристик, свойств, а также возможностей физического явления и применяемого в оборудовании физического принципа действия. В моменты T_A и T_B появляется новый технологический объект на одном и том же физическом принципе действия. Возможности развития определяются расстоянием от K_x до K_A и K_B , то есть степенью достижения предельного уровня. Очевидно, что технологический объект **В** улучшать не имеет большого технического и экономического смысла и нужно переходить на другой принцип его действия, так как время (затраты) на развитие $T_x - T_B$ от уровня K_B до K_x существенно превышают изменение достигаемого эффекта ($K_x - K_B$), в отличие от предыдущих соотношений затрат (времени) $T_B - T_A$ и изменения ($K_B - K_A$) в получаемом эффекте. В действительности (рис. 2а, кривая 1*) реализация этой схемы развития технологического объекта и его промышленного применения происходит по близкой или похожей схеме с отставанием как по времени, так и по величине достижения значений физически достижимых параметров

и характеристик (кривая 1). Отношение $E = K_{x1} / K_{x1}$ является показателем эффективности технологического процесса или оборудования по достигаемым показателям физического явления или процесса.

Эволюция достижимых параметров технологического оборудования обусловлена, в первую очередь, потребностями и направлениями развития общества и промышленности. Это определяет необходимый уровень развития технологий и самой техники (требования к ее деталям, узлам, механизмам, устройствам и системам), потенциал технологий и используемые ими физические принципы.

Развитие технологий и технологического оборудования идет в направлении приближения к физико-технической идеальности и увеличения полезных характеристик и свойств (мощности, производительности, точности, жесткости, прочности и т. п.), с одновременным снижением потерь при функционировании (трение, износ, вибрации и т. д.) и затрат (вес, трудоемкость, габариты и т. п.). В то же время, относительные показатели технологического оборудования (КПД, эффективность, надежность) и удельные показатели определяют обобщенные или интегральные свойства. Технические и физические характеристики технологий и оборудования являются наиболее важным фактором, определяющим их эффективность, конкурентоспособность и прогрессивность.

Каждый раз, когда прогресс производственной технологии уже не может обеспечить значительный рост производительности и эффективности, на смену существующему технологическому оборудованию приходит новое – более совершенной конструкции. Развитие технологий и машин есть сочетание непрерывного прогресса самой технологии с периодическими революционными преобразованиями конструкции.



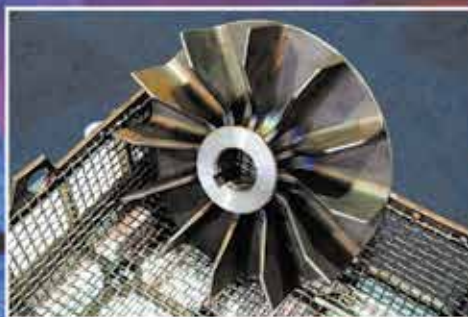
ТЕРМООБРАБОТКА

Шестнадцатая международная специализированная выставка

Единственная в России выставка
термического оборудования и технологий

12 - 14 сентября 2023

Россия, Москва, ЦВК "Экспоцентр", павильон 7



Основные разделы:

- » Оборудование для термической и химико-термической обработки
- » Промышленные печи и сушильные шкафы
- » Жаропрочная оснастка
- » Индукционное оборудование
- » Огнеупорные и теплоизоляционные материалы
- » Изделия из графита, углеродного волокна и углерод-углеродных композитов
- » Лабораторное и контрольно-измерительное оборудование
- » Вакуумная техника
- » Автоматизация производства

Организатор:



Независимый
аудиторский
аудит

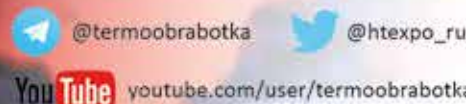


В рамках выставки "Термообработка - 2023" 13 сентября пройдёт
**Шестнадцатая международная научно-практическая конференция
"Инновационные технологии термообработки"**
Место проведения: Москва, ЦВК "Экспоцентр", павильон 7, конференц-зал

Информационная поддержка:



Официальный сайт выставки:
www.htexporus.ru



Идеальным считается технологическое оборудование, максимально полно использующее потенциал физических процессов, а также возможностей конструкции, реализующих этот физико-технический потенциал.

Научной основой создания новых технологий служат:

- открытие и/или использование в новом сочетании неизвестных (не применяемых) ранее физических процессов, способов воздействия на материал, на практике это приводит к разработке новых высоких технологий с уникальными возможностями;
- непрерывное совершенствование широко применяемых в промышленности методов, способов и средств в следующих направлениях:
 - разработка технологического оборудования и устройств с расширенными функциональными возможностями;
 - совершенствование конструкций, инструментов и материалов;
 - улучшение технологических свойств обрабатываемых материалов;
 - оптимизация параметров;
 - использование дополнительных источников энергии и др.;
- познание новых, ранее неизученных или неизвестных процессов и явлений, либо физических механизмов того или иного метода.

Поэтому систематизация знаний состояния и развития технологий и оборудования, их конструктивного и иного разнообразия, потребность в этом знании для целей эффективного планирования развития определяет объективную необходимость в разработке классификаций и классификаторов, хотя сам этот процесс является достаточно сложным и далеко не всегда очевидным.

Классификацию от самого точного и совершенного описания объекта отличает наличие трех отчетливо обозначенных структурных элементов:

- множества установленных групп подобных объектов;
- обоснованных оснований, по которым объекты объединяются в группы;
- принципа или закона, согласно которому все группы соединяются, организуются в единую структуру и систему.

Приведем предлагаемую «Аксиоматику классификации»:

- множество аналогичных или подобных объектов, предметов, процессов, явлений являются базой классификации;
- отличительные или общие признаки, принципы, свойства, функции или закономерности описания элементов множества служат для их объединения/разделения в подмножества и/или в систему;
- минимизация количества и разнообразия границ видового изменения признаков, принципов, свойств, функций или закономерностей описания;

- **понятие** – минимум наиболее общих и в то же время наиболее характерных отличительных признаков, которые необходимы для выделения и распознавания предмета, явления или процесса, являющегося элементом множества;
- **содержание понятия** – совокупность необходимых и достаточных признаков (свойств), чтобы отделить данный класс предметов, явлений или процессов;
- **сущность** – определяющий набор признаков (свойств) предмета, явления или процесса;
- **термин** – наименование понятия, отражающее его содержание, относящееся к определенной отрасли знания, техники и технологий;
- **терминология** – система понятий, относящаяся к определенной отрасли знания, техники и технологий, закрепляющих в словесном выражении тот или иной смысловой образ предмета, явления или процесса.

Классификатор – состоявшаяся система знания, понятия которого означают упорядоченные множества (группы), по которым распределены объекты, предметы, процессы, явления относящиеся к определенной отрасли знания, техники и технологии на основании их сходства в определенных отличительных признаках (свойствах).

Ниже рассмотрим существующие системно сформулированные классификации технологий, машин, технологического оборудования и производственных систем.

И. И. Артоболевский ввел общую системную модель технологий – проектирование машин и оборудования, которая основывается на моделях и реализует технологию [4]: «Машина – это устройство, выполняющее механические движения, преобразующие материю, энергию, информацию». Исходя из этого, все виды машин разделены на следующие виды:

- информационные (контрольно-управляющие и математические);
- кибернетические;
- энергетические;
- рабочие (транспортные и технологические).

Таким образом, в основу системы классификации положены элементы (материя, энергия и информация) без определения их видов и типа отношений между ними.

Л. Н. Кошкин [5, 6] предложил классифицировать технологические машины по сочетанию совершаемых функций в процессе изготовления изделий:

- технологического движения (обработку предмета);
- транспортного движения (подачу предмета обработки в рабочую зону).

То есть в основу классификации положен характер отношений транспортного и технологического движений (как элементов системы) между собой и их влияние на конструктивные особенности машин и их производительность.

Таким образом, сформировано четыре класса машин:

- **1 класс** – обработка предмета происходит только после завершения его транспортного движения (например, пресса, станки);
- **2 класс** – совпадение транспортного и технологического движений, когда транспортная и технологические скорости равны между собой (например, бесцентрово-шлифовальные станки, накатные станки);
- **3 класс** – независимость транспортного и технологического движений, обработка происходит в процессе непрерывного транспортирования предмета и инструмента (например, роторные машины);
- **4 класс** – независимость скорости транспортного движения от технологической скорости и от других параметров технологической операции, а понятие обрабатывающий инструмент заменяется обрабатывающей средой, которая воздействует на весь поток предметов обработки (например, шнековые и барабанные агрегаты для термической или химической обработки).

Приведенные классификации можно охарактеризовать как высшего или первого уровня значимости.

Рассмотрим классификацию металлорежущих станков, в качестве представляющих наиболее широко используемый в промышленности технологический метод обработки. ЭНИМС предложил не имеющую зарубежных аналогов классификацию станков (табл. 1), формально не являющуюся стандартом, а только рекомендациями, которые достаточно актуальны до настоящего времени.

Существующая классификация металлорежущих станков основана на реализации станком какой-либо одной кинематической схемы или процесса резания. Каждая группа станков (1–9) получила название по методу, который реализует кинематическую схему резания: токарные, сверлильные, фрезерные, расточные, строгальные, долбежные станки. Названия других групп станков соответствуют виду метода реализуемого процесса обработки – шлифование, хонингование, протягивание, либо виду обрабатываемого изделия – зубо- и резьбообрабатывающие станки всех типов, либо физическому методу реализуемой технологии удаления материала. Очевидно, что эта привычная классификация станков основана на рассмотрении элементов разного уровня общей системы процесса резания. Заметим, что в каждой группе станков осуществляется только один вид движения в рамках физического процесса деформирования материала: линейное или вращательное, при этом кинематические схемы резания различны.

Помимо этого, иные уровни классификации определяют виды станков по признаку точности (пять видов), массе станка (пять видов), степени или уровню автоматизации (четыре вида), универсальности (четыре вида). Такая

классификация позволяла каждой модели станка дать соответствующее буквенно-цифровое обозначение.

Такой подход можно определить как формирование (констатация) множества групп разных принципов объединения из существующего множества производимых (уже существующих) станков, а резервные наименования группы и типов отнесены к сфере неопределенности развития. То есть классификация построена не на определении системных принципов определения элементов множеств и их связей, а на делении существующего устоявшегося множества понятий по более или менее однородным признакам и отнесении их к определенным уровням базовых характеристик.

Так, например, с появлением станков, в которых одновременно или последовательно используются разные методы обработки, разными инструментами, каждый из которых осуществляет независимо от другого линейное и/или вращательное движение (например, токарно-фрезерные центры, токарно-шлифовальные станки и др.), возникла необходимость дополнения традиционной классификации. В частности, образовалась группа станков под общим названием «многофункциональные станки» (Multi-functional MachineTool), Кроме этого появился класс «многозадачных» станков (Multitask MachineTool), в которых, кроме процесса резания, используются другие физические принципы изменения свойств детали, в том числе аддитивная, лазерная обработка и т. п. Такое видовое многообразие постоянно увеличивается.

С этой точки зрения, целесообразно ввести дополнения и изменения, не нарушая исходной целостности классификации, групп и типов оборудования, отражающих не только кинематическую схему технологического метода обработки (точение, сверление и т. п., количество которых недостаточно велико), но, в первую очередь, физические принципы и процессы, реализуемые этим оборудованием:

- **комбинированные станки** – технологическое оборудование, которое на одной неподвижной станине обеспечивает обработку детали разными технологическими методами, реализация которых имеет одну физическую природу, в том числе с параллельными и последовательно-параллельными сочетаниями различных физических процессов при сохранении одного технологического метода и его физической природы;
- **гибридные станки** – технологическое оборудование, которое на одной неподвижной станине обеспечивает обработку детали разными технологическими методами, реализация которых имеет различную физическую природу.

Существуют также иные классификаторы металлообрабатывающего оборудования:

- по ОК 034-2014 (КПЕС 2008) в редакции от 1 октября 2022 года (3 группы 28.41.1-28.41.3 и 41 вид металлообрабатывающих станков);

Таблица 1. Классификация металлорежущих станков ЭНИМС

Наименование станков	Шифр группы										
	Шифр типа										9
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Резервные	0	–									
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы:			Токарно-револьверные	Сверлильноотрезные	Карусельные	Токарные и лобовые	Многорезцевые и копировальные	Специализированные	Разные токарные
		специализированные	одношпиндельные	многшпиндельные							
Сверлильные и расточные	2	–	Вертикально-сверлильные	Полуавтоматы		Координатно-расточные	Радиально-сверлильные	Горизонтально-расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
				одношпиндельные	многшпиндельные						
Шлифовальные и доводочные	3		Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные шлифовальные	–	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные, полировальные, хонинговальные, доводочные	Разные образивные
Электрофизические и электрохимические	4	–		Светолучевые	–	Электрохимические	Электроискровые	–	Электроэрозионные, ультразвуковые прошивочные	Анодомеханические отрезные	–
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Резьбонарезные	Зубодолбежные для обработки цилиндрических колес	Зуборезные для обработки конических колес	Зубофрезерные для обработки цилиндрических колес и шлицевых валов	Для нарезания червячных колес	Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные, проверочные и обкатные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Фрезерные	6	–	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	Продольные одно-стоечные	Копировальные и гравировальные	Вертикальные безконсольные	Продольные двух-стоечные	Консольнофрезерные операционные	Горизонтально-фрезерные консольные	Разные фрезерные
Строгальные, долбежные, протяжные	7	Продольные		Поперечно-строгальные	Долбежные	Протяжные горизонтальные	Протяжные вертикальные для протягивания		–	Разные строгальные	
		одностоечные	двухстоечные				внутреннего	наружного			
Разрезные	8	Отрезные, оснащенные			Правильно-отрезные	Пилы			–	–	
		токарным резцом	шлифовальным кругом	гладким или насеченным диском		ленточные	дисковые	ножовочные			
Разные	9	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекальные	Правильно- и безцентровообдирочные	Балансировочные	Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные	–	–	



06-08 ИЮНЯ
МОСКВА
РОССИЯ

2023

Место проведения:



12+

ЛИТМАШ

Международная выставка литейных технологий,
материалов и продукции

МЕТАЛЛУРГИЯ

Международная выставка металлургических технологий,
процессов и металлопродукции

Специальная экспозиция

ТРУБЫ РОССИЯ 2023

www.metallurgy-russia.ru
www.litmash-russia.ru

Металл-Экспо
Тел.: +7 (495) 734-99-66



- по ТН ВЭД 2022 (материалообрабатывающие – код 8456–8465, из них металлорежущие станки – код 8456–8461);
- ОКВЭД (код 28.4, 28.41, 28.42);
- по ОКС (10 групп – код 25.080.01–25.080.99);
- патентная МПК (код В23В, В23Q, В24В),

в которых в разной степени соответствия и единства приведены классы, группы и подгруппы, виды и подвиды станков и технологического оборудования. Эти классификаторы базируются на достаточно обобщенных принципах физических процессов изменения свойств детали и / или по принципу удаления материала и / или формоизменения, с частичным применением групп оборудования по классификации ЭНИМС.

Приведем еще один пример классификации технологий и оборудования как процесс производства геометрически определенных твердых тел – стандарт DIN 8580-2003-09 «Классификация производственных процессов» (включая металлорежущие станки), в основу которой положена последовательность изменения размеров, формы или свойств исходного материала.

В стандарте DIN 8580-2003-09 технологические процессы классифицируют следующие виды технологий (шесть уровней) на глубину в три (четыре) подуровня:

1. первичное формообразование – заготовительные (в основном литейные виды);
2. технологии пластического деформирования материала;
3. обработка резанием (второй подуровень):
 - 3.1. процессы резки, вырубки;
 - 3.2. резание геометрически определенными режущими кромками – лезвием;
 - 3.3. резание геометрически не определенными режущими кромками – абразивная обработка;
 - 3.4. нетрадиционная обработка – электрохимико-физическая обработка;
 - 3.5. демонтаж – извлечение;
 - 3.6. очистка поверхностей;
4. процессы сварки, сборочные процессы;
5. нанесение покрытий;
6. изменение свойств материала.

То есть в основу положена структура связей материала как устойчивой системы:

- 1 – связи, образующие новый материальный объект,
- 2 – связи сохраняющие,
- 3 – связи разрушающие,
- 4, 5 – связи увеличивающие,
- 6 – изменяющие свойства внутренних связей материала.

Иными словами, в основу положены виды внутренних связей и их отношения, а в качестве элементов приняты атомарное или молекулярное строение материи.

Для сопоставления с классификацией ЭНИМС рассмотрим далее в DIN 8580-2003-09 второй подуровень, который

классифицируется по видам технологических методов или схем обработки резанием (третий подуровень), например:

- 3.2.1. точение;
- 3.2.2. сверление;
 - 3.2.2.1. сверление;
 - 3.2.2.2. расточка;
 - 3.2.2.3. рассверливание;
- 3.2.3. фрезерование;
- 3.2.4. строгание;
- 3.2.5. зенкование;
- 3.2.6. пиление;
- 3.2.7. напильник, рашпиль;
- 3.2.8. щетка для механообработки;
- 3.2.9. протягивание.

В свою очередь, второй подуровень классификации более детально описывается в отдельных стандартах под общим названием «Производственные процессы (наименование второго подуровня процесса). Классификация, подразделение, термины и определения». Например, для класса 3 созданы стандарты для подуровней:

- 3.1 – DIN 8588;
- 3.2 – DIN 8589-0;
- 3.3 – DIN 8589-0;
- 3.4 – DIN 8590;
- 3.5 – DIN 8591;
- 3.6 – DIN 8592.

В соответствии с классификацией по DIN 8580-2003-09 и связанными с ней дополнительными классификациями присваиваются наименования станков и технологического оборудования.

Таким образом, из этого рассмотрения классификаций следует, что их достаточно большая общность и не меньшее различие обусловлены и определяются положенными в основу базовыми физическими процессами и явлениями, структурными, системными принципами рассмотрения и сущностной формой объединения элементов рассматриваемого множества объектов и их свойств.

В табл. 2 приведены, исходя из доступных источников, наиболее общие классификации технологических процессов и, как следствие, применяемого в них технологического оборудования.

В России существует ГОСТ 3.1109-82.ЕСТД «Термины и определения основных понятий», а также классификатор I 85151 «Технологических операций машино- и приборостроения» (1987 г.), но они не являются в полном смысле обоснованным классификатором ни техпроцессов, ни оборудования, ни станков, а преследуют иные цели.

Таким образом, с точки зрения системного единства, предлагаемые системы классификации, схемы построения, формирования, описания и обобщений технологических процессов выполняют важную концептуальную роль в понимании, анализе, развитии и прогнозе направлений их



МЕЖДУНАРОДНЫЙ САЛОН

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2023

31 мая – 3 июня
ПАТРИОТ ЭКСПО

ОРГАНИЗАТОР
САЛОНА



ОПЕРАТОР
САЛОНА



МКВ

www.isse-russia.ru

Таблица 2. Характеристики и принципы классификации технологий и технологических процессов

Классификация	Принцип классификации	Критерий классификации
Де Гармо П. (E. Paul DeGarmo, J. T. Black, Ronald A. Kohser), 1984 г., (США)	7 групп процессов (технологий) обработки: <ul style="list-style-type: none"> • литье или прессование; • формоизменение или резка; • обработка (удаление материала); • термообработка; • финишная обработка; • сборка; • контроль 	Литье. Формоизменение, свойства материала
Тодд Р. (R. H. Todd, K. Allen, L. Alting), 1993 г. (США)	6 групп процессов формообразования: <ul style="list-style-type: none"> • уменьшение массы; • тепловое уменьшение массы, • химическое уменьшение массы, • сохранение массы, • объединение, • соединение. 4 группы процессов обработки: <ul style="list-style-type: none"> • упрочнение; • размягчение; • подготовка поверхности; • нанесение покрытий 	Форма: <ul style="list-style-type: none"> • изменяется • не изменяется
Национальный исследовательский совет NRC, 1995 г. (США)	5 групп физических процессов: <ul style="list-style-type: none"> • изменения массы; • фазовых изменений; • структурных изменений; • деформирования; • объединения 	Физическое изменение
Стандарт. DIN 8580-2003-09. Производственные процессы. Термины и классификация. (Германия)	6 групп процессов (154 технологии или метода) обработки*: <ul style="list-style-type: none"> • первичное формообразование (27 методов); • пластическое формообразование (20 методов); • отделение материала (39 методов); • соединение (31 метод); • нанесение покрытий и финишная обработка (19 методов); • изменение свойств материала (18 методов) 	Формообразование. Изменение свойства материалов
Эшби М. (M. F. Ashby), 2005 г. (Великобритания)	4 группы процессов (технологий) обработки: <ul style="list-style-type: none"> • процессы первичного формообразования; • процессы вторичного формообразования; • соединение; • финишная обработка 	Первичные и вторичные процессы
Калпакян С., Шмид С. (S. Kalpakjian, S. R. Schmid), 2009 г., (США)	6 групп процессов (технологий) обработки: <ul style="list-style-type: none"> • литье; • формование и формообразование; • обработка (механическая); • соединение; • отделка; • микро- и нанобработка 	Первичные и вторичные процессы
А.П. Кузнецов (A. P. Kuznetsov); Г-Й. Кориат (H.-J. Koriath), 2018 г., (Россия, Германия)	Структура и физические процессы взаимодействий видов и форм материи, энергии и информации: <ul style="list-style-type: none"> • классы (группы) технологий – 8; • виды возможных технологических процессов (методов) – 142 980 	Изменение размеров, формы, свойств, структуры и состояний материалов

* В последнем издании добавлены группы: вспомогательное производство (5 видов процессов, включающих 7 методов); измерение и моделирование (3 вида процессов, включающих 3 метода); производство/планирование процесса

создания и совершенствования в рамках предложенных моделей, которые по уровню полноты и рассматриваемых особенностей в большей или меньшей степени обеспечивают решение поставленных задач, а их объединяющее значение далеко не полностью исчерпано.

Очевидно, что приведенные классификации технологий и станков не отражают главного свойства процесса – его физическую сущность, а только ее наименование. Следовательно, технологические процессы представляют собой типы системы физических изменений в элементах системы и в отношениях между этими элементами.

Предлагается общая энергоинформационная модель технологий, производственных процессов и технологических методов получения деталей, изделий, схема которой приведена на рис. 3, а ее концепция и описание в работах [7, 8, 9].

Под технологическим процессом будем понимать процесс взаимосвязанного преобразования материи, энергии и информации, в процессе которого осуществляется изменение размера, формы, объема, свойств, и/или состояния, и/или структуры, и/или положения поступившей на вход материи, под воздействием поступающей на вход энергии в соответствии с заданной информацией. Материя, энергия

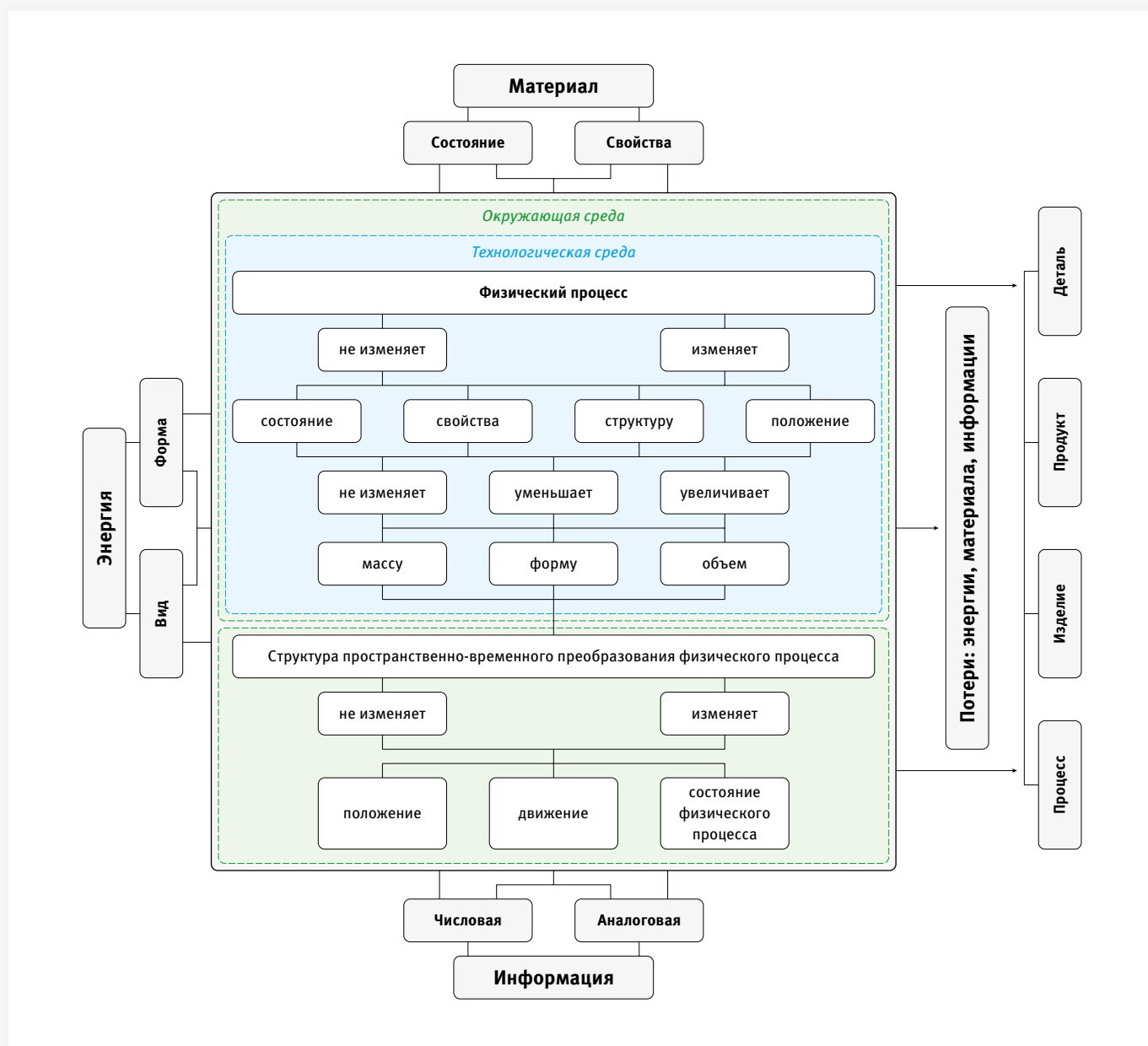


Рис. 3. Обобщенная энерго-информационная схема модели технологий, производственных процессов и технологических методов получения деталей, изделий, продукта

и информация по времени поступления на вход и по времени преобразования и взаимодействия могут совпадать или не совпадать друг с другом.

Количество процессов, которые могут быть сформированы элементами системы (см. рис. 3), определяется числом сочетаний C_n^k из n элементов по k . В зависимости от набора элементов и возможных (заданных, рассматриваемых) сочетаний, могут быть сформированы и классифицированы множества процессов и систем (группы, виды, классы, и т. п.), обуславливающие их поведение и изменение состояния системы, которое обеспечивает достижение поставленной цели – создание процесса, продукта, изделия, детали.

В табл. 3 приведена классификация процессов для наиболее общего случая построения системы $C_6^3 = 20$, элементы которой приведены на рис. 3, а структура построение

указанной классификации может быть построена и приведена аналогично со схемой рис. 3 путем ее трансформации.

Тогда в окончательном виде структурное обозначение кода технологического процесса может быть представлено в следующем виде:

$$T(i) [F_f(123456), P_k(123456), P_v(123456)],$$

где: $T(i)$ – класс технологического процесса; $F_f(123456)$ – код физического процесса; $P_k(123456)$ – код класса технологического процесса; $P_v(123456)$ – код вида технологического процесса.

Таким образом, получены четыре группы классов процессов:

- М1, М2, М3, М4 – физико-технические процессы, в которых осуществляется и доминирует преобразование

Таблица 3. Классификационная характеристика процессов и их виды

№ п. п.	Энергия		Материя		Информация		Класс	Характеристика
	вид	форма	состояние	свойства	аналоговая	числовая		
1	0	0	0	1	1	1	М1	Физико-технический процесс 1-го вида
2	0	1	0	1	1	0	Т1	Технологический процесс 1-й формы
3	1	0	0	1	1	0	Т2	Технологический процесс 1-го вида
4	1	1	0	1	0	0	Эм1	Физико-химический процесс 1-го вида
5	0	0	1	0	1	1	М2	Физико-технический процесс 2-го вида
6	0	1	1	0	0	1	Т3	Технологический процесс 2-й формы
7	1	0	1	0	0	1	Т4	Технологический процесс 2-го вида
8	1	1	1	0	0	0	Эм2	Физико-химический процесс 2-го вида
9	0	0	1	1	0	1	М3	Физико-технический процесс 3-го вида
10	0	1	1	0	1	0	Т5	Технологический процесс 3-й формы
11	1	0	1	0	1	0	Т6	Технологический процесс 3-го вида
12	0	0	1	1	1	0	М4	Физико-технический процесс 4-го вида
13	0	1	1	1	0	0	Эм3	Физико-химический процесс 3-го вида
14	1	0	1	1	0	0	Эм4	Физико-химический процесс 4-го вида
15	0	1	0	0	1	1	Э1	Энергетический процесс 1-го вида
16	1	0	0	0	1	1	Э2	Энергетический процесс 2-го вида
17	1	1	0	0	0	1	Э3	Энергетический процесс 3-го вида
18	0	1	0	1	0	1	Т7	Технологический процесс 4-й формы
19	1	0	0	1	0	1	Т8	Технологический процесс 4-го вида
20	1	1	0	0	1	0	Э4	Энергетический процесс 4-го вида

**06-08
июня 2023**

Москва
ЦВК «Экспоцентр»



При поддержке:

АРСС

Ассоциация развития
стального строительства



Российский союз
поставщиков
металлопродукции

8-я Международная
специализированная выставка

Металло Конструкции 2023



12+

Место проведения:



Генеральный
информационный партнер:



Организатор:



www.mc-expo.ru

+7 (495) 734-99-66

информации о состоянии или свойствах материи и получение информации о них;

- Э1, Э2, Э3, Э4 – энергетические процессы передачи, изменения и преобразования видов и форм энергии, управляемые информационными потоками;
- ЭМ1, ЭМ2, ЭМ3, ЭМ4 – физико-химические процессы преобразований материи и энергии для получения продукта без информационного управления, то есть процессы, реализующие физико-химические явления;

- T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 – технологические процессы, результатом которых является получение продукта, изделия, детали.

Полученные восемь классов $T(i)$ не только полностью охватывают рассмотренные и приведенные выше (см. табл. 2) наиболее общие классификации, но и дают более строгую их градацию, принципы построения, единую систему описания и структуру организации.

Например, класс T5 базируется на изменении состояния материи, преобразовывая форму энергии под управлением аналоговой информации и соответствует 1 группе стандарта DIN 8580-2003-09 или соответственно 2 категории процесса по классификации, принятой NRC в США (см. табл. 2).

Каждый класс технологического процесса может быть представлен различными видами внутри своего класса. Для этого необходимо рассмотреть преобразование свойства (или группы свойств) одного из наиболее устойчивого элементов, который был принят при построении общей системы.

Применительно к процессу производства деталей, на рис. 4 приведена принципиальная структурная схема системы построения и формирования способов, методов и видов обработки при производстве. Элементами системы являются деталь и инструмент (в широком смысле, т.е. не обязательно из твердого материала) и их параметры и характеристики, между которыми образованы связи и отношения, а физические процессы обуславливаются и определяются видами их взаимодействия. Тогда, согласно схеме рис. 5, предлагаются следующие уровни градации оборудования в формулируемой новой системе общей классификации:

1. Оборудование, которое реализует взаимодействия:
 - 1.1. «Твердое тело» – «Твердое тело»
 - 1.2. «Твердое тело» – «Состояние среды»
 - 1.3. «Твердое тело» – «Физическое поле».
2. Оборудование, которое реализует комбинацию взаимодействия:
 - 2.1. «Твердое тело» – «Твердое тело» – «Состояние среды»
 - 2.2. «Твердое тело» – «Твердое тело» – «Физическое поле»
 - 2.3. «Твердое тело» – «Состояние среды» – «Физическое поле».
3. Оборудование, которое реализует комбинацию взаимодействия:
 - 3.1. «Твердое тело» – «Состояние среды» – «Состояние среды» – «Физическое поле»
 - 3.2. «Твердое тело» – «Физическое поле» – «Состояние среды» – «Физическое поле»
 - 3.3. «Состояние среды» – «Твердое тело» – «Физическое поле» – «Состояние среды» и т.д.
4. Оборудование, которое реализует взаимодействие твердых тел и полей без изменения параметров, свойств и характеристик детали:
 - 4.1. Контрольно-измерительные машины;

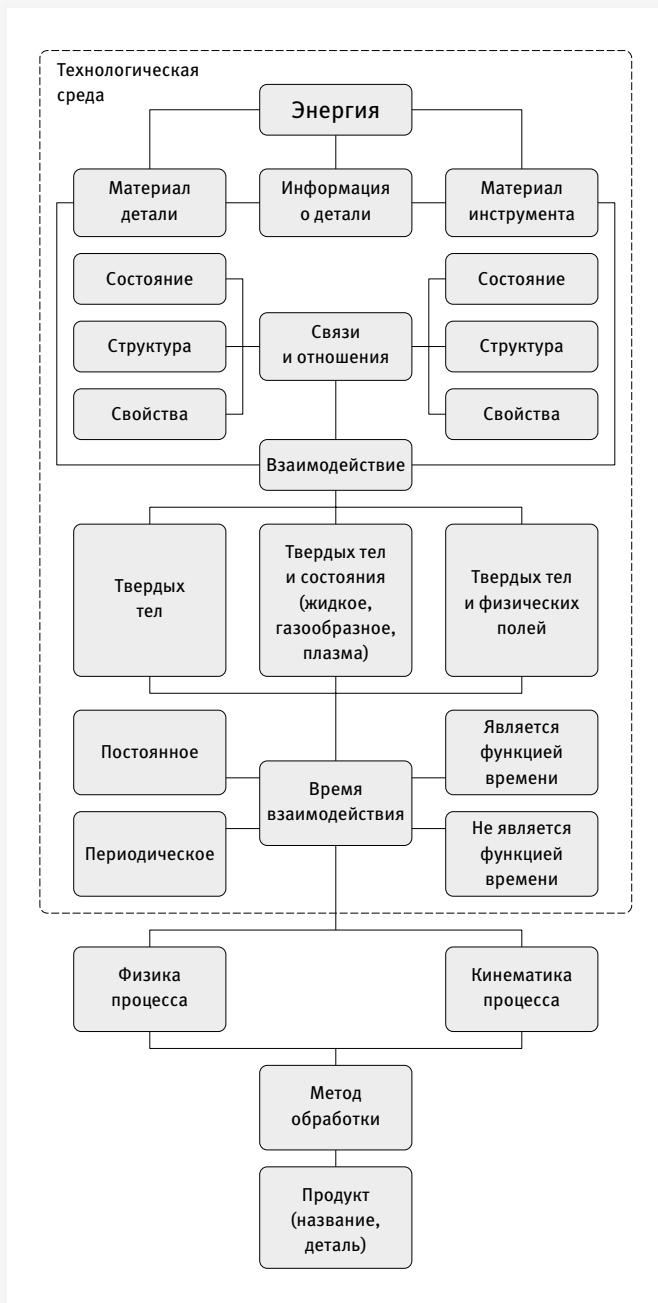


Рис. 4. Структура формирования видов физических процессов и технологических методов получения детали



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВОЕННО-МОРСКОЙ САЛОН-2023

Организатор



Выставочный
оператор



МКВ

При поддержке



21–25 июня

Кронштадт
Конгрессно-выставочный центр
Музея военно-морской славы

FLEET-EXPO.RU

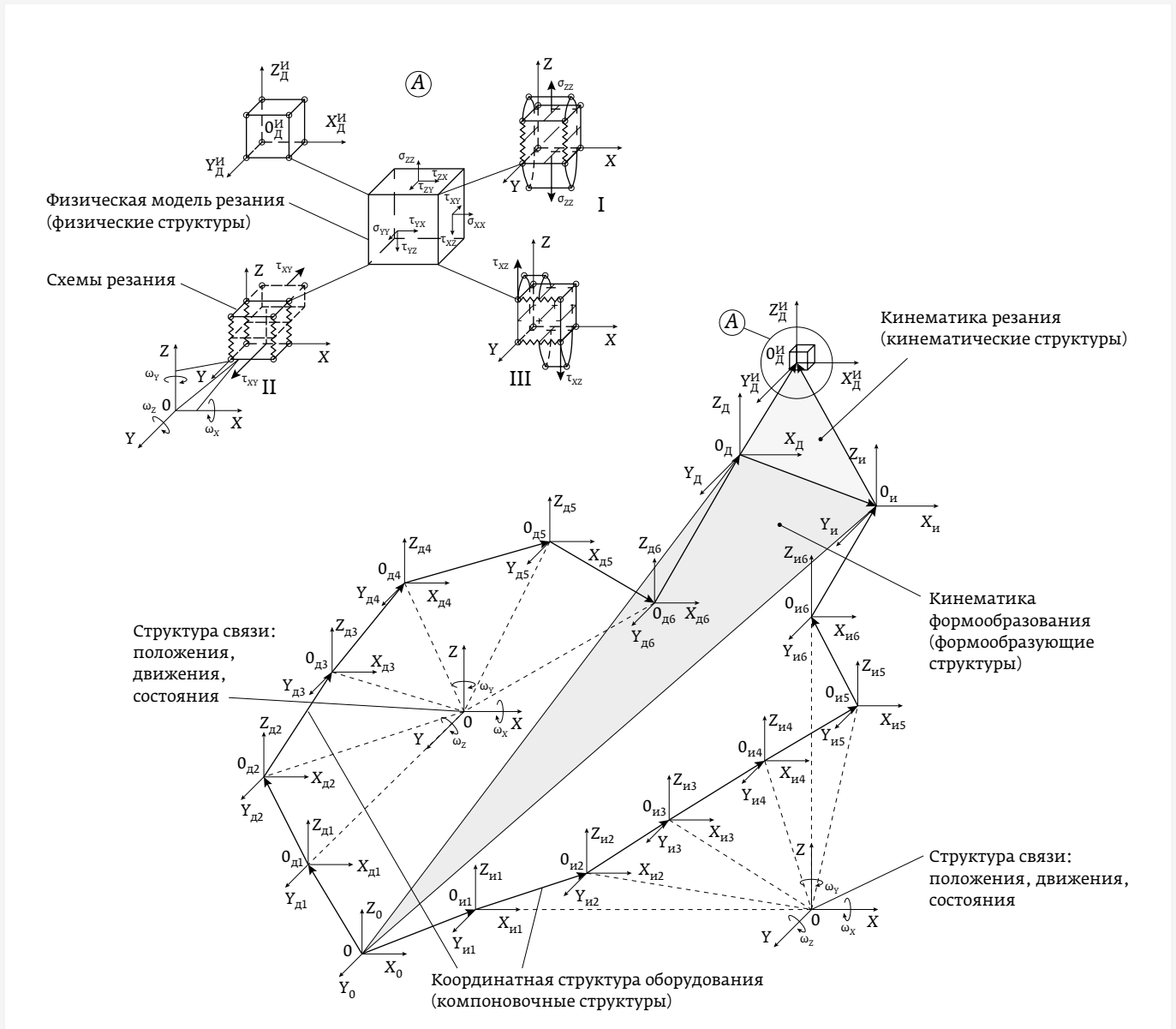


Рис. 5. Структурно-физическая модель процессов резания

4.2. Контрольно-измерительные приборы и устройства;

4.3. Ручные средства контроля и измерения.

Технологический процесс считается завершенным тогда и только тогда, когда достигается равенство информации, заключенное в материальном объекте (продукте, детали, изделии), со значением этой информации, заданной в виде чертежа – информационной модели материального объекта. Несоответствие (отклонение) информации, заключенной в материальном объекте, о свойствах этого объекта, аналогичной информации о свойствах объекта, заключенной в чертеже изделия, характеризует точность (качество) технологического процесса, а свойство технологического

процесса обеспечивать изготовление изделий в заданном объеме, сохраняя во времени информационное соответствие свойств изделия, заключенных в самом материальном изделии и его чертеже, характеризует надежность технологического процесса.

Поэтому, чтобы проанализировать и рекомендовать в качестве эффективного один из возможных технологических процессов, возникает потребность в процедурах оценки эффективности инновационных технологических процессов по сравнению с существующими. Показателями являются:

- точность – степень соответствия свойств предмета, объекта, системы, процесса, явления его

weldex

22-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА СВАРОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ, ОБОРУДОВАНИЯ
И ТЕХНОЛОГИЙ

10-13
ОКТАБРЯ 2023

МОСКВА
КРОКУС ЭКСПО

ПОЛУЧИТЕ
БЕСПЛАТНЫЙ БИЛЕТ
ПО ПРОМОКОДУ
tehnosphaera



5 ПРИЧИН ПОСЕТИТЬ ВЫСТАВКУ:

- ВЖИВУЮ ОЦЕНИТЬ ШИРОКИЙ АССОРТИМЕНТ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ
- НАЙТИ НОВЫХ ПОСТАВЩИКОВ С БОЛЕЕ ВЫГОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ ЗАКУПОК
- УКРЕПИТЬ ОТНОШЕНИЯ С ТЕКУЩИМИ ПАРТНЕРАМИ
- ЛИЧНО ВСТРЕТИТЬСЯ С ТОП-МЕНЕДЖЕРАМИ КОМПАНИЙ И ПРОВЕСТИ ПЕРЕГОВОРЫ
- ИЗУЧИТЬ ОБОРУДОВАНИЕ В ДЕЙСТВИИ, ПОЛУЧИТЬ КОНСУЛЬТАЦИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER

WELDEX.RU



+7 (499) 750-08-28
weldex@ite.group

Официальная
поддержка:



Генеральный
информационный
партнер:



Журнал
«Сварочное производство»

номинальному, заданному, установленному, допустимому, идеальному значению, информации или закону;

- производительность – скорость изменения параметров, характеристик, свойств, состояния, структуры преобразуемой материи;
- эффективность (ресурсоэффективность) – степень использования какого-либо ресурса (энергии, времени, информации).

В зависимости от вида энергии, направленного и осуществляющего изменение состояния, структуры и свойств материала, количества и способа передачи информации различают виды реализуемых технологических процессов: обработка резанием (механообработка), обработка давлением, литье, сварка, термическая обработка, гибка и др.

Технологический образ структуры процесса обработки резанием в соответствии с описанной системой классификации (рис. 3) и на основании схем формирования структурных составляющих (табл. 3) запишется в следующем виде: $T(7) = [F_k(134678), P_k(15253645), P_v(162636)]$.

При этом будем рассматривать процесс обработки резанием как метод обработки, физический процесс которого обусловлен (см. рис. 4) взаимодействием твердых тел, состоящих из материалов детали и инструмента. Очевидно, что другие физические процессы уменьшения массы детали могут быть также рассмотрены – по аналогии, но в этих случаях будет происходить взаимодействие либо твердого тела и состояний инструмента (гидрорезка, газовая резка, плазменная резка и т.п.), либо твердого тела и физических полей (лазерная резка, электрофизические методы и т.п.).

Таким образом, будем рассматривать следующие структурные элементы системы процесса резания и их взаимосвязь:

- физическая модель;
- физический процесс: механика (статика, кинематика, динамика), механика сплошной среды (деформация упругая, пластическая), физика твердого тела (дислокации);
- физические явления (механические (разрушение), тепловые, электромагнитные, химические);
- схемы процесса (элементы, параметры, свойства);
- структуры процесса (элементы, связи, отношения);
- описание процесса (структурно-логическое, математическое, аналоговое) изменения и поведения структуры;
- реализация модели процесса (механизмы, машины, оборудование, системы).

На рис. 5 приведена обобщенная структурная модель процесса и оборудования обработки материалов резанием [9], которая базируется на результатах вышеприведенного анализа динамики развития физических моделей резания, учитывает их общие характеристики описания

и представления и сформирована, принимая во внимание структурные модели технологических процессов и структурную модель физического процесса F_p , которая определяется структурной зависимостью:

$$F_p = L_p(V_i, PV_j, t_{ij}),$$

где: L_p – оператор преобразования взаимодействия; V_i – виды взаимодействия; PV_j – параметры объектов взаимодействия; t_{ij} – время взаимодействия.

Данный вид обобщенной структурной модели [10] процесса и оборудования обработки материалов резанием (рис. 5) обусловлен тем, что вид взаимодействия V_i представляет собой взаимодействие твердых тел (рис. 6) с параметрами взаимодействия PV_j в виде векторов положения и движения, а оператором преобразования являются операторы L_p преобразования координатных систем.

Эта модель является общей моделью структурно-физического формирования и анализа технологических процессов разной природы, что в структуре потребует только изменения схемы, обозначенной на рис. 5 буквой А – физическая модель взаимодействия. Содержанием анализа физических процессов и явлений этой модели являются, в том числе, рассмотренные в работах: модель кинематики резания [11], модель кинематики формообразования [12, 13], модель компоновок станков [14], модель схем резания [15] и физическая модель резания [16].

Таким образом, общая структура построения кинематических схем резания (рис. 6), реализуемая металлорежущими станками, может быть построена на основе применения полученного оператора преобразования L_p в однородных координатах для построенной системы технологического образа структуры процесса обработки резанием в соответствии с описанной системной классификацией (табл. 3) и на основании схем формирования структурных составляющих. Область состояний характеризует возмущающие воздействия, которые изменяют свойства составных элементов построенной структуры и обуславливают, соответственно, изменение свойств результирующего взаимодействия твердых тел (см. рис. 4) и, как следствие, образование иного способа обработки для данной кинематической схемы. Иными словами, количество методов и способов обработки для рассмотренной физической модели процесса резания, структура которой описана выражением в однородных координатах, будет зависеть и определяться всеми составляющими технологического образа процесса, система которого описывается выражением:

$$T(7) = [F_k(134678), P_k(15253645), P_v(162636)],$$

а количество вариантов построения достаточно велико.

Тогда, при переходе от схемы резания к обобщенной аналогичной схеме взаимодействия (рис. 4, 5), следует

ВСЕГДА НА ВЫСОТЕ

Наш телеграм-канал



 МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

 Ростех

 **АВИАСАЛОН**
30 ЛЕТ С ВАМИ

www.aviasalon.com

МАКС 2023

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ
САЛОН



25-30 ИЮЛЯ • ЖУКОВСКИЙ • МОСКВА • РОССИЯ

Схема 				Инструмент							
				$\rho_d = \rho_i$	$\rho_d > \rho_i$	$\rho_d < \rho_i$	Движение резания	Формообразующее движение или положение	$v_d^H = v_i / v_d$		
$\rho > 0$	$\rho < 0$	$\rho = 0$	Подвижный	Неподвижный							
				→	←	////					
Деталь	$\rho > 0$	Подвижная	↓	v_i →	v_i ←	v_d ←	Линейное	Движение 	$v_d^H = 0;$ $0 < v_d^H < 1;$ $v_d^H > 1;$ $v_d^H \rightarrow \infty$		
				v_d ←	v_d ←	////				Вращательное	
		↑	v_i →	v_i →	v_d →	Линейное					
			v_d →	v_d ←	////		Вращательное				
	$\rho = 0$	Неподвижная	////	v_i →	v_i ←	////		Линейное		Положение 	
				////	////	////	Вращательное				
				////	////	////					
				////	////	////					
	Вид движения				Линейное	Вращательное	Линейное	Вращательное		Линейное	Вращательное
	Формообразующее движение или положение				Движение 		Положение 			Область полей состояний: силового, теплового, временного и т. п.	
	$v_d^H = v_i / v_d$				$v_d^H = 0; 0 < v_d^H < 1; v_d^H > 1; v_d^H \rightarrow \infty$						

Рис. 6. Схема построения кинематических схем резания

принять во внимание, что энергия физического процесса взаимодействия будет равна работе обобщенной силы F_i (табл. 4) на обобщенном расстоянии L_i :

$$E_i = F_i L_i.$$

Выходными элементами предложенной энергоинформационной модели (рис. 3) являются процессы, продукты, изделия и детали. Материалобработывающее оборудование реализует технологические процессы, а результатом этого также является деталь. Следовательно, классификационные уровни, их свойства и множества должны формировать более низкий по отношению к технологии уровень, который, в принципе, может быть и самостоятельным в классификации технологических процессов, их структурного описания при оговоренных условиях и ограничениях. Тогда можно предложить схему

Таблица 4. Виды и параметры обобщенной силы

Наименование силы физического процесса, явления	Обобщенная сила F_i	Параметры
Гравитация	$F = M \cdot g$	Масса, ускорение свободного падения
Механическая	$F = M \cdot a$ $F_{ц} = M \cdot \omega^2 r$	Масса, ускорение, угловая скорость вращения
Электрическая	$U = I \cdot R$	Ток, сопротивление
Магнитная	$F_m = B \cdot V$	Магнитная индукция, магнитный поток
Тепловая	$Q = T \cdot X$	Температура, сопротивление тепловое

и модель классификации оборудования (рис. 7), формирование уровней и сути которых обусловлено параметрами и характеристиками детали, а конструктивное дополнение многообразий к этому технологическому множеству видов будет выполнять лишь отличительную функцию многообразий реализаций.

Следовательно, можно сформировать нижеследующую последовательность уровней классификационных признаков:

- **класс** – нанотехнологии ($\leq 10^{-9} - 10^{-7}$ м), микротехнологии ($10^{-7} - 10^{-5}$ м), макротехнологии (традиционные)

($> 10^{-5} - 10^{-3}$ м). Отличительный признак – геометрические параметры физического процесса;

- **подкласс** – механический, электрический, магнитный, электромагнитный, тепловой, ультразвуковой, тепловой, гравитационный, энергия жидкости, энергия газа, плазма, радиация. Отличительный признак – форма используемой энергии физического процесса (обобщенной эквивалентной силы воздействия на материал);
- **группа** – деформация упругая, деформация пластическая объемная, деформация пластическая хрупкая, плавление, испарение, ионизация, эрозия, химические

Геометрические параметры физического процесса, явления или эффекта		Физический процесс, явление или эффект	Деталь										Эквивалентная обобщенная сила – форма энергии			
			Размер, м				Форма			Свойства	Структура	Состояние			Положение	Соединение
			$10^{-7} \div 10^{-9}$	$10^{-5} \div 10^{-7}$	$10^{-3} \div 10^{-5}$	$> 10^{-3}$	Линейная	Плоская	Пространственная							
Субмикроскопический (наноуровень), $\leq 10^{-9} \div 10^{-7}$ м	Геометрический уровень процесса, явления	Механический (статика, кинематика, динамика)	1				2			3	4	5	6	7	Механическая	
		Деформирование упругое	8				9			10	11	12	13	14	Электрическая	
		Деформирование пластическое объемное	15				16			17	18	19	20	21	Магнитная	
Микроскопический уровень, $10^{-7} \div 10^{-5}$	Геометрический уровень процесса, явления	Деформирование пластическое хрупкое	22				23			24	24	26	27	28	Электромагнитная	
		Плавление	29				30			31	32	33	34	35	Тепловая	
Макроскопический уровень, $> 10^{-5} \div 10^{-3}$	Геометрический уровень процесса, явления	Испарение	36				37			38	39	40	41	42	Химическая	
		Ионизация	43				44			45	46	47	48	49	Гравитационная	
		Фазовые преобразования	50				51			52	53	54	55	56	Энергия Жидкости	
		Эрозионные процессы	57				58			9	60	61	62	63	Энергия газа	
		Химические	64				65			66	67	68	69	70	Ультразвуковая	
Вид, форма и состояние исходного материала																
Твердое тело				Провод, полоса, пленка			Волокна, нити	Гранулы	Порошок	Жидкость	Газы					

Рис. 7. Схема формирования уровней металлообрабатывающего оборудования

- процессы, фазовые превращения. Отличительный признак – физический процесс, явление, эффект;
- **подгруппа** – размер, форма, свойства (поверхностные или внутренние), структура (поверхности или внутренняя), состояние, положение, соединение деталей. Отличительный признак – изменяемые физическим процессом параметры и характеристики детали;
 - **тип** – наноразмерные (10^{-7} – 10^{-9} м), микроразмерные (10^{-5} – 10^{-7} м), миниразмерные (10^{-3} – 10^{-5} м), макроразмерные ($>10^{-3}$ м). Отличительный признак – геометрические параметры детали;
 - **подтип** – твердый (металлы, керамика, полимеры, композиты – объемный), провод, полоса, пленка, гранулы, порошок, жидкий, газообразный. Отличительный признак – вид, форма материала;
 - **вид** – метод взаимодействия твердых тел, состояний и физических полей. Отличительный признак – взаимодействие энергии (обобщенной силы процесса) и материала;
 - **подвид** – обработки: резанием (лезвийная, абразивная), давлением (формообразующие, отделочно-упрочняющие), термическая, аддитивная, электроискровая, электроэрозионная, электрохимическая, химическая, лазерная (лучевые), магнитная, акустическая (ультразвуковая), гидроабразивная, виброобработка, плетением, вязанием, смешением. Отличительный признак – наименование технологического метода по виду реализации физического процесса;
 - **объект технологический** – наименование изделия станкостроения (машина, комплекс, станок, пресс, робот...). Отличительный признак – доминирующая функция оборудования, направленная на создание (изменение) параметров и характеристик детали, обусловленная однородностью физического процесса, явления, эффекта.

Таким образом, базируясь на предлагаемом подходе (принципах) могут быть с разумной и достаточной степенью детализации (зависит от цели и назначения классификатора) составлены классификаторы по каждому технологическому объекту – как предмету производства станкостроительной отрасли.

Методы классификации (табл. 1) производственных процессов в соответствии с DIN8580, NISTIR 7913, Тоддом, Поллом де Гармо, Эшби являются частными случаями предлагаемого подхода к классификации. Общая энергоинформационная модель производственных процессов (рис. 3) и соответствующая ей новая классификация положат начало развитию исследований и разработок в области производственных процессов и связанных с ними технологий, а также будет способствовать повышению технологической независимости, конкурентоспособности, прогнозированию стратегических тенденций, оптимизации производственных процессов и их применения.

Литература

1. **Кондратьев Н. Д.** Проблемы экономической динамики. М.: Экономика, 1989. 524 с.
2. **Глазьев С. Ю., Львов Д. С., Фетисов Г. Г.** Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования. М.: Наука, 1992. 208 с.
3. **Кричевский С. В.** Эволюция технологий и технологических укладов в парадигме «зеленого» развития и глобального будущего // Наука та наукознавство. 2015. № 2. С. 73–79.
4. **Артоболовский И. И.** Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1975. 640 с.
5. **Кошкин Л. Н.** Роторные и роторно-конвейерные линии. М.: Машиностроение, 1986. 320 с.
6. **Прейс В. В.** Технологические роторные машины: вчера, сегодня, завтра. М.: Машиностроение, 1986. 128 с.
7. **Кузнецов А. П.** Структуры процессов и оборудования обработки резанием. Часть 1. Энергоинформационная модель структуры процессов обработки. М.: Вестник машиностроения. 2015. № 2. С. 73–83.
8. **Kuznetsov A. P., Koriath H.-J.** A new systematic approach to the description of processes and their classification. Procedia CIRP 14th Global Conference on Sustainable Manufacturing. Published by Elsevier B.V. 2017. V. 8. PP. 199–206.
9. **Kuznetsov A. P., Koriath H.-J.** Development of a Classification and Generation Approach For Innovative Technologies. Procedia CIRP 15th Global Conference on Sustainable Manufacturing. Published by Elsevier B.V. 2018. V. 21. PP. 798–805.
10. **Кузнецов А. П.** Структуры процессов и оборудования обработки резанием. Ч. 3. Модели и структуры обработки резанием. М.: Вестник машиностроения. 2015. № 4. С. 76–87.
11. **Грановский Г. И.** Кинематика резания. М.: Машгиз, 1948. 200 с.
12. **Радзевич С. П.** Формообразование поверхностей деталей. К.: Растан, 2001. 592 с.
13. **Коновалов Е. Г.** Основы новых способов металлообработки. Минск: Изд-во АН БССР, 1961. 286 с.
14. **Врагов Ю. Д.** Основы компоновок металлорежущих станков (Основы компонентики). М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
15. **Этин А. О.** Кинематический анализ методов обработки металлов резанием. М.: Машиностроение, 1964. 322 с.
16. **Партон В. З.** Механика разрушения: от теории к практике. М.: Наука, 1990. 240 с.

Автор

Кузнецов Александр Павлович – доктор технических наук, ООО «КЕВ-РУС»

ИНФОПРОСТРАНСТВО ФЕССИОНАЛОВ



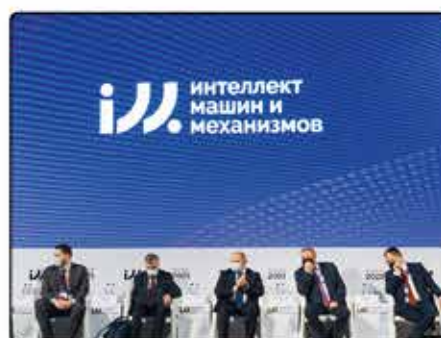
ТЕХНОСФЕРА

Мы на YouTube

Подписывайтесь



ГЛАВНАЯ



Пленарное заседание промышленного форума «Интеллект машин и механизмов 2021» в Севастополе



ООО НПП «Прима»: как достичь высокого качества при сборке, влагозащите и удалении покрытий



Аппаратно-программные решения для систем искусственного интеллекта и другие разработки НТЦ «Модуль»



Завод «Элеконд» для коллектива – второй дом



Российское оборудование для изготовления микросхем (НТО)



ВНИИНСТРУМЕНТ

Всероссийский научно-исследовательский
инструментальный институт

УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННЫЙ ТОКАРНЫЙ СТАНОК РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

АО «ВНИИНСТРУМЕНТ»

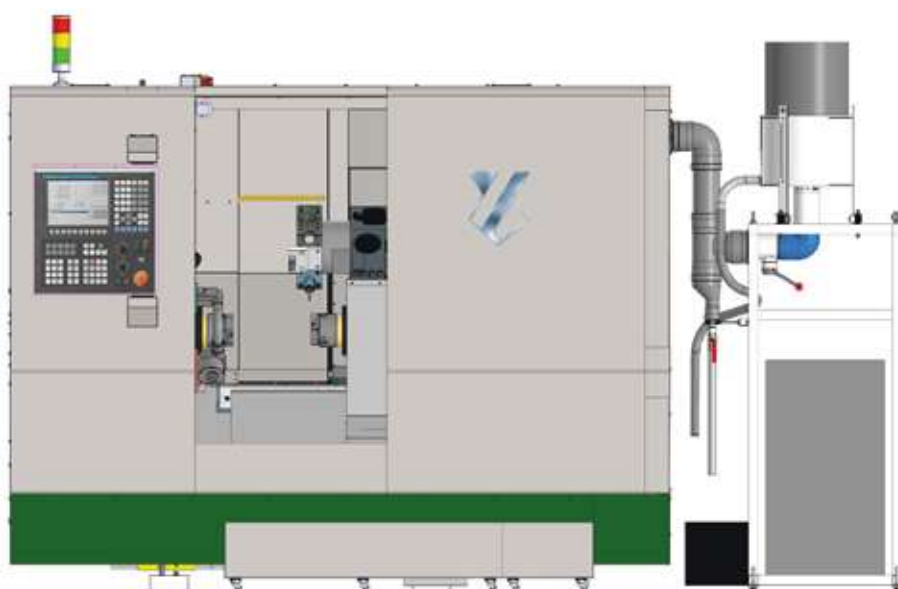


Рисунок 1 – Ультراпрецизионный
токарный станок

Акционерным обществом «ВНИИНСТРУМЕНТ» реализуется научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа по разработке и серийному производству ультрапрецизионного токарного станка с российской системой ЧПУ для обработки различных материалов, в том числе для производства режущего инструмента, с возможностью обработки методом твердого точения с высокой производительностью (Рисунок 1).

В конструкции станка (Рисунок 2) используются наклонная станина (угол наклона – 45°), выполненная из синтетического гранита, неподвижный главный шпиндель и подвижный (линейно вдоль оси вращения) протившпиндель со встроенными приводными синхронными электродвигателями, крестовый суппорт с установленной на нём револьверной головкой с приводным инструментом, осуществляющий линейное перемещение вдоль оси вращения главного шпинделя (продольная подача), а также линейное перемещение перпендикулярно оси вращения главного шпинделя (поперечная подача).

Станина из синтетического гранита (синтегран) обеспечивает необходимую статическую и динамическую жесткость, отличные демпфирующие свойства несущей системы, а также высокую термическую стабильность, устойчива к кратковременным перепадам температур. При этом выбранный материал более технологичен и прост в изготовлении объёмных конструкций, нежели чугун. Конструкция станины содержит специальные каналы для подвода и отвода охлаждающей жидкости, обеспечивающие термостабильность направляющих.

Мотор-шпиндели оснащены встроенными электродвигателями с водяным охлаждением, что делает конструкцию компактной, повышает жесткость шпиндельного привода (благодаря монтажу компонентов двигателя между главными подшипниками шпинделя) и точность (благодаря отсутствию поперечных усилий привода). Торможение шпинделя обеспечивается гидравлическим тормозом. И шпиндель, и протившпиндель имеют проходное отверстие для подачи прутка, зажим прутка осуществляется трехкулачковыми патронами с гидрозажимом. Поворотные оси (в шпинделях) оснащены датчиками обратной связи по положению с разрешающей способностью не более 1 угл. секунды.

Специальные направляющие (низкошумные линейные роликовые направляющие повышенной жесткости ультрапрецизионного класса точности с отклонением по ширине и высоте не более 0,003 мм на 1 м), смонтированные на сменных столах, обеспечивают необходимые точность, дискретность и повторяемость позиционирования, характерные для ультрапрецизионного оборудования.

Движение по линейным осям обеспечивают синхронные электродвигатели, которые через сильфонные муфты приводят во вращение шарико-винтовую пару ультрапрецизионного класса точности. Для контроля линейных положений выбраны российские оптические преобразователи типа ЛИР, дискретность которых составляет 0,0001 мм.

Система ЧПУ российского производства (ООО «Мехатроника») позволяет управлять 9 координатами, в том числе 3+1 координатами одновременно, осуществлять линейную, круговую, сплайн и интерполяцию по спирали (Рисунок 3). Управление электроприводами осуществляется контроллером ЧПУ (цифровое управление), что дает высокое быстродействие, удобство и простоту настройки и отладки, высокую надежность и технологическую гибкость. Технологические возможности системы расширены за счет компенсации механических погрешностей осей, визуализации траектории движения инструмента, коррекции геометрии инструмента, автоматического сбора диагностической информации. Минимальная дискретность программирования положения и перемещения, заложенная в системе ЧПУ — 0,0001 мм.

Особой функцией станка является возможность выполнения твердого точения – HRC > 60, Ra 0,2 – в базовом исполнении. Для реализации процесса твердого точения оборудование должно обладать высокой статической и динамической жесткостью, виброустойчивостью, а также высокой термической стабильностью.

Основная область применения станка – серийное производство деталей высокой точности из металлов и сплавов на их основе, станкоинструментальная промышленность (изготовление инструмента и оснастки), радиоэлектронная промышленность (механические детали приборов), ракетостроение (детали топливной аппаратуры), автомобиле – и машиностроение.

Опытный образец станка находится на этапе сборки и наладки. Его публичная демонстрация планируется на отдельном стенде в рамках отраслевой выставки «Металлообработка-2023». Готовность первой серийной машины – декабрь 2023 года. Всего за период 2024-2025 годов планируется производство и продажа не менее 40 станков.

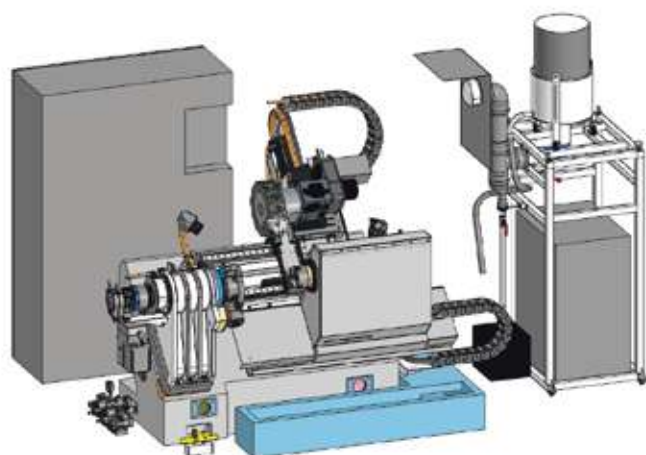


Рисунок 2 – Конструктивная схема ультрапрецизионного токарного станка

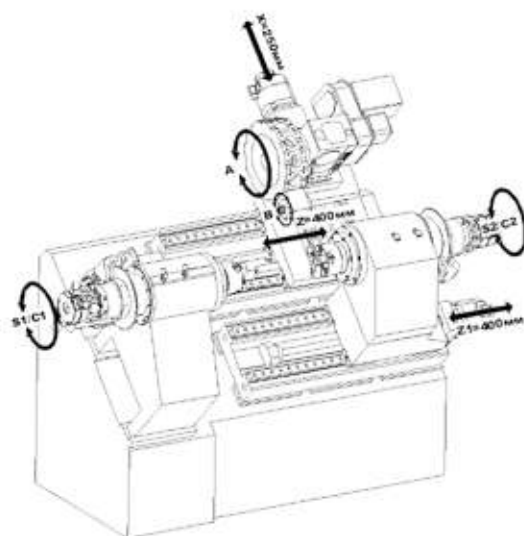


Рисунок 3 – Кинематическая схема станка