

Системы автоматического инструментального обеспечения цифрового производства

А. Р. Маслов

Представлены главные виды информационного обеспечения цифрового производства (ЦП) инструментом для эффективной работы ЦП. Рассмотрены перечень задач системы инструментального обеспечения, а также структурная схема функций системы инструментального обеспечения. Также представлен алгоритм аналогового метода выбора инструмента. Обоснована важность общего языка для межсистемных коммуникаций на базе международного стандарта ISO 13399.

Ключевые слова:

цифровое производство, технологическая система, информационная модель, система инструментального обеспечения

УДК 681.51-621.91.01 | ВАК 2.5.5

DOI: 10.22184/2499-9407.2025.38.1.70.78

Введение

Современное ЦП может быть определено как компьютерно-интегрированное, связывающее воедино все процессы, необходимые для проектирования, изготовления и реализации выпускаемой продукции (рис. 1).

Важнейшей составляющей такого производства является интегрированная система проектирования и управления технологическим процессом (технологическая система). В общем случае современная технологическая система включает в себя три зоны: проектирования и планирования технологических операций, изготовления изделий и контроля.

Поскольку рациональная технология – это прежде всего рациональное использование инструмента, то в организации технологической системы любого производства основным и определяющим является организация и функционирование инструментального обеспечения.

Оптимизация основного технологического процесса обеспечивает значительный прирост эффективности ЦП. Она достигается поиском оптимальных решений технологических задач на всех уровнях и этапах подготовки производства. Этому способствует автоматизация систем технологической подготовки и управления, позволяющая вырабатывать наиболее эффективное, однозначное и взаимозвязанное решение технологических задач на основе принципа оптимальности.

Эти задачи относятся, в том числе, к инструментальной оснастке, которая должна полностью отвечать условиям и требованиям ЦП, и включает в себя режущий и вспомогательный инструмент. С одной стороны, это технические требования, возникающие при выполнении производственных функций с ограниченным вмешательством человека, а с другой стороны – экономические требования, заключающиеся в снижении себестоимости при изготовлении оснастки.

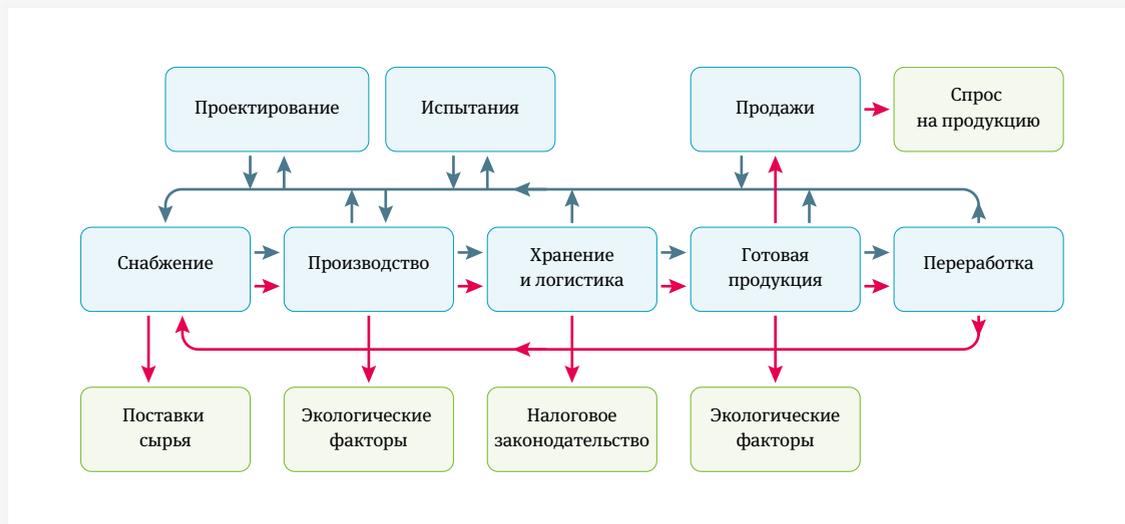


Рис. 1. Потoki информации, сырья и продукции на цифровом предприятии:
 → – информация;
 → – сырье и продукция;
 □ – внешние условия

Информационное обеспечение по инструменту

Главными видами обеспечения работы ЦП являются:

- техническое;
- технологическое;
- математическое;
- программное;
- информационное;
- лингвистическое;
- методическое;
- организационное;
- экономическое
- инструментальное.

Они представляют собой совокупность средств, методов, моделей, документов, показателей, с помощью которых достигается эффективная работа ЦП [3].

Для инструментального обеспечения средствами являются:

- инструменты, оборудование для их проектирования, изготовления, испытания, ремонта, утилизации;
- транспорт для доставки, склады для хранения;
- мерители для настройки, датчики для диагностики, устройства для регулирования.

В качестве методов представляются способы использования инструментов для получения заданных характеристик изделий по качеству и объемам выпуска. Модели чаще всего существуют в виде расчетных формул, чертежей, программ, реализующих методы ЭВМ. Документы содержат всю необходимую информацию для совершения действий и их отражения для запоминания. Показатели характеризуют эффективность соответствующих видов обеспечения.

В рамках ЦП инструментальное обеспечение представляет собой единую систему, которую можно рассматривать обособленно в качестве самостоятельной системы. Такое представление о снабжении рабочих мест инструментами

возникло в связи с развитием системного подхода к производствам, вызванного автоматизацией. Оно и является основой для системы инструментального обеспечения (СИО), создаваемой в автоматизированном варианте. Перечень задач СИО приведен в таблице.

Коренным отличием СИО от инструментального хозяйства является интенсивное насыщение последнего автоматами для управления системой, конструирования, изготовления, складирования, перемещения, установки инструментов на станках, их ремонта и утилизации.

Можно утверждать, что экономика машиностроения определяется степенью совершенства СИО, измеряемой качественными показателями получаемых изделий и экономическими показателями действующего производства.

Гибкая СИО, построенная на основе вычислительной техники, сокращает запасы инструментов, повышает коэффициент их использования, уменьшает время на поиск и заказ нужных инструментов. Без такой СИО:

- безвозвратно теряется до 60% инструментальных запасов;
- идет накопление инструментов главным образом на рабочих местах;
- операторы тратят до 20% времени на поиск режущих инструментов.

Кардинальное решение указанных проблем осуществляется с применением ЭВМ. Для этого используют базы данных для нескольких тысяч стандартных режущих инструментов, идентифицированных номером детали, номером инструмента, кодом групповой технологии. Их применение позволяет сократить запасы инструментов на 60%, а коэффициент использования инструмента повысить с 70 до 99%.

При этом устраняется дублирование заказов на инструмент, сокращаются запасы инструментов и площадь складов, уменьшается время обучения операторов СИО с шести месяцев до трех недель.

Перечень задач системы инструментального обеспечения

| Функция | Задача |
|--|--|
| Управление СИО | <ul style="list-style-type: none"> Планирование работ; контроль выполнения планов; оперативное регулирование процесса |
| Информационное обеспечение по инструменту | <ul style="list-style-type: none"> Учет расходования инструментов; учет складских запасов и оборотных фондов; исходные данные для проектирования инструмента; каталоги типового инструмента; типовые инструкции по проектированию и эксплуатации инструмента |
| Расчет потребности в инструменте | <ul style="list-style-type: none"> Статистика потребления инструмента; прогнозирование потребности инструмента; анализ заявок на инструмент; расчет потребности в инструменте по этапам работ |
| Определение характеристик специальных инструментов | <ul style="list-style-type: none"> Макетирование инструмента; проведение вычислительных экспериментов; проведение натурных экспериментов; обработка результатов и выдача рекомендаций по проектированию и эксплуатации специального инструмента |
| Снабжение покупными инструментами | <ul style="list-style-type: none"> Определение поставщиков; оформление заявок на приобретение; приобретение и поставка на предприятие |
| Накопление складских запасов инструмента | <ul style="list-style-type: none"> Определение норм запасов инструмента; поддержание заданного уровня запасов |
| Обеспечение рабочих мест сборщиков инструментом | Получение и доставка инструмента со склада для его сборки |
| Сборка наладок инструментов на выполнение операции | <ul style="list-style-type: none"> Комплектация наладок инструментами; настройка наладок инструмента вне станка; балансировка наладок инструмента |
| Управление сменой инструмента | <ul style="list-style-type: none"> Диагностирование состояния инструмента и измерение параметров обрабатываемой детали; замена изношенного инструмента |
| Восстановление инструмента | <ul style="list-style-type: none"> Возврат использованного инструмента; контроль состояния инструмента; проведение восстановительных работ; сдача восстановленного инструмента на склад |

Внешние по отношению к СИО системы представлены на схеме в кружках. Отдел подготовки производства, выпуская соответствующий план, определяет начало работ по ИО. Блок 1 координирует выполнение всех функций созданием планов-графиков, доводимых до каждого блока по линиям связи. Выполнение их контролируется обратными связями, данные которых сводятся в общий отчет, направляемый в отдел. Все остальные работы в СИО определяются схемой со степенью подробности, достаточной для высшего уровня моделирования.

Каждая задача (см. таблицу выше) представляется моделью в виде структурной схемы на рис. 2. Начертание задач должно производиться с применением стандартизованных условных обозначений, разработанных для

схем алгоритмов и программ, которые будут расшифровываться по мере рассмотрения моделей.

В структурной схеме, представленной на рис. 2, функции СИО записаны в прямоугольных блоках, а стрелки показывают взаимосвязи их выполнения. Каждая функция обеспечивает достижение своей подцели. Однако порядок их расположения на схеме изменен на обратный относительно ряда подцелей, то есть показывает прямое направление последовательности действий от начального этапа управления системой (блок 1) до конечного выполнения рабочих и холостых ходов (блок 13). Используют два типа линий для соединения блоков: одинарные – информационные потоки, двойные – материальные потоки. Для увеличения информационного содержания схемы над соединительными линиями указаны основные документы или изделия, которыми завершаются функции и через которые идет информационный и материальный обмен между блоками.

Схема задач характеризуется чередованием документов и работ. Ее структура начинается с исходных документов, набор которых должен быть достаточным для информационного обеспечения проведения работы.

Выполнение следующей работы необходимо подкрепить дополнительной информацией. Такой порядок просматривается по каждой схеме: новая работа основана на исполь-

зовании ранее полученного документа и дополнительной информации из других источников. Обеспечение достаточной полноты информации для выполнения каждой работы является первым требованием по составлению задач.

Методы выбора инструмента

Варианты методов выбора инструмента при проектировании технологических процессов достаточно разнообразны. Однако среди них выделяются два основных:

- аналитический, при котором выбор осуществляется в результате анализа закономерностей конструкции и технологии применительно к каждой конкретной детали или изделию;

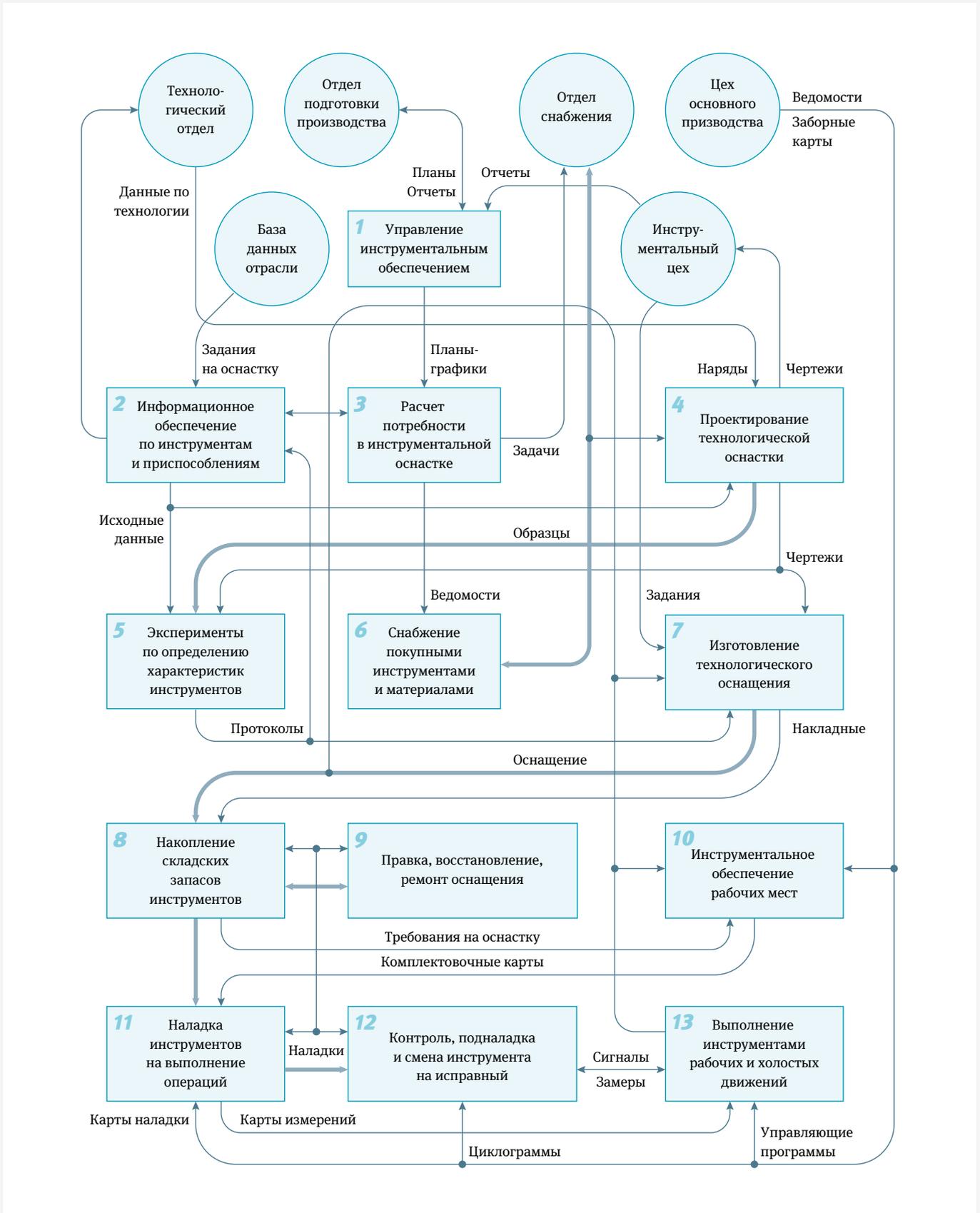


Рис. 2. Структурная схема функций системы инструментального обеспечения

- аналоговый, в котором выбор происходит в результате корректирования заранее спроектированной технологии для деталей или изделий определенного класса, типа, группы применительно к особенностям конкретного объекта производства.

Принципиальная схема алгоритма аналогового выбора инструмента применительно к обработке деталей резанием (рис. 3) разработана для условий высокого уровня автоматизации. Схема содержит обозначение серверов для накопления исходных данных, элементов оперативной памяти, фиксации промежуточных результатов и документов спроектированных ТП.

Достижению высокого уровня автоматизации способствует простота процедур метода, которые состоят в корректировании заранее разработанных типовых и групповых ТП. Алгоритм начинается с поиска аналога ТП для конкретной детали (блок 1). Поиск ведется среди типовых, групповых или ранее разработанных ТП.

После нахождения аналога (блок 2) появляется полный набор данных по технологии для проектирования. Смысл его состоит в сравнении чертежа детали с аналогом, в выборе подходящих элементов технологии и в пересчете некоторых параметров режима работы.

Начать эту последовательность процедур следует с последнего перехода последней операции, выходные данные которого соответствуют чертежу детали, что и происходит в блоках 4 и 9.

Затем сравниваются параметры операций и переходов путем формирования операционного эскиза обработки детали по схеме образца. Если последняя операция нужна, то идет

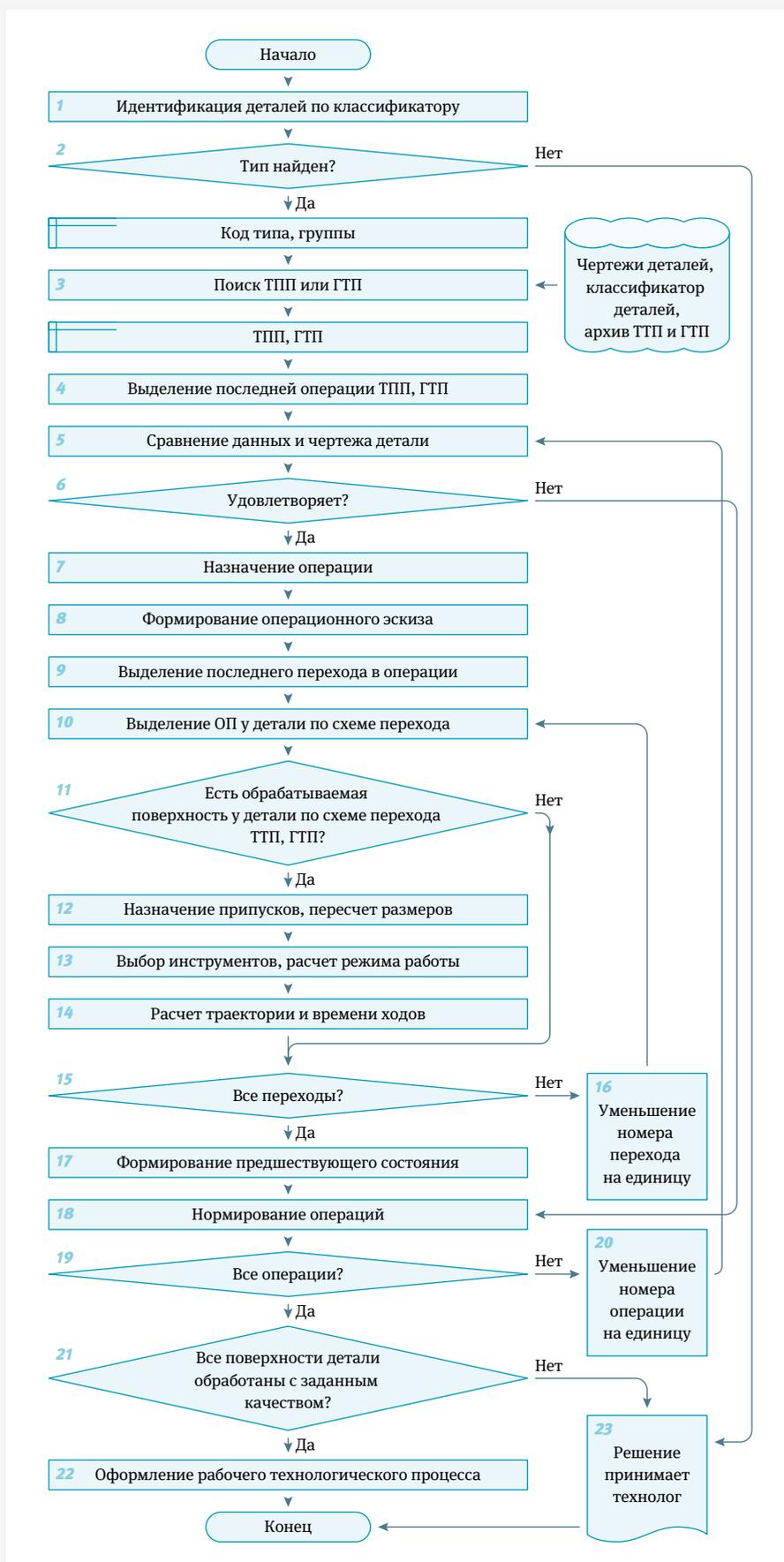


Рис. 3. Алгоритм аналогового метода выбора инструмента (ТПП и ГТП – типовой и групповой технологические процессы; ОП – обрабатываемая поверхность)

сравнение обрабатываемых поверхностей чертежа и операционного эскиза по переходам с оставлением тех из них, которые нужны для детали (блоки 10 и 11).

Далее процедуры проектирования повторяются для предшествующих операций и переходов до тех пор, пока все они не будут просмотрены на предмет применимости для конкретной детали.

В результате в блоках 13 и 14 осуществляется выбор инструментов, расчет режимов резания, траекторий и времени ходов. Для каждого этапа просмотра формируется эскиз предшествующего состояния детали, который как бы заменяет чертеж, бывший конечным результатом последней операции.

Это осуществляется в блоке 17, который является связующим звеном между отдельными циклами проектирования переходов и операций. Завершение цикличности просмотра технологии аналога контролируется блоками 15 и 19.

На последнем этапе проектирования решается вопрос полноты обработки детали по выбранному аналогу (блок 21) с тем, чтобы не допустить ошибок в созданном ТП. Во всех случаях сомнения в правильности к проектированию привлекается ведущий технолог (блок 23).

Для практической реализации на компьютере принципиальной схемы алгоритма проектирования ТП (рис. 3) и выбора инструмента необходимо раскрыть содержание каждого блока, составив частные алгоритмы в удобной форме изложения для последующего программирования.

На этом этапе работы условия выбора инструментов должны быть изложены с предельной детализацией и определенностью процесса переработки информации.

Обеспечивается обмен информацией о сменных режущих пластинах, имеющих геометрически правильную и специальную сложную форму, о монолитных инструментах (резцы, сверла, концевые фрезы, метчики и т. п.), о сборных инструментах (резцы, сверла, фрезы со сменными режущими пластинами) и о вспомогательном инструменте (базисных агрегатах, оправках, втулках и зажимных патронах).

Представляются также данные о модульных расточных оправках с удлинителями и переходниками (адаптерами) к ним и о деталях крепления (подкладки, рычаги, винты и прижимы).

Режущий инструмент с определенными режущими кромками используется на металлорежущем станке для удаления части материала заготовки за счет перемещения кромок резца. Эти данные, являющиеся характеристиками инструмента и его применения, должны быть известны и оценены для принятия решений и выполнения технологических переходов/операций.

Это достигается путем разработки конструктивно-технологической классификации элементов инструмен-

тальной оснастки и языка кодирования ее типовых структурных составляющих и разработки информационной базы данных, входных и выходных форм информации по инструментам.

Представление и обмен данными по инструментам

В соответствии с ГОСТ Р 55341-2012/ISO/TS 13399-100:2008 предусмотрено представление и обмен данными о режущем и вспомогательном инструментах, интерпретируемых компьютером. Предложен механизм, способный описывать данные о продукте, касающиеся режущих инструментов, независимо от какой-либо конкретной системы.

Характер этого описания подходит не только для нейтрального обмена файлами без ограничений использования, но и в качестве основы для внедрения и совместного использования баз данных о продуктах архивирования.

Этот механизм описания может использоваться для обмена данными при использовании автоматизированных технологий управления жизненным циклом изделия (CALS, CAx) [4]. Это может быть обмен данными между автоматизированным проектированием (CAD), автоматизированным производством (CAM), автоматизированным моделированием (CAE), программным обеспечением для управления инструментами, управлением данными о продукции (PDM/EDM), планированием производственных ресурсов (MRP) или планированием ресурсов предприятия (ERP) и другими системами.

Ожидаемые результаты – снижение затрат на управление информацией об инструментах и более точное и эффективное использование производственных ресурсов.

Комплекс международных стандартов ISO 13399 подготовлен Техническим комитетом ИСО/ТК 29 и включает обзор, основные принципы и общую информационную модель.

В состав также включены справочные словари по:

- режущим элементам;
- державкам резцов;
- переходникам, патронам и другим адаптивным элементам;
- деталям крепления;
- деталям, входящим в системы соединений.

Также приведены определения, принципы и методы для справочных словарей.

Цель стандартизации – электронное представление данных по модулям (элементам) инструментальной оснастки с помощью информационной структуры, необходимой для описания компоновок из модулей в инструментальные наладки. Стандарт предназначен для облегчения использования, манипулирования и обмена этими данными в процессе производства, распределения или применения.

Использование инструментальной информационной модели, представленной в комплексе международных стандартов ИСО 13399, должно обеспечивать повышенную

производительность для пользователя.

Информационная модель представляет собой формальную спецификацию различных типов идей, фактов и процессов, которые вместе дают описание реального мира, представляющего интерес, и набор правил интерпретации. Информация включает знание идей, фактов и/или процессов.

Данные являются символами или функциями, которые отображают информацию с использованием правил, указывающих, как следует выполнять конкретную операцию, и словаря для определения терминов, идентифицирующих эти данные.

В результате достигается представление данных обо всех модулях инструментальной оснастки металлорежущих станков для создания любых комбинаций инструментальных наладок из имеющихся модулей в виде модульного режущего инструмента (рис. 4).

Описание режущих инструментов включает геометрические параметры и данные о размерах, идентификацию и назначение, а также данные о запасных частях, режущем инструментальном материале и возможных соединениях модулей [5-7].

Предусмотрен ряд правил использования стандарта ИСО 13399:

1. Каждый участвующий в коммуникационном процессе должен применять одну и ту же информационную модель, одинаковый набор правил и тот же самый словарь во избежание неправильного понимания. Если информационная модель и ее словарь реализованы на машинно-ориентированном языке, дополнительную выгоду получают, если модель и язык подходят для обработки на ЭВМ.
2. Техническая информационная модель является спецификацией данных, которая устанавливает их смысл, в частности технический контекст. Модель должна быть разработана с помощью

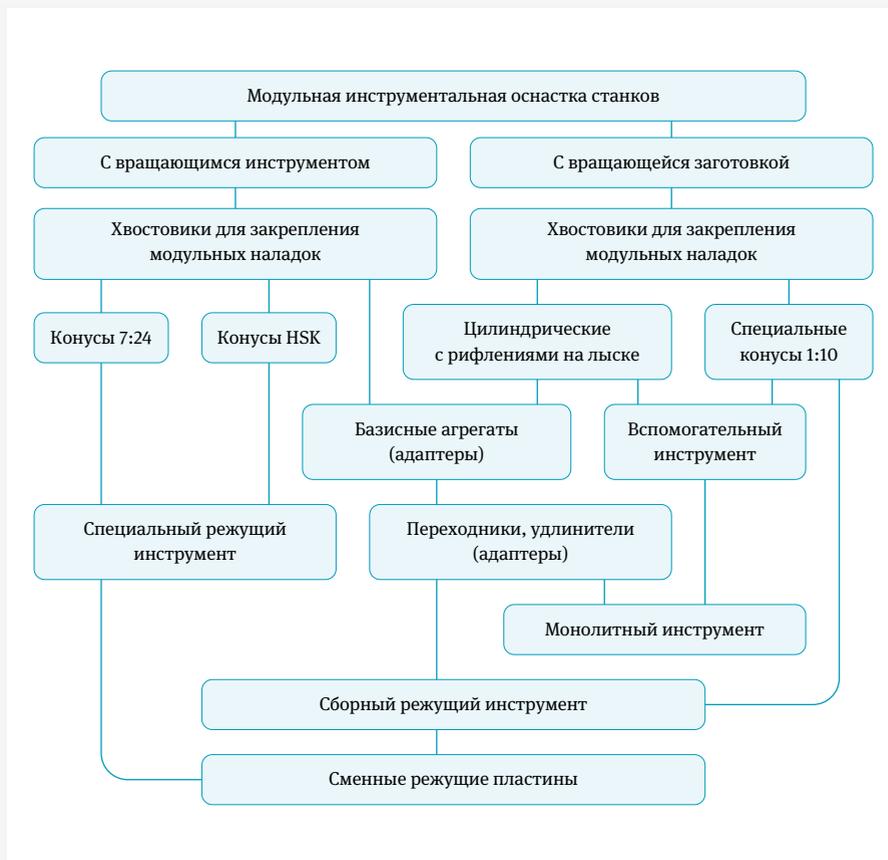


Рис. 4. Варианты конструкций режущего инструмента из модулей инструментальной оснастки

формальных методов для удовлетворения потребностей конкретной ситуации.

3. Техническая информационная модель определяет информационные объекты, которые представляют концепции технического приложения, атрибуты и их

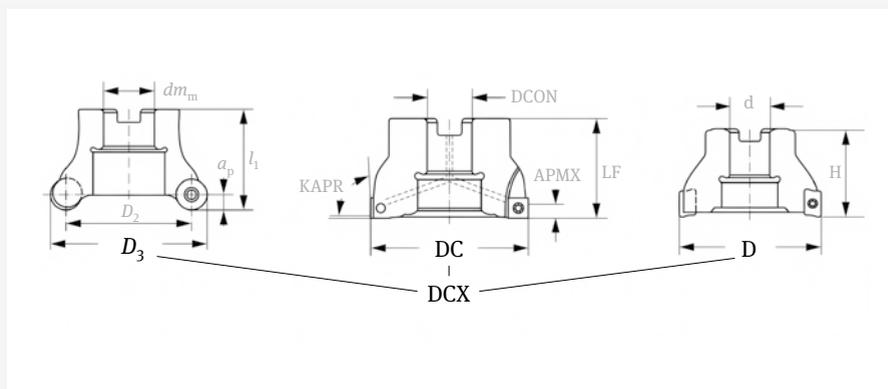


Рис. 5. Пример унификации обозначения размера для обмена информацией между поставщиками и потребителями инструмента

ЦИФРОВАЯ

ЦИФРА

ИНДУСТРИЯ
ПРОМЫШЛЕННОЙ
РОССИИ

3–6 ИЮНЯ 2025

РОССИЯ,

НИЖНИЙ НОВГОРОД





Рис. 6. Пример обозначения концевой фрезы и ее размеров по ГОСТ Р 55341-2012

взаимоотношения, а также ограничения, имеющие дополнительные значения. Информационная модель является абстрактной концепцией, которую можно использовать многократно для любой ситуации в рамках представляемого реального мира. После ее заполнения элементами данных и их значениями, приемлемыми в частной ситуации реального мира, получают экземпляр модели.

Серьезным препятствием для соблюдения указанных правил являются различия в терминологии и обозначениях в среде поставщиков инструмента, которые усложняют процедуры сбора и передачи точной однозначной информации.

На рис. 5 показано, что у разных поставщиков диаметр торцевой фрезы обозначается по-разному – «D₃», «DC» и «D», что очень неудобно для программирования. По стандарту ISO 13399 диаметр должен всегда обозначаться как «DCX», так как многие функции современных систем управления производством зависят от обеспечения систематизированной информацией.

Обмен информацией об инструментах между системами сбыта и закупок упрощается, когда все модули инструментальной оснастки имеют одинаковую словарную терминологию, а каждый инструмент определяется стандартизованными параметрами. Международный стандарт определяет и унифицирует такие параметры инструментов как функциональная длина, диаметр резания, максимальная глубина резания и т. п. (рис. 6).

С учетом изложенного, можно говорить об отмене действия ГОСТ 25762-83 «Обработка резанием. термины, определения и обозначения общих понятий», который

соответствует стандарту ИСО 3002/1-77 в связи с отменой действия последнего при автоматизации инструментального обеспечения цифровых производств.

Выводы

Комплекс международных стандартов ИСО 13399, применяемый в производстве изготовителями и поставщиками инструментов, а также разработчиками производственного программного обеспечения, устанавливает общую структуру обмена данными о режущих инструментах и предназначен для обеспечения возможности их улучшения.

При использовании разных бизнес-моделей для передачи информации о своей продукции производители режущих инструментов при общении могут использовать разные наборы их свойств, используя информационную модель и словари, установленные в стандарте ИСО 13399.

Наличие общего языка с точки зрения межсистемных коммуникаций облегчает работу пользователей. Поэтому международный стандарт ISO 13399, упрощающий обмен данными о режущих инструментах, является повсеместно признанным способом описания параметров режущих инструментов.

Литература

1. **Должиков В. П.** Технология наукоемких машиностроительных производств: учебное пособие для вузов /3-е изд., стер. СПб: Лань, 2024. 304 с.
1. **Сиротин Н. Н., Марчуков Е. Ю., Новиков А. С. и др.** Основы конструирования, производства и эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок в системе CALS технологий: учебник в 3 кн. Кн. 2: Производство ГТД и ЭУ /2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 2012. 431 с.
2. **Маслов А. Р.** Инструментальное обеспечение автоматизированных производств // М.: Янус-К, 2020. 190 с.
3. **Норенков И. П., Кузьмик П. К.** Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. 319 с.
4. ИСО 1832. Пластины многогранные сменные для режущих инструментов. Обозначение.
5. ИСО 3002-1:1982. Основные величины, относящиеся к процессам резания и шлифования. Часть 1. Геометрия рабочей части режущего инструмента. Основные термины, эталонные системы координат, углы резания и истинные углы режущего инструмента, стружколомы.
6. ИСО 3002-3:1984. Основные величины, относящиеся к процессам резания и шлифования. Часть 3. Геометрические и кинематические величины, относящиеся к процессу резания.

Автор

Маслов Андрей Руффович – доктор технических наук, профессор, кафедра «Инструментальная техника и технологии», МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



*Боровский Г.В., Волосова М.А.,
Григорьев С.Н., Маслов А.Р.*

Современное инструментальное обеспечение российского машиностроения

**М.: ТЕХНОСФЕРА, 2025. – ок. 300 с.
ISBN 978-5-94836-710-1**

В книге изложены достижения в области инструментального обеспечения отечественных машиностроительных предприятий прогрессивным режущим инструментом с учетом сложившейся рыночной ситуации.

Даны сведения о реальных отечественных поставщиках широкой номенклатуры режущего инструмента, современных инструментальных материалов в виде сменных многогранных пластин (СМП) из твердых сплавов без покрытия и с износостойкими покрытиями CVD и PVD, из режущей керамики и из поликристаллических сверхтвердых материалов.

Приведена обширная информация о поставщиках твердосплавных стержней для изготовления монолитного концевой инструмента методом вышлифовки.

Особое внимание уделено способам повышения надежности работы режущего инструмента за счет применения современных технологий нанесения износостойких покрытий на инструмент и СМП из твердых сплавов и режущей керамики.

Даны рекомендации по выбору инструментального материала с учетом характеристик обрабатываемости материалов современных наукоемких изделий в условиях цифрового производства.

Издание предназначено для широкого круга пользователей, таких как технологи машиностроения, конструкторы инструмента и преподаватели колледжей и университетов технического направления.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphaera.ru
sales@technosphaera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphaera.ru

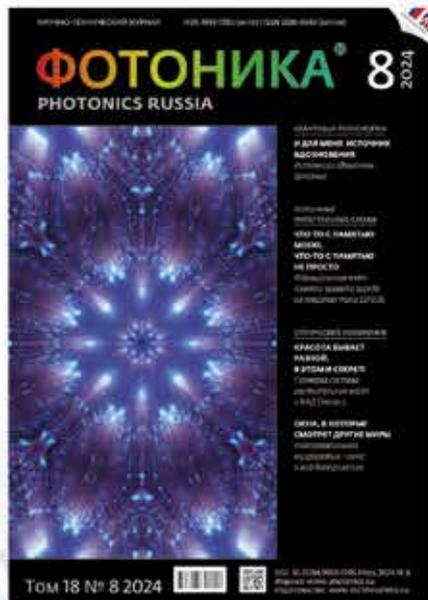


ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosfera.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru