

---

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

---

УДК 621.9

И.Н. Фролова<sup>1</sup>, А.И. Лаптев<sup>2</sup>

## СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫБОРА СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

ПКО «Теплообменник»<sup>1</sup>,

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

Статья посвящена вопросам автоматизации процедуры технологического проектирования. Дан краткий обзор проблем, стоящих перед разработчиками систем автоматизированного проектирования технологических процессов. Предложено решение проблемы автоматического выбора средств технологического оснащения. Рассмотрен универсальный подход к описанию всех элементов технологической системы.

*Ключевые слова:* технологическая подготовка производства, средства технологического оснащения, технологическая система.

### *Актуальность автоматизации процесса выбора средств технологического оснащения для изготовления изделия*

Перед каждым предприятием машиностроительного профиля на переднем плане стоит задача оптимизации технической подготовки производства. В общем виде, техническую подготовку производства можно представить как совокупность конструкторской подготовки производства, технологической подготовки производства и организационной подготовки производства.

Автоматизация конструкторской подготовки производства в настоящее время находится на удовлетворительном уровне и представлена CAD/CAE системами, которые позволяют существенно сократить сроки разработки конструкции нового изделия и повысить его качество.

Организационная подготовка производства также может быть автоматизирована системами MES, ERP, MRP.

С автоматизацией технологической подготовки производства дело обстоит сложнее. Для выявления подлежащих автоматизации компонентов, рассмотрим структуру технологической подготовки производства по этапам:

- планирование технологической подготовки производства – прогнозирование, планирование и моделирование технологической подготовки производства;
- технологическое проектирование – распределение номенклатуры между цехами и подразделениями предприятия, разработка технологических маршрутов движения объектов производства, разработка техпроцессов изготовления и контроля деталей, сборки и испытаний и всей прочей технологической документации, типизация технологических процессов, разработка базовых и групповых процессов, технико-экономическое обоснование технологических процессов;

- выбор оборудования – выбор и обоснование универсального, специального, агрегатного и нестандартного оборудования, выдача заданий на проектирование этого оборудования, а также на проектирование гибких автоматических, автоматизированных, роботизированных линий и комплексов, конвейеров, транспортных средств и т.п.;
- выбор и технологическое конструирование оснастки – выбор необходимого специального, универсального и унифицированного оснащения, проектирование (технологическое конструирование) оснастки, технико-экономические обоснования выбора и применения оснастки;
- нормирование.

Современные САПР ТП представляют возможности по автоматизации ведения технологической документации и автоматизации поиска техпроцессов аналогов. По существу, процесс технологического проектирования остается ручным процессом. Открытым остается вопрос о рациональном выборе средств технологического оснащения. Процесс выбора остается ручным, а ведь от него зависит технологический маршрут движения объектов производства.

Итак, одной из основных задач по автоматизации технологической подготовки производства является автоматизация процесса выбора средств технологического оснащения для изготовления изделия.

### ***Автоматизация выбора средств технологического оснащения***

На данный момент, в системах САПР ТП привязка оборудования к технологическому процессу осуществляется вручную. По сути дела отсутствует автоматизация процесса, стоящего во главе угла технологического проектирования. Следовательно не правомочно говорить об автоматизации процесса технологического проектирования без автоматизации процедуры выбора средств технологического оснащения. Таким образом, существующие САПР ТП не более чем редакторы технологических процессов.

Для выбора средств технологического оснащения нам необходимо знать:

- из чего выбирать (база данных средств технологического оснащения);
- для чего выбирать (информация о детали: вид поверхности, точность, качество поверхности);
- как выбирать (процедура выбора и оптимизация выбора по заданному критерию).

Решение первого вопроса – создание баз данных средств технологического оснащения. На первый взгляд весьма простая процедура, однако, содержание этих баз данных должно соответствовать некоторым требованиям, а именно:

- содержать информацию о средствах технологического оснащения в виде, обеспечивающем привязку средств технологического оснащения к детали и друг к другу (приспособления к станку, инструмента к приспособлению);
- иметь возможность легкого проведения дополнения и изменения;
- иметь привязку к системам организационной подготовки производства.

Информация о поверхностях детали должна поставляться непосредственно с САД-системы и должна автоматически приводиться к единому для всей технологической системы виду.

Процедура выбора средств технологического оснащения должна быть оптимизирована по критериям, задаваемым системами автоматизации организационной подготовки производства, т.е., как говорилось выше, иметь привязку к этим системам.

Предлагаемый метод автоматизации выбора средств технологического оснащения базируется на единстве описания всех элементов технологической системы (станка, приспособления, инструмента, детали).

### ***Единство математических основ описания элементов технологической системы***

Для описания элементов технологической системы, необходимо рассмотреть структуру каждого элемента в отдельности. Анализ элементов структуры поможет выявить метод общего их описания.

Функции элементов технологической системы приведена на рис. 1–3.

Из рис. 1–3 видно, что элементы технологической системы имеют схожие функции (с точки зрения технологии), которые можно описать как функцию базирования и функцию формообразования. Цепочка выбора элементов технологической системы выглядит следующим образом:

- анализ обрабатываемой поверхности. Как итог – множество движений формообразования (т.к. поверхность можно получить различными способами и для различной модели инструмента – точечной, линейной, поверхностной). Сравнивая потребные движения формообразования с движениями формообразования имеющегося оборудования можно выделить множество возможного оборудования для обработки заданной поверхности или выявить невозможность обработки на имеющемся оборудовании;
- анализ технологических баз детали. Сравнивая технологические базы детали с описанием подсистемы базирования заготовки на станке, делаем вывод о возможности закрепления детали на данной единице оборудования. Тем самым сужаем множество возможного оборудования для обработки детали;
- анализ баз приспособления. Приспособление как переходный элемент между оборудованием и инструментом (деталью) имеет два комплекта баз. Первый комплект характеризует применимость указанного приспособления на данном оборудовании (т.е. возможно ли закрепить приспособление на станке), второй – применимость данного приспособления для базирования данного инструмента (детали). Поскольку выбор приспособления ограничивается как оборудованием, так и инструментом (деталью), целесообразно приспособление выбирать последним, после определения множеств остальных элементов технологической системы;
- анализ инструмента. Первым признаком инструмента является модель формообразования, осуществляемая этим инструментом. Модель формообразования принимается на этапе анализа обрабатываемой поверхности. Тем самым значительно ограничивается множество инструмента. Второе ограничение возникает после определения множества оборудования. Оборудование ограничивает возможные движения инструмента. Если оборудование не способно воспроизвести заданные движения формообразования, делают вывод о неприменимости данной связки оборудование – инструмент или об использовании приспособления, выполняющего недостающие движения формообразования (револьверная головка с приводом инструмента на токарных обрабатывающих центрах).



Рис. 1. Функциональная схема станка



Рис. 2. Функциональная схема приспособления

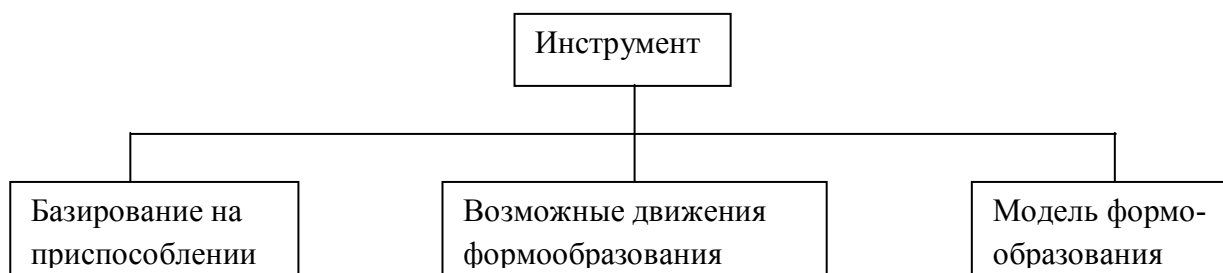


Рис. 3. Функциональная схема инструмента

Идея автоматизированного выбора средств технологического оснащения базируется на сравнении потребных баз с имеющимися и потребных движений формообразования с имеющимися. Поскольку базы являются поверхностями, а поверхности получаются совокупностью движений направляющей и образующей, можно рассмотреть единый математический аппарат для анализа как баз, так и движений формообразования. Поскольку описания функций элементов технологической системы производятся в собственной системе координат (оборудования, инструмента или приспособления), необходимо совершать перевод собственной системы координат в глобальную. Такой перевод можно рассматривать как движение собственной системы координат до совмещения с глобальной, т.е. математический аппарат для перехода к глобальной системе координат един с аппаратом анализа баз и движений формообразования.

При рассмотрении заданных движений (станка, приспособления, систем координат) удобно представлять систему как совокупность систем координат. Начало  $O$  и оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  системы координат при этом увязываются с конструктивными или технологическими базами элемента технологической системы. Такими базами преимущественно являются направляющие, шпиндельные опоры, точно обработанные плоскости и цилиндрические поверхности.

Твердое тело, как известно, может иметь шесть степеней свободы. Поскольку звенья технологической системы обладают лишь одной степенью свободы в относительном движении, то с каждым звеном однозначно связывается один из приведенных в табл. 1 символов.

Таблица 1

## Обозначение координатных движений

Вид движения	Направление	Символ движения
Поступательное	Вдоль оси $X$	1
	Вдоль оси $Y$	2
	Вдоль оси $Z$	3
Вращательное	Вдоль оси $X$	4
	Вдоль оси $Y$	5
	Вдоль оси $Z$	6

Рассмотрим в качестве примера технологическую систему, состоящую из токарного станка, цилиндрической заготовки и нескольких резцов. Токарный станок имеет собственную систему координат, привязанную к оси шпинделя (рис. 4). В этой системе координат движения формообразования (движения узлов станка) в соответствии с табл. 1 имеют вид 631.

Базирование заготовки в патрон осуществляется по цилиндрической поверхности, которая получается совокупностью вращательного и поступательного движений. В системе координат станка такой состав движений отражается символами 63 (порядок значения не име-

ет, при любом сочетании заданного вращательного и поступательного движений получается цилиндрическая поверхность).

Базирование инструмента осуществляется в резцедержатель по плоским поверхностям. Плоская поверхность описывается сочетанием двух прямолинейных движений. В системе координат станка базовая плоскость ZX опишется как 13.

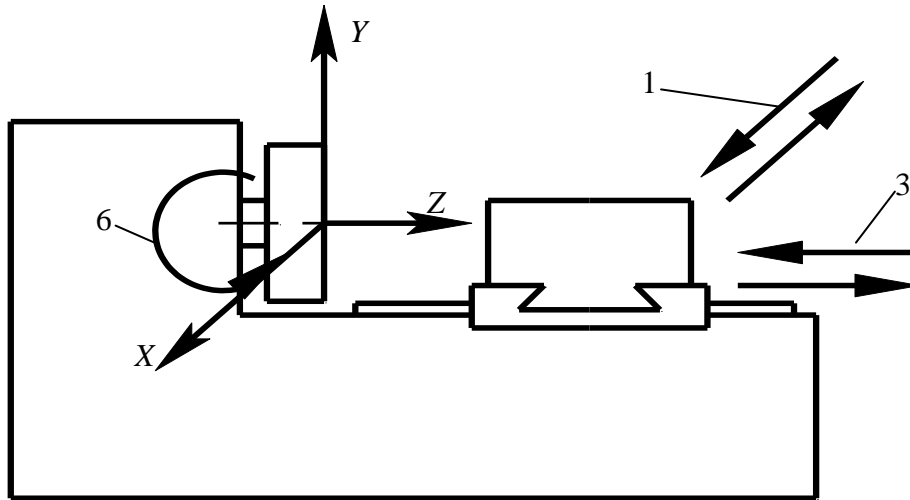


Рис. 4. Собственная система координат токарного станка

При переходе к глобальной системе координат система координат станка совершит поворот (один или несколько) до совмещения с глобальной. Пусть глобальная система координат ориентирована, как показано на рис. 5 (индексами С отмечена собственная система координат, индексами Г - глобальная).

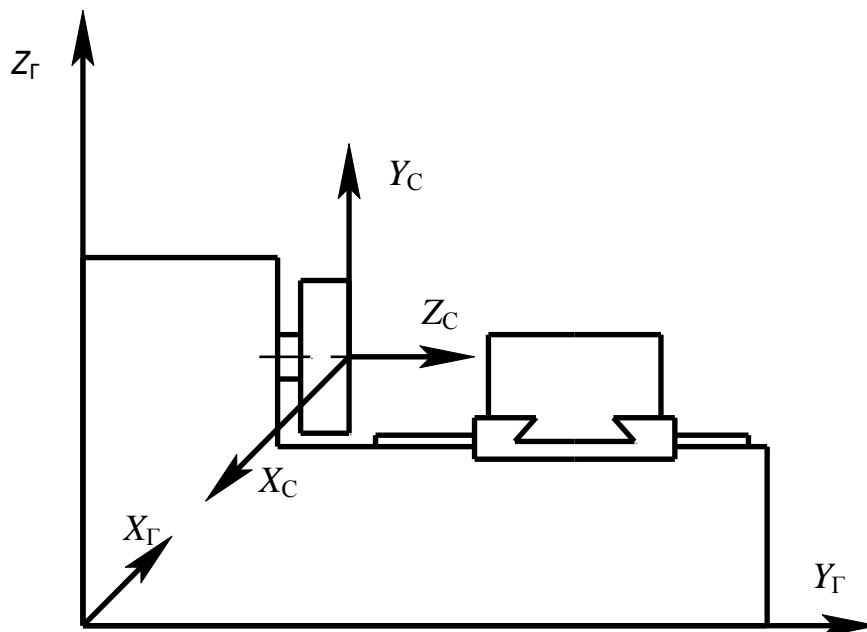


Рис. 5. Переход от собственной системы координат станка к глобальной

Переход от собственной системы координат к глобальной осуществляется с помощью поворота собственной системы координат вокруг оси X на +90°, затем поворота полученной переходной системы координат вокруг оси Z на 180°. Таким образом, оператор перехода к глобальной системе координат кодируется как 466 (один символ означает поворот на 90°).

Поворот системы координат на  $180^\circ$  не влияет на изменение координатных кодов, поэтому его можно отбросить. Оператор перехода примет вид 4.

Можно сформулировать простое правило, благодаря которому с помощью координатного кода в собственной системе координат и оператора перехода можно получить координатный код в глобальной системе координат: при повороте системы координат вокруг оси на  $90^\circ$  символы координатного кода, характеризующие движение относительно этой оси не меняются, относительно других осей меняются местами. То есть при повороте собственной системы координат на 4, код 631 примет вид 521. Сформулированное правило можно свести в табл. 2 для удобства использования.

Координатный код базирования заготовки примет вид 52, базирования инструмента – 12.

Таблица 2

Правило преобразования координатного кода

Исходный символ кода	Оператор поворота системы координат		
	4	5	6
1	1	3	2
2	3	2	1
3	2	1	3
4	4	6	5
5	6	5	4
6	5	4	6

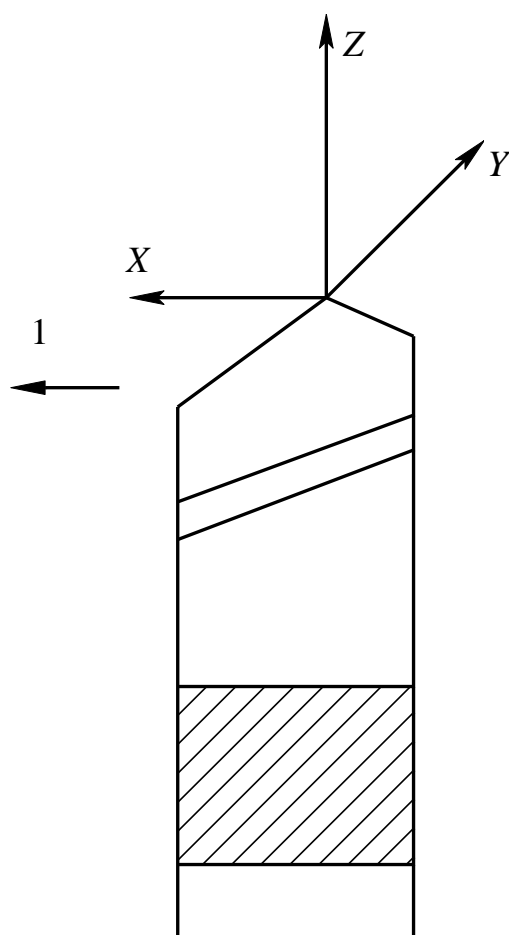


Рис. 6. Собственная система координат токарного резца с державкой прямоугольного сечения

Токарный резец с державкой прямоугольного сечения базируется по плоскостям. Систему координат инструмента примем, как показано на рис. 6. Система координат приведена в вершину резца (принято, что резец производит формообразование по точечной модели. Рассмотрение модели формообразования и связанных с ней координатных преобразований выходит за рамки данной статьи). Координатный код базирования резца имеет вид 13. Координатный код разрешенных движений формообразования (возможных движений подачи) – 1. Резец устанавливается в резцедержатель станка таким образом, чтобы ось Z резца совпала с осью X собственной системы координат станка (рис. 4, 6). Оператор преобразования системы координат резца в собственную систему координат станка имеет вид 5 (рис. 7). Координатный код базирования инструмента в системе координат станка примет вид 31, координатный код разрешенных движений формообразования в системе координат станка примет вид 3.

Резцовая головка с аналогичной режущей частью имеет координатный код базирования 63 (базирование по цилиндрической поверхности) в собственной системе координат инструмента и координатный код разре-

шенных движений формообразования 1. В собственной системе координат станка координатный код базирования инструмента примет вид 41, координатный код разрешенных движений формообразования – 3.

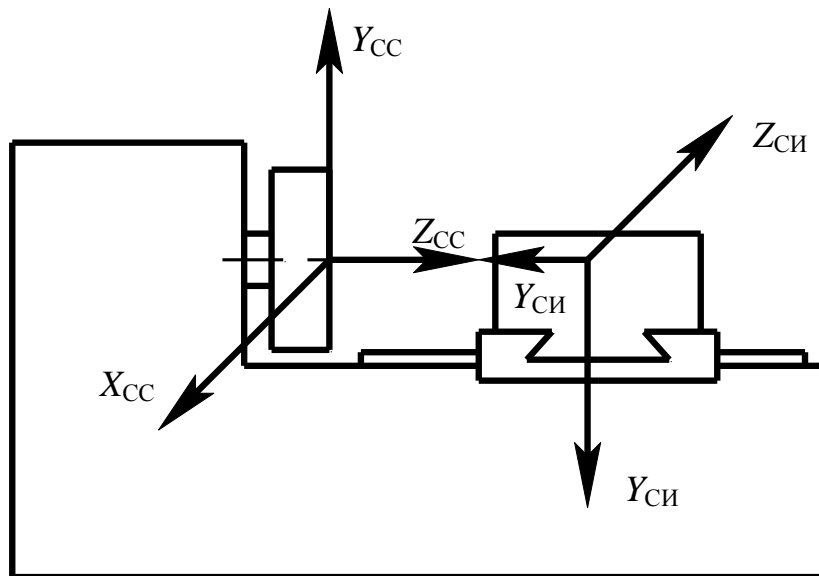


Рис. 7. Собственные системы координат станка (CC) и инструмента (CI)

Проанализируем полученные данные. Сведем в табл. 3 данные по станку и инструментам. Инструмент 1 – резец токарный с державкой прямоугольного сечения, инструмент 2 – резцовая головка. Формообразующие возможности инструментов одинаковы. Однако резцовая головка имеет базирующую подсистему несовместимую с базирующей подсистемой станка, что отражено в несовпадении координатных кодов базирующих подсистем.

Анализируя табл. 3 можно сделать вывод, что выбор средств технологического оснащения может осуществляться в автоматическом режиме. Кодирование инструмента осуществляется по каталогу (в современных каталогах указываются формообразующие возможности инструмента), как и кодирование станка. Специальных навыков для этого не требуется.

Таблица 3

Анализ возможностей использования инструмента на данном оборудовании

Характеристики	Координатные коды в собственной системе координат станка		
	Станок	Инструмент 1	Инструмент 2
Базирование	13	31	41
Формообразующие возможности	31	3	3

**Выводы:**

- на сегодняшний день САПР ТП не автоматизирует выбор средств технологического оснащения, что значительно тормозит автоматизацию технологической подготовки производства;
- выбор средств технологического оснащения может осуществляться без участия технолога в автоматическом режиме при соответствующем кодировании элементов технологической системы;

- предложенная методика кодирования элементов технологической системы проста в использовании (для кодирования станка и инструмента нет нужды в специальных навыках, кроме навыков работы с каталогами станко-инструментальных фирм) и использует единый математический аппарат для любого элемента системы.

*Дата поступления  
в редакцию 26.01.2010*

**I.N. Frolov, O.I. Kutilova**

**THE ANALYSIS OF MODERN SYSTEMS OF THE AUTOMATION  
DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

In a paper computer-aided design methods, modern systems of computer-aided design of technological processes are considered and the analysis of the most widespread programs for projection of technological processes is made.

*Key words:* computer-aided design, technological process.