

УДК 621.452.3

Канд. техн. наук В. Ф. Мозговой<sup>1</sup>, В. А. Панасенко<sup>1</sup>,  
д-р техн. наук А. Я. Качан<sup>2</sup>, И. И. Котов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «Мотор Сич», <sup>2</sup>Запорожский национальный технический университет;  
г. Запорожье

## МЕТОД ПАРАМЕТРИЗАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГТД НА МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ МНОГОКООРДИНАТНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

*Предложен метод расчета и параметризации пятикоординатных управляющих программ обработки деталей на станках с ЧПУ с системой Sinumerik-840D для унификации программ при передаче со станка на станок.*

**Ключевые слова:** управляющая программа, метод, станок с ЧПУ, обработка.

### Постановка задачи

Задачей современного наукоемкого авиационного производства является неуклонное совершенствование технологического обеспечения выполнения усложняющихся конструкторских задач при производстве деталей авиационных двигателей. Одним из приоритетов в этом направлении на АО «Мотор Сич» является поиск и внедрение в производство современных технологий, модернизация и капитальный ремонт оборудования с ЧПУ. Поставленная руководством предприятия задача модернизации металлорежущего оборудования с ЧПУ с особыми технологическими требованиями явилась одной из важных условий снижения затрат и повышения конкурентоспособности.

Используемое ранее оборудование с ЧПУ, в частности обрабатывающие центра, морально и физически устарели, а приобретение нового требует значительных капиталовложений. На предприятии пошли по пути модернизации существующего станочного парка, модернизировав систему управления и привода, восстановив механические узлы и гидравлику. На станки были установлены разработанные в ОКБ высокомоментные приводные столы, заменена система ЧПУ. В итоге, полученное оборудование приобрело не только первоначальные технические характеристики, но и значительно были расширены его технологические возможности.

Модернизация производится в плановом порядке. В качестве базовой системы ЧПУ была выбрана многофункциональная модульная система ЧПУ SINUMERIK-840D [1].

Имея на предприятии несколько успешно модернизированных станков модели ИС-800, перед службой технологического программирования стал вопрос об унификации управляющих

программ обработки. Задача заключалась в том, чтобы обеспечить производство управляющими программами на одни и те же модели станков без дополнительного пересчета в зависимости от изменяющихся технологических и станочных параметров. В более широком смысле задача состояла в расширении предложенного способа унификации и использование управляющих программ на ранее приобретенном импортном оборудовании с ЧПУ, родственное модернизированному.

### Цель работы

Разработать метод генерирования через постпроцессор управляющих программ 5-координатной непрерывной и позиционной обработки деталей ГТД на модернизированных 5-координатных обрабатывающих центрах класса ИС-800, оснащенных системой ЧПУ Sinumerik-840D.

Предложенный метод должен исключать в дальнейшем необходимость пересчета управляющих программ в САМ-системе при непрогнозируемом изменении станочных и технологических параметров обработки. Созданная унификация управляющих программ на АО «Мотор Сич» решает вопрос не только по сокращению сроков подготовки УП на модернизированное оборудование, но и обеспечивает совершенствование эксплуатации ранее поставленного импортного оборудования с ЧПУ, не имеющего современного программного обеспечения системы ЧПУ в области пятикоординатных внутренних преобразований.

### Содержание и результаты исследований

Необходимо отметить, что рассматривается пятикоординатная и позиционная обработка (3+2) деталей, примерами которой могут служить моноколеса, центробежные колеса, корпуса с наклонными плоскостями и т. д.

Современное оборудование с ЧПУ, предназначенное для многокоординатной обработки деталей, характеризуется мощным вычислительным модулем, которым является система ЧПУ станка. Внешние и внутренние преобразования системы ЧПУ Sinumerik-840D современных станков при 5-осевой обработке обеспечивают выполнение специфических функций, характерных для многоосевой обработки. Одной из таких функций является функция трансформации 5-осевой обработки – TRAORI.

Применение 5-осевой трансформации позволяет компенсировать движения инструмента во время обработки, которые получаются в результате изменения ориентации, с помощью соответствующих компенсационных движений геометрических осей. Ориентационные движения разделены от движений по контуру детали. Это позволяет ориентировать инструмент в любом нужном положении в каждой точке рабочей зоны. Расчет также включает автоматическую компенсацию длины инструмента. Далее кинематическая трансформация преобразует эту информацию в команды движения реальных осей станка.

Непременное условие – это станок, который может контролировать движение инструмента одновременно в 5-ти осях. Обычно это три линейные оси X, Y, Z, плюс дополнительно две круговые оси, которые и характеризуют 5-координатный станок в целом (рис. 1).

Ориентация инструмента при программировании перемещений описывается стандартными средствами языка программирования системы ЧПУ Sinumerik-840D и задается непосредственно в кадрах УП. Применение обычных методов программирования без функции TRAORI не связывает взаимные перемещения линейных и круговых осей в единое целое при изменении одного из компонентов управления. В результате, движения исполнительных механизмов станка формализованы в пространстве (рис. 2), зависят от кинематики станка и величин компонентов. Программа становится «жесткой».



Рис. 1. Оси 5-координатного станка с ЧПУ

Функция трансформации TRAORI в реальном времени осуществляет преобразования при одновременном движении 5-ти осей. В этом случае, сгенерированная программа не зависит от кинематики станка и величин компонентов.

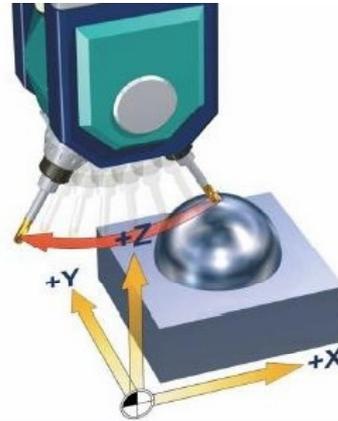


Рис. 2. Движение инструмента без функции TRAORI

Управляющая программа, как правило, содержит следующие данные:

- линейные координаты, которые необходимо достичь вершине инструмента X, Y и Z;
- фактические позиции осей A, B, C, по отношению к детали.

Способы задания углов ориентации оси инструмента относительно детали рассматриваются вне данной статьи.

Когда в УП трансформация включена, позиции осей X, Y, Z всегда относятся к вершине инструмента. Изменение позиций круговых осей, участвующих в трансформации, приводит к компенсационным движениям линейных осей станка, таким образом, чтобы позиция вершины инструмента относительно детали была неизменной (рис. 3).

Данная технология реализована на всех современных 5-координатных станках с ЧПУ оснащённых системой Sinumerik. Функция TRAORI включена в стандартный пакет программного обеспечения системы ЧПУ Sinumerik-840D пятиосевой обработки.

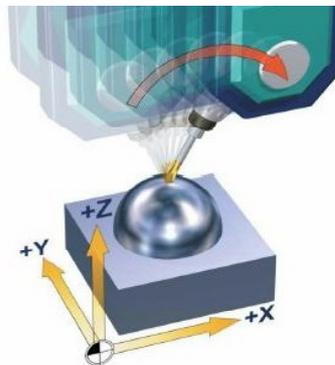


Рис. 3. Движение инструмента с функцией TRAORI

Она эффективно используется технологами-программистами при подготовке управляющих программ обработки деталей на хорошо зарекомендовавших себя 5-координатных станках фирм HURON, HERMLE [2].

Удобство подготовки программ с применением функции TRAORI состоит еще и в том, что технологу не нужно учитывать в расчете высоту приспособления и геометрические размеры взаимного расположения круговых столов станка. Технолог рассчитывает управляющую программу относительно нулевой точки программирования, находящейся на опорном торце приспособления и совпадающей с опорным технологическим торцем детали или в любой другой удобной для него точке.

Нулевая точка программирования при 5-осевой обработке не обязательно должна быть неподвижной в пространстве, как ранее требовала классическая схема расчета.

При настройке оборудования наладчик переносит ноль станка в выбранную технологом нулевую точку программирования, вносит на пульте ЧПУ соответствующие смещения базы по G54, а учет геометрических размеров радиусов качания столов учитывается внутренними преобразованиями процессора через функцию TRAORI в управляющей программе (рис. 4).

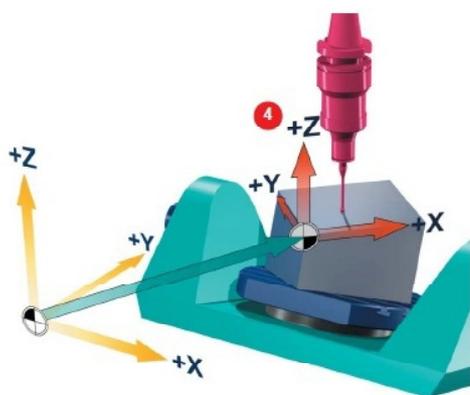


Рис. 4. Настройка станка с функцией TRAORI

Для того, чтобы избежать столкновения на станке во время обработки, функция TRAORI позволяет зафиксировать точку относительно поверхности детали и следовать вершиной инструмента за ней при повороте столов.

В качестве базовой модели для модернизации был предложен 3-координатный обрабатывающий центр ИС-800. Этот тип станка включает несколько моделей станков похожих по кинематической структуре: ИР-500, ИС-500, ИР-800. В ходе модернизации на этот станок были установлены высокомоментные поворотные столы, разработанные и изготовленные в ОКБ предприятия (рис. 5) [3].

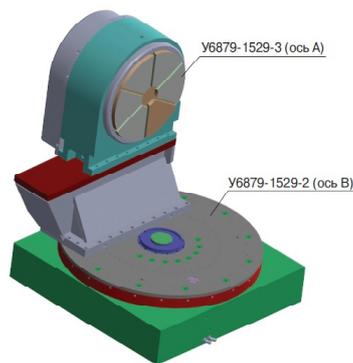


Рис. 5. Высокомоментные поворотные столы

Трёхкоординатный станок после модернизации и замены системы ЧПУ приобрел статус 5-координатного. На модернизированных станках ИС-800, где через систему ЧПУ не реализован режим трансформации TRAORI, при создании УП технологу программисту приходилось учитывать расстояние от оси вращения горизонтального стола до зеркала вертикального стола (назовем его R21 – «PIVOT OFFSET»), а также высоту приспособления (назовем ее R22) (рис. 6).

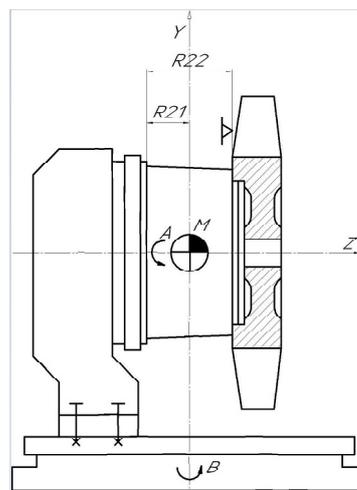


Рис. 6. Система координат программирования при классической схеме расчета: R21 – параметр PIVOT OFFSET; R22 – высота приспособления

Это, так называемая, классическая схема расчета управляющих программ на 5-координатное оборудование. Нулевая точка программирования (точка М) в таком случае должна быть обязательно неподвижной в пространстве при всех движениях стола «В».

Расчет движения инструмента в САМ-системе осуществлялся относительно этой точки. При внеплановом или плановом изменении величин R21 или R22 происходит смещение заготовки в пространстве вдоль оси поворотного стола «А». Именно по этой причине ранее рассчитанные

управляющие программы необходимо было пересчитывать с учетом изменившихся значений. Данная технология работы была очень громоздкой.

Практика показала, что необходимость пересчета программ возникает довольно часто, так как после каждого ремонта станка и его последующей настройки, параметр R21 изменяется. Также, если взять другое приспособление (параметр R22), высота которого хотя бы на сотые доли миллиметра не совпадает с первым, УП также необходимо было пересчитывать с учетом новой величины.

Ко всему прочему, даже на нескольких станках одной модели параметр R21 – «PIVOT OFFSET» – есть величина переменная, и программу нельзя было переставить со станка на станок без пересчета. Программы были не взаимозаменяемые.

Пересчет одних и тех же УП на разные станки одной модели с разными станочными константами представлял очень трудоемкий процесс и был сопряжен с возможными ошибками.

Для минимизации трудозатрат и исключения возможных механических ошибок при вынужденных пересчетах программ специалисты отдела программирования станков с ЧПУ Управления главного технолога АО «Мотор Сич» предложили новый формат УП под систему ЧПУ Sinumerik-840D.

Предложенный формат полностью решал проблему взаимозаменяемости управляющих программ, которые перестали быть зависимы от параметров настройки станка R21 и высоты приспособления R22. Новый метод расчета хотя и не обладал в полной мере всеми характеристиками, присущими «фирменной» функции TRAORI, однако, позволил унифицировать программы и отказать от трудоемкого пересчета при передаче УП со станка на станок.

На модернизированных обрабатывающих центрах ИС-800 с системой ЧПУ Sinumerik-840D в одном из механических цехов предприятия был опробован и отлажен математический модуль, отвечающий за правильность интерпретации параметризованных программ обработки.

В результате автоматизации через разработанный постпроцессор в кадрах УП выводились математические вычисления, учитывающие при качаниях столов параметры R21 и R22. При эксплуатации такого вида программ численное значение «PIVOT OFFSET» и высота приспособления (параметры R21 и R22) вводились наладчиком непосредственно на стойку ЧПУ станка перед обработкой детали. Численные значения этих величин наладчик измерял самостоятельно доступными средствами контроля прямо на станке перед обработкой детали или раньше.

Расчет траектории движения режущего инст-

румента выполнялся относительно нулевой точки программирования, расположенной на опорном технологическом торце детали (рис. 7), т. е. на опорной поверхности приспособления. Расчет, за-

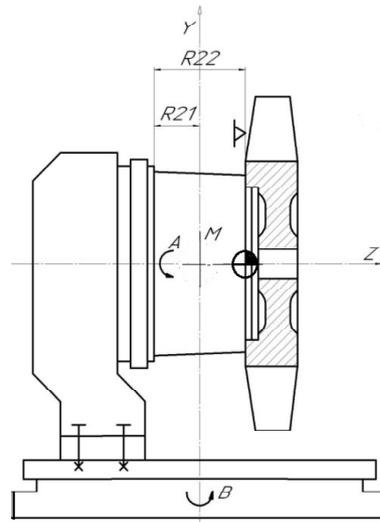


Рис. 7. Система координат программирования при новом методе расчета

Предложенная технология работы позволила на качественно новом уровне подойти к решению актуальной задачи взаимозаменяемости управляющих программ на разные станки одной модели.

После проведенных испытаний и внедрения новой технологии подготовки УП отпала необходимость в пересчете программ на 5-координатное оборудование вводимое в эксплуатацию после текущего или капитального ремонта.

Управляющие программы можно свободно «переносить» со станка на станок одного типа, и не только! При совпадении осей координат программирования на станках разных моделей, отлаженная и внедренная программа на одном станке, способна работать и на другом. Только подходить к решению этой задачи необходимо с большим вниманием, поскольку на разных станках может отличаться начальные и конечные кадры программы, но это уже совсем другая область применения средств автоматизации, которая зависит от особенностей программирования на данный станок.

В производственных цехах АО «Мотор Сич» успешно эксплуатируются пятикоординатные обрабатывающие центры фирмы LIECHTI ТВ-1005 (рис. 8). Эти станки и модернизированные станки ИС-800 (рис. 9, 10) имеют схожую кинематическую схему. Это позволило за счет применения на двух станках фирмы LIECHTI, не имеющих функции TRAORI, параметризации управляющих программ, обеспечить взаимозаменяемость УП. Ранее на эти станки программы рассчитывались независимо друг о друга – на один и на другой станок отдельно.



Рис. 8. 5-координатный станок ТВ-1005 фирмы LIECHTI



Рис. 9. Модернизированный 5-координатный станок ИС-800 с системой ЧПУ SINUMERIK-840D

Благодаря применению параметризации управляющих программ, стало возможным переносить программы со станка на станок, не опасаясь, что параметры станочных констант разные.

Совершенствуя разработанную стратегию расчета, специалисты отдела программирования станков с ЧПУ также разработали автоматизацию перевода любой ранее рассчитанной УП без параметров, в новый формат, поддерживающий параметризацию. Благодаря этому, были значительно сокращены сроки подготовки управляющих программ обработки деталей на обрабатывающих центрах.

**Мозговий В.Ф., Панасенко В.О., Качан О.Я., Котов І.І. Метод параметризації керуючих програм обробки деталей ГТД на модернізованих багатокординатних верстатах з ЧПК**

*Запропоновано метод розрахунку та параметризації п'ятикоординатних керуючих програм обробки деталей на верстатах з ЧПК з системою Sinumerik-840D для уніфікації програм при передачі з верстата на верстат.*

**Ключові слова:** керуюча програма, метод, станок з ЧПК, обробка.

**Mozgovoy V., Panasenko V., Kachan A., Kotov I. Method parametrization of operating programs of processing details engines on the modernised multicoordinate machine CNC**

*The method of calculation and parametrization of five-coordinate operating programs of processing details on machine CNC with system Sinumerik-840D for unification of programs at transfer from the machine tool on the machine tool is offered.*

**Key words:** control of program, method, CNC machine, handling.



Рис. 10. Рабочая зона модернизированного 5-координатного станка ИС-800

**Заключение**

Рассматривая новые инновационные подходы к решению производственных и технологических задач, полученный положительный эффект от внедрения прогрессивных методов расчета позволил поднять на качественно новый уровень эксплуатацию модернизированного оборудования с ЧПУ и доказал перспективность постоянного совершенствования методов подготовки управляющих программ 5-координатной обработки.

**Список литературы**

1. Бурма А. Ф. Изготовление, модернизация и ремонт обрабатывающих центров, станков с ЧПУ и другого оборудования на АО «Мотор Сич» / Бурма А. Ф. // Промышленность в Фокусе. – 2013. – Т. 5, № 9. – С. 30–37.
2. Панасенко В. А. АО «Мотор Сич»: интеллектуальный и производственный потенциал – гарант успеха предприятия / Панасенко В. А. // Промышленность в Фокусе. – 2013. – Т. 5, № 9. – С. 49–51.
3. Столы программно-поворотные и системы круговых осей : справочник // АО «Мотор Сич», 2013, март. – 23 с.

*Поступила в редакцию 14.04.2014*