

УДК 621.914

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СТАНКА С ЧПУ

**Сорочан Виталий Викторович,**кандидат физико-математических наук, доцент, Калужский государственный университет  
им. К. Э. Циолковского, Калуга, Россия. Sorochanvv@tksu.ru**Турайкин Андрей Сергеевич,**

студент, Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского, Калуга, Россия

### Аннотация

В статье рассматриваются методы создания управляющих программ для станков с числовым программным управлением. Особое внимание уделяется критериям выбора САМ системы. Описаны основные методики: блочное программирование с использованием G-кодов и M-кодов, работа с САМ-системами и параметрическое программирование. Раскрываются преимущества каждого подхода.

**Ключевые слова:** ЧПУ, программирование, автоматизация, САМ-системы, блочное программирование, параметрическое программирование.

## DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A CONTROL PROGRAM FOR A CNC MACHINE

**Sorochan Vitaly Viktorovich,**

PhD, Associate Professor Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky Kaluga, Russia

**Turaikin Andrey Sergeevich,**

Student, Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovsky Kaluga, Russia

### ABSTRACT

This article examines methods for creating control programs for CNC machine tools. Particular attention is paid to the criteria for selecting a CAM system. The main methods are described: block programming using G-codes and M-codes, working with CAM systems, and parametric programming. The advantages of each approach are discussed.

**Keywords:** CNC, programming, automation, CAM systems, block programming, parametric programming.

Современное машиностроение характеризуется активным переходом к цифровому производству, ключевым элементом которого являются станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Среди них трехкоординатные фрезерные станки занимают особое место, обеспечивая высокоточное изготовление деталей сложной геометрической формы, от штампов и пресс-форм до корпусных изделий и технологической оснастки. Однако потенциал этого высокотехнологичного оборудования раскрывается лишь при условии его грамотного программного обеспечения [1].

Для современных станков с ЧПУ существует три метода программирования обработки и создания управляющей программы:

- ручное программирование,
- программирование на стойке (пульте) управляющей системы с ЧПУ,
- программирование при помощи CAD/CAM системы [2].

Третий метод – программирование при помощи Систем Автоматизированного Проектирования САПР позволяет "поднять" процесс написания программ обработки на более высокий уровень.

К различным системам производитель предоставляет программное обеспечение для взаимодействия с ним. В одних случаях такие приложения могут работать исключительно с фирменными устройствами в других можно использовать стороннее оборудование. Рассмотрим основные особенности, преимущества и недостатки каждой из них.

Японская компания FANUC – самая мощная в мире компания в области исследований, проектирования, производстве и продажи систем ЧПУ, Компания FANUC является экспертом в создании систем ЧПУ для различных станков различной мощности, начиная от компактных настольных моделей и заканчивая промышленными обрабатывающими центрами.

Система ЧПУ Siemens является продуктом группы Automation and Drive Group в составе концерна Siemens. Устройство ЧПУ компании SIEMENS имеет модульную конструкцию, которая является более удобной.

Японская система ЧПУ Mitsubishi стремится к повышению производительности своей продукции. В промышленности широко используются системы ЧПУ Mitsubishi.

Система ЧПУ HEIDENHAIN – это система ЧПУ для контурной обработки, может управлять до 12 осями обработки.

Проводя анализ вышеперечисленных систем управления для станков с ЧПУ применительно к конкретному циклу, производства необходимо учитывать как экономическую целесообразность выпуска партии деталей на конкретном станке, так и технологическую составляющую производства (загруженность станков, технические особенности, квалификация имеющихся производственных рабочих и сопровождающих специалистов).

Считаем одной из самых удобных, как наиболее распространенной, а следовательно, максимально поддерживаемой, а значит с минимальными затратами на эксплуатацию и ремонт систему FANUC.

Работа станка ЧПУ Fanuc строится на принципе выполнения циклических рутинных операций, характерных для всех видов металлообработки независимо от сложности. Таким образом автоматика позволяет свести к минимуму воздействие человеческого фактора на скорость, ритмичность и точность обработки деталей.

Обрабатывающий центр с системой ЧПУ Fanuc представляет собой дальнейшее развитие концепции автоматизации с расширением функциональности и совмещением операций. Эффективность обработки заготовок повышается за счет:

- применения управляемых наклонных и наклонно-поворотных столов, подвижных скользящих и наклонных станин;

применения револьверных головок, инструментальных колонн, приводов для автоматической смены инструмента;

возможности выполнения последовательности операций обработки в разных плоскостях, с разными допусками по точности, с заготовками разных размеров;

выполнения 99% вспомогательных операций без участия человека, например, смены инструмента, изменения плоскости и оси обработки, смещений относительно осей в пятикоординатных станках.

С точки зрения организации производства станки Fanuc с ЧПУ позволяет максимально сократить остановки машины для выполнения вспомогательных операций, задать последовательность шагов обработки и использовать функции циклического повтора операций в серийном производстве. При грамотном программировании ЧПУ циклы любой сложности выполняются без лишних перемещений заготовки и инструмента, при этом задаются требования к очистке плоскостей, подаче смазочно-охлаждающей жидкости, удалению стружки и опилок, контролю температуры.

Один обрабатывающий центр, оснащенный ЧПУ Fanuc, способен провести ряд операций с заготовкой от торцевания то выборки канавок и зубцов, черновой и чистовой обработки поверхностей любого профиля. При организации производства с последовательными технологическими процессами ЧПУ Fanuc можно интегрировать с DPA (Система мониторинга и управления производством в реальном времени) для получения полной картины работы и управления цехом, участком с получением информации о состоянии и эффективности производства.

Управляющие программы для Fanuc могут быть разработаны вручную или с использованием САМ-систем, а затем отредактированы и адаптированы под конкретные производственные условия.

САМ-система – это программа, которая преобразует трехмерную модель детали (CAD) в управляющие команды (G-код) для станка с ЧПУ [3]. Основная функция – генерация управляющих программ для оборудования с ЧПУ посредством преобразования CAD-модели в траектории перемещения рабочего инструмента с учетом технологических ограничений и требований.

Для примера рассмотрим наиболее распространенные и популярные отраслевые САМ-системы: NX Cam, MasterCam, SolidCam.

По собственному позиционированию – MasterCam отраслевой стандарт для 2,5D и 3D фрезерования, токарной обработки. Мощный, проверенный и специализированный. NX Cam – высокоинтегрированная CAD/CAM/CAE-платформа для сквозного проектирования и производства и решения сложных задач. SolidCam – полная интеграция с SOLIDWORKS. Идеально для пользователей SolidWorks, которые хотят САМ "в одном окне".

Сильные стороны MasterCam невероятная глубина и оптимизация для фрезерных и токарных операций. Огромная библиотека постпроцессоров. Широкое распространение, легче найти специалиста. Отличная поддержка многозадачной обработки (Mill-Turn) [4]. У NX Cam полная ассоциативность с CAD-моделью. Улучшенные технологии обработки: управляемые оси, 5-осевая обработка (особенно последовательная), фрезерование токарных деталей. Sync Manager для программирования на модели без выхода в чертежи. Встроенные средства симуляции и верификации (VERICUT по лицензии). У SolidCam беспроводная работа в интерфейсе SOLIDWORKS. iMachining – революционная технология для фрезерования, резко увеличивающая стойкость инструмента и скорость. Простота освоения для инженеров-конструкторов SolidWorks. Лучшее из трех экономическая составляющая (соотношение цены и возможностей) [5].

Интеграция с CAD у MasterCam собственная геометрическая среда, хорошие импортеры. Прямой модуль для работы с SolidWorks (Mastercam for SolidWorks). У NX Cam нативная интеграция. CAD и CAM – это один продукт, одна модель данных. Изменения в

конструкции мгновенно отражаются в управляющей программе. Прямая интеграция у SolidCAM – как надстройка в SOLIDWORKS, использует ту же модель, дерево, сборки.

Сложность обучения в MasterCam умеренно-высокая. Интерфейс традиционный, но логичный. Чтобы раскрыть весь потенциал, необходимо время. В NX Cam сложность более высокая, так как это мощнейшая система с огромным количеством функций. Требуется серьезного обучения и опыта. Наиболее простая сложность из трех представленных у SolidCam, особенно для пользователей SolidWorks. Интерфейс интуитивный, особенно для базовых операций.

Целевая аудитория для MasterCam средние и крупные предприятия с машинами от 3 до 5 осей, инструментальные производства, цеха с парком разнотипных станков. Для NX Cam крупные промышленные предприятия (аэрокосмическая, автомобильная, энергетика), где критична сложность деталей, интеграция и управление данными [6]. На малое и среднее производство, инженеров-универсалов, КБ, переходящие на собственное производство рассчитана SolidCam. Идеально подходит для фрезерных работ с использованием iMachining.

Стоимость лицензии MasterCam средне-высокая. Лицензирование часто модульное (фрезерование, токарная обработка, Multi-Axis). У NX Cam заметно выше. Часто входит в комплексные корпоративные лицензии Siemens. Инвестиция в полный цикл. Конкурентная цена Solid, часто ниже, чем у Mastercam и NX. Наиболее выгодные пакеты для старта.

Выдающаяся особенность MasterCam - Dynamic Motion Technology (аналогично Adaptive) для эффективного фрезерования, мощное 5-осевое позиционирование (3+2). В NX – высокоскоростная обработка, управление переходами, комплексные стратегии для 5-осевой одновременной обработки. Ранее упомянутый iMachining – главный «козырь» SolidCam. Экономит время и деньги на фрезеровании. iTURNING – аналогично для токарной обработки.

Подытожив, можно выбирать Mastercam, если: у нас специализированное производство (пресс-формы, штампы, серийная механообработка), парк разных станков, и нужен надежный, мощный и предсказуемый САМ-инструмент с фокусом на фрезерование и токарную обработку. Это безопасный и проверенный выбор для цеха [7].

Выбор падет на NX CAM, если: у нас крупное предприятие с высокими требованиями к сложности (аэрокосмос, энергомаши), нам критически важна интеграция проектирования и производства, управление изменениями и работа со сложнейшими многокоординатными стратегиями. мы приобретаем не просто САМ, а часть корпоративной системы.

Выбираем SolidCAM, если: наша основная CAD-система – SOLIDWORKS, и хотим максимально простой и быстрый переход от модели к управляющей программе. В основном упор на фрезерование и токарная обработка средней сложности. Идеально для малого и среднего бизнеса, КБ и инженеров-универсалов.

Для нашей работы выбираем MasterCam как золотую середину, универсальное сочетание функционала, надежности и предсказуемости.

Переход от теоретических основ к практической реализации начинается с анализа конкретной детали, подлежащей фрезерной обработке. На данном этапе необходимо детально рассмотреть конструкцию детали на основании чертежа и 3D-модели, определить последовательность технологических операций, подобрать инструмент, режимы резания и сформировать управляющую программу, пригодную для выполнения на станке с ЧПУ под управлением системы Fanuc.

Система числового программного управления Fanuc является одной из наиболее распространенных в машиностроении и используется на тысячах станков по всему миру. Она поддерживает стандарт ISO-программирования (так называемый G-код), который

представляет собой универсальный язык описания траекторий и управляющих команд для станков с ЧПУ.

Система ЧПУ Fanuc поддерживает и расширяет стандарт ISO-кодирования и обладает некоторыми особенностями:

Формат команд: Fanuc требует строгого порядка команд, правильного формата записи координат, а также допускает настройку постпроцессора для использования расширенных функций.

Модальные группы: в системе Fanuc команды делятся на модальные группы – группы команд, одна из которых активна в каждый момент времени (например, G-коды движения: G00, G01, G02, и т.д.). При этом выбранная команда остаётся активной до замены.

Подпрограммы и макросы: поддержка циклов (например, G81 – сверление, G83 – прерывистое сверление) и возможности создания пользовательских макросов с параметрами (с использованием переменных #1, #2, и т.д.).

Чтение с DNC и гибкое управление внешними данными: Fanuc позволяет загружать УП с внешних устройств, использовать сетевые подключения и вводить значения переменных во время выполнения программы.

Основу программирования в системе Fanuc составляют команды формата G и M-кодов, а также вспомогательные команды (например, T, S, F, N и др.):

G-коды (geometric) – указывают на вид перемещения или режим обработки (например, G00 – быстрое перемещение, G01 – линейное интерполяционное, G02/G03 – круговая интерполяция);

M-коды (miscellaneous) – управляют вспомогательными функциями (например, M03 – включение шпинделя по часовой стрелке, M05 – останов шпинделя, M30 – завершение программы);

T-коды – выбор инструмента;

S-коды – задание частоты вращения шпинделя;

F-коды – задание подачи;

N-коды – номера строк, не обязательны, но облегчают чтение программы.

Каждая строка управляющей программы называется блоком и может содержать сразу несколько команд, которые будут выполняться одновременно или последовательно.

Типовая управляющая программа в системе Fanuc имеет следующую логическую структуру:

Заголовок программы и номер:

O0001;

Буква «O» обозначает номер программы (до 9999).

Подготовительные команды:

Выбор плоскости обработки (G17/G18/G19);

Система координат (G54...G59).

Единицы измерения (G20 – дюймы, G21 – миллиметры),

Подготовка инструмента и шпинделя.

Установочные команды:

Команды перемещения (G00/G01);

Подача (F);

Обороты (S);

Направление вращения (M03/M04).

Основная обработка:

Описание траекторий инструмента в рабочей зоне;

Выполнение черновой и чистовой обработки.

Завершение программы.

Разработка управляющей программы для станка с ЧПУ требует предварительного формирования технологического маршрута обработки детали. Это последовательность переходов и установов, направленная на достижение требуемой точности, шероховатости и геометрии изделия при минимальных временных и производственных затратах.

Формирование маршрута обработки основывается на анализе конструкции детали, типа заготовки, доступного оборудования и инструмента, а также требований к точности и чистоте поверхностей.

На основе чертежа и в последствие 3D модели конкретно нашего изделия САМ программа сможет построить необходимые траектории. Была выбрана следующая последовательность обработки:

Установ и базирование заготовки. Выбор системы координат G54, базовая точка установлена по центру детали;

Черновая обработка контура детали. Снятие основного объёма материала с использованием концевой фрезы;

Чистовая обработка контура. Обработка для достижения требуемого качества;

Фрезерование и сверление отверстий. Использование спиральной интерполяции и цикла сверления;

Фаска. Обработка требуемого контура фасочной фрезой;

Отход инструмента и завершение цикла.

На основе технологического обеспечения подберем необходимый инструмент: в целях обеспечения максимальной жесткости, точности, шероховатости изделия и технологичности всего цикла производства для обработки внешнего контура изделия выбираем твердосплавную концевую фрезу  $\varnothing 20$  мм (MTK-S200100-2F-AL), фрезу  $\varnothing 12$  мм (MTK-S12075-2F-AL) для фрезерования отверстий  $\varnothing 14$  мм, для предварительной центровки будем использовать сверло центровочное твердосплавное  $\varnothing 3$  мм (G-KNCDS/KNCDS HSSCo TiN MMC), для сверления достаточно сверла из быстрорезной стали P6M5  $\varnothing 8,6$  мм.

Так же средствами программы CIMCO v8 построено графическое отображение всех переездов режущего инструмента. В результате автоматической генерации траекторий мы получили уже готовую управляющую программу для обработки изделия. Однако, почти всегда некоторые траектории и режимы резания нуждаются в корректировке.

После первоначальной генерации и отладки управляющей программы важно провести её анализ на предмет возможных улучшений. Оптимизация G-кода позволяет сократить время обработки, снизить износ инструмента и повысить стабильность процесса. Основные направления, по которым может быть выполнена оптимизация управляющей программы следующие:

#### 1. Оптимизация траекторий

Минимизация холостых перемещений: за счёт сокращения времени переходов между операциями.

Использование адаптивной обработки: в САМ-системах можно включить стратегии, при которых инструмент работает на постоянной нагрузке (например, high-speed machining, HSM), что позволяет увеличивать подачу без перегрузки.

Сглаживание траекторий: замена острых углов плавными радиусами снижает нагрузку на инструмент и шпиндель, обеспечивая более стабильный рез.

#### 2. Рационализация режимов резания

Увеличение подачи и оборотов там, где это допустимо: при обработке алюминия можно безопасно работать на высоких скоростях, особенно при использовании фрез с покрытием и смазочно-охлаждающей жидкостью.

Перераспределение глубины резания: для черновых проходов можно задать больший съём за один проход (увеличить R), а чистовые сделать более тонкими для качества.

Оптимизация подходов и отходов: плавное ускорение/замедление в начале и конце траектории улучшает качество и уменьшает вибрации. Учет радиуса инструмента при обработке внутренних углов, радиусов различных пазов и окон необходим для предотвращения высоких значений нагрузок в этих местах. Автоматическая генерация удовлетворяет требованиям качества.

### 3. Упрощение и укрупнение кода

Удаление лишних блоков и повторов: некоторые САМ-системы генерируют избыточные команды, например дублирующие значения координат или подходов.

Использование подпрограмм: повторяющиеся участки траектории можно оформить как подпрограммы (M98/M99), что снижает общий объём кода и ускоряет редактирование.

Применение макросов (если поддерживается): позволяет вводить параметры (глубина, шаг, координаты) как переменные, делая программу универсальной.

### 4. Аппаратные и управляющие функции

Включение коррекции инструмента (G41/G42): позволяет задавать реальный радиус фрезы через таблицу в контроллере, упрощая корректировку без изменения кода.

Использование шаблонных циклов Fanuc (G81-G89): такие как сверление, зенкерование, нарезание резьбы, упрощают код и повышают читаемость.

### 5. Снижение износа инструмента и увеличение надёжности

Плавные подходы и отводы (дуговые, радиальные) уменьшают нагрузку на кромку инструмента.

Своевременное включение подачи смазочно-охлаждающей жидкости (M08) и выбор эффективной стратегии охлаждения.

После проведения оптимизации автоматически сгенерированной MasterCam управляющей программы она была внедрена на производстве и может быть использована как основа для мелкосерийного или серийного производства детали на фрезерном станке с ЧПУ.

### Список литературы:

1. Изучение методик программирования станков ЧПУ на уроках труда в школе / С. Д. Машонский, В. В. Сорочан, Д. О. Михеева, Д. А. Лисютина // Вестник Калужского университета. – 2025. – № 3(68). – С. 156-158. – DOI 10.54072/18192173\_2025\_3\_156. – EDN SCWJDV.
2. Кучеров, В. А. Обзор редакторов 3D моделирования, использующих полигональные и твёрдотельные модели / В. А. Кучеров, В. В. Сорочан // Вестник Калужского университета. – 2025. – № 4(69). – С. 107-110. – DOI 10.54072/18192173\_2025\_4\_107. – EDN FCPICS.
3. Применение Electronic Workbench в изучении раздела Электричество в рамках курса технологии / А. А. Блохина, С. Д. Митяева, Ю. С. Беликова, В. В. Сорочан // Вестник Калужского университета. – 2025. – № 3(68). – С. 159-161. – DOI 10.54072/18192173\_2025\_3\_159. – EDN BVIYKD.
4. Захаров, А. А. Алгоритм проверки подлинности исполнительных устройств в автоматизированных системах управления технологическим процессом / А. А. Захаров, Д. Н. Любушкина, А. А. Олейников // 2023 International Conference on Dynamics. – 2023. – Р. 1-4. – DOI: 10.1109/Dynamics60586.2023.10349445.
5. Исследование рынка САМ-систем в РФ и мире (2023–2024 гг.) : аналитический отчет / Аналитический центр «Кардит». – Москва, 2023. – 65 с. – Текст : непосредственный. – Деп. в ВИНТИ 15.11.2023, № 145-B2023.

6. Green, R. CNC Programming Handbook: A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming / R. Green. – 4th ed. – New York : Industrial Press, 2019. – 600 p. : ill. – ISBN 978-0-8311-3684-4.
7. Захаров, А. А. Алгоритм проверки подлинности исполнительных устройств в автоматизированных системах управления технологическим процессом / А. А. Захаров, Д. Н. Любушкина, А. А. Олейников // 2023 International Conference on Dynamics. – 2023. – P. 1–4. – DOI: 10.1109/Dynamics60586.2023.10349445.

#### References:

1. Studying the learning programming techniques for CNC machines in labor lessons at school / S. D. Mashonskij, V. V. Sorochan, D. O. Mikheeva, D. A. Lisutina // Vestnik Kaluzhskogo universiteta. – 2025. – № 3(68). – S. 156-158. – DOI 10.54072/18192173\_2025\_3\_156. – EDN SCWJDV.
2. Kuchеров, V. A. Review of 3D modeling editors using polygonal and solid models/ V. A. Kuchеров, V. V. Sorochan // Vestnik Kaluzhskogo universiteta. – 2025. – № 4(69). – S. 107-110. – DOI 10.54072/18192173\_2025\_4\_107. – EDN FCPICS.
3. Application of Electronic Workbench in studying the electricity section in the technology course/ A. A. Blokhina, S. D. Mityaeva, Yu. S. Belikova, V. V. Sorochan // Vestnik Kaluzhskogo universiteta. – 2025. – № 3(68). – S. 159-161. – DOI 10.54072/18192173\_2025\_3\_159. – EDN BVIYKD.
4. Zakharov, A. A. Algorithm for verifying the authenticity of actuators in automated process control systems / A. A. Zakharov, D. N. Lyubushkina, A. A. Olejnikov // 2023 International Conference on Dynamics. – 2023. – P. 1–4. – DOI: 10.1109/Dynamics60586.2023.10349445.
5. Research of the CAM systems market in the Russian Federation and the world (2023–2024): analytical report / Analiticheskij tsentr «Kardit». – Moskva, 2023. – 65 s. – Tekst : neposredstvennyj. – Dep. v VINITI 15.11.2023, № 145-V2023.
6. Green, R. CNC Programming Handbook: A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming / R. Green. – 4th ed. – New York : Industrial Press, 2019. – 600 p. : ill. – ISBN 978-0-8311-3684-4.
7. Zakharov, A. A. Algorithm for verifying the authenticity of actuators in automated process control systems / A. A. Zakharov, D. N. Lyubushkina, A. A. Olejnikov // 2023 International Conference on Dynamics. – 2023. – P. 1–4. – DOI: 10.1109/Dynamics60586.2023.10349445.