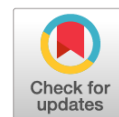


DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-624786>

Оригинальное исследование



Разработка постпроцессоров для ЧПУ «АксиОМА Контрол»

С.С. Гусев¹, В.В. Макаров²

¹ Ростелеком, Москва, Российская Федерация;

² Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. На сегодняшний день в общемировой промышленности широко изучается вопрос использования средств автоматизации в различных направлениях. Применение автоматизированных систем на различных ступенях производства вызывает существенное повышение производительности труда в различных показателях и обеспечивает решение множества задач, связанных с сокращением экономических затрат в процессе производства, повышения выработки оборудования и качества конечной продукции.

Цель — формализация процесса разработки управляющей программы для ЧПУ посредством создания постпроцессоров для ЧПУ «АксиОМА Контрол».

Материалы и методы. Ключевыми объектами рассмотрения и взаимодействия в работе служат различные средства автоматизации (САПР и программное обеспечение для работы с постпроцессорами), необходимые для проектирования изделий и описания их технологий механической обработки с последующим их постпроцессированием для получения управляющей программы.

Результаты. Результатом исследовательской работы является то, что на основании задачи, связанной с разработкой постпроцессора для ЧПУ «АксиОМА Контрол», начата разработка постпроцессоров для последующего постпроцессирования управляющей программы. В руководстве программиста по ЧПУ даётся базовое представление о синтаксисе языка, командах управления станком и системой ЧПУ. Было принято решение начать разработку постпроцессора для трёхосевой обработки путём редактирования базового постпроцессора Siemens 840, так как синтаксис управляющей программы для него был похож синтаксис СЧПУ «АксиОМА Контрол».

Заключение. В результате проведенного исследования рассмотрена роль автоматизированных систем в процессе проектирования и разработки управляющих программ. Для решения задачи разработки постпроцессоров для ЧПУ «АксиОМА Контрол» выбран комплекс для автоматизированной разработки постпроцессоров IMSpост.

Ключевые слова: производство; промышленность; металлообработка; технологические задачи; визуализации системы ЧПУ «АксиОМА Контрол».

Как цитировать:

Гусев С.С., Макаров В.В. Разработка постпроцессоров для ЧПУ «АксиОМА Контрол» // Известия МГТУ «МАМИ». 2024. Т. 18, № 3. С. 169–179.

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-624786>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-624786>

Original Study Article

Development of the postprocessors for the AksiOMA Control CNC

Sergey S. Gusev¹, Vadim V. Makarov²¹ Rostelecom, Moscow, Russian Federation;² V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of the Sciences, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, the issue of using means of automation in various ways is widely studied in the worldwide industry. Use of the automatized systems at various stages of manufacturing leads to significant increase of labor productivity in various indicators and ensures solution of multiple problems related to cost reduction during manufacturing, increase of equipment performance and increase of quality of final products.

AIM: Formalization of the process of development of the control program for the CNC by means of creation of the postprocessors for the AksiOMA Control CNC.

METHODS: Key objects of study and interaction during operation are various means of automation (computer-aided design and the software which is necessary for work with postprocessors) necessary for development of products and describing the technology of machining of them with the consequent postprocessing to obtain the control program.

RESULTS: The result of the study is the development of the postprocessors for the consequent postprocessing of the control program has begun on the basis of the problem related to the development of the postprocessor for the AksiOMA Control CNC. In the manual of the CNC programmer, the base notation about the language syntax, control commands for the machining station and the CNC is given. The decision to begin the development of the postprocessor for the three-axial machining by means of editing the Siemens 840 basic postprocessor is made, because the control program syntax of it was similar to the syntax of the AksiOMA Control CNC system.

CONCLUSION: As the result of the conducted study, the role of the automatized systems in the process of design and development of control programs was considered. For solving the problem of the development of the postprocessors for the AksiOMA Control CNC, the IMSpot package for automatized postprocessor development was chosen.

Keywords: manufacturing; industry; machining; technological problems; visualizations of the AksiOMA Control CNC system.

To cite this article:

Gusev SS, Makarov VV. Development of the postprocessors for the AksiOMA Control CNC. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2024;18(3):169–179.

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-624786>

Received: 18.12.2024

Accepted: 24.07.2024

Published online: 22.11.2024

ВВЕДЕНИЕ

На основании задачи, связанной с разработкой постпроцессора для ЧПУ «АксиОМА Контрол», начата разработка постпроцессоров для последующего постпроцессирования управляющей программы (УП). После прочтения руководства программиста по ЧПУ, в котором даётся базовое представление о синтаксисе языка, командах управления станком и системой ЧПУ, было принято решение начать с разработки постпроцессора для трёхосевой обработки путём редактирования базового постпроцессора Siemens 840 (рис. 1) вследствие похожего синтаксиса УП [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является формализация процесса разработки управляющей программы для ЧПУ посредством создания постпроцессоров для ЧПУ «АксиОМА Контрол».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ключевыми объектами рассмотрения и взаимодействия в работе служат различные средства автоматизации (САПР и программное обеспечение для работы с постпроцессорами), необходимые для проектирования изделий и описания их технологий механической обработки с последующим их постпроцессированием для получения управляющей программы.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Первое, с чего начинается разработка, это определение модели станка и её дальнейшее использование. Описание модели станка (состава, характеристики взаимного расположения исполнительных органов) наиболее важно для многокоординатного оборудования, так как избавляет разработчика постпроцессора от необходимости решения ряда нетривиальных математических задач [2].

В обработке детали текущее положение инструмента в траектории описывается с помощью координат (x, y, z, i, j, k) , где (x, y, z) — координаты центра торца инструмента, а (i, j, k) — орты, определяющие положение оси инструмента в системе координат детали.

Первый шаг — выбор типа кинематики станка. Можно сократить время, выбрав уже готовый вариант кинематики из приведённых таблиц. В данном случае (рис. 2) — это стандартный трёхосевой станок, кинематическая модель которого соответствует выбранному ранее станку (NMV3000 DCG), для которого описывалась механическая обработка в САМ системе [3]. При необходимости провести обработку на станке с другими параметрами кинематики можно внести изменения в эту часть работы.

После в соответствии с техническим паспортом станка проводится дальнейшая настройка по ограничению хода станка по линейным и поворотным осям. Точное указание

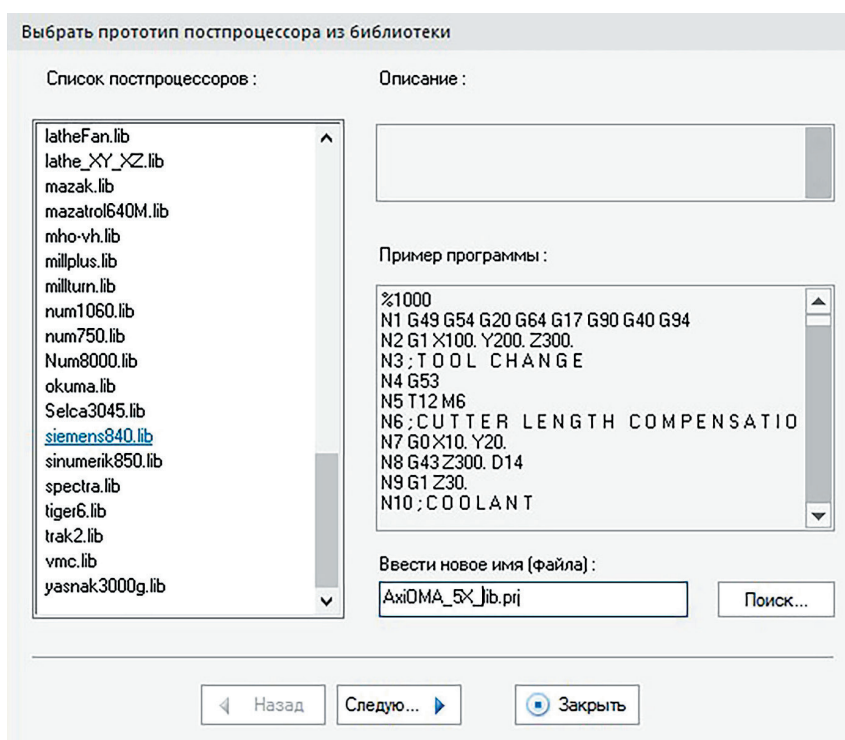


Рис. 1. Выбор базового постпроцессора для разработки.

Fig. 1. Selection of the basic postprocessor for the development.

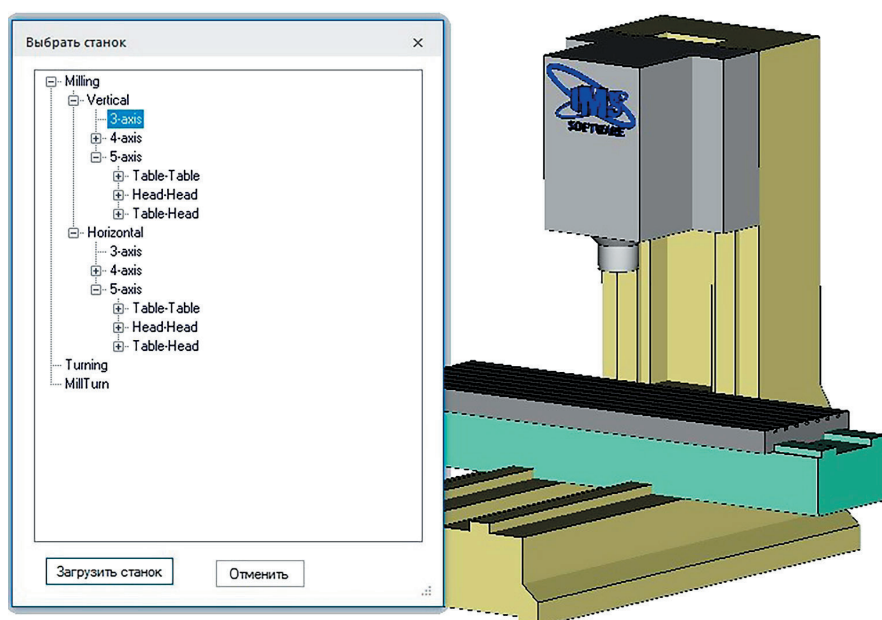


Рис. 2. Задание кинематической модели станка для постпроцессора.

Fig. 2. Describing the kinematic model of the machining station for the postprocessor.

всех параметров не является критичным вследствие того, что внутри ЧПУ также следует проводить настройку машинных параметров, откуда и будет транслироваться основная информация, на которой строится обработка УП [4].

Следующий шаг — настройка параметров, отвечающих за код программы. Большинство параметров, а именно: задача охлаждения, задача шпинделя, смены инструмента, задачи подачи и коррекций режущего инструмента и другие — не претерпели изменений, так как уже соответствуют синтаксису УП для работы в ЧПУ «АксиОМА Контроль».

Изменения претерпел раздел, отвечающий за строку безопасности, в котором указаны новые команды (G17,

G40, G49, G54, G64, G90, G94, G80, G00, G190, G153) в соответствии с руководством программиста [2] для трёхосевой обработки.

Дополнительным изменениям подвергся раздел, посвящённый функциям движения, а именно круговой интерполяции. Задавать формат радиуса можно через регистр «R» и через координаты центра окружности (I, J, K) (рис. 3) [5].

Было принято решение остановиться на первом способе, так как он не имеет ограничений в сравнении со способом задания через радиус. Согласно руководству программиста, через радиус нельзя описывать дугу больше 180°, что накладывает определённые ограничения

Страница 3 ... Круговая интерполяция

Используемые коды по часовой стрелке :

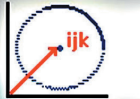
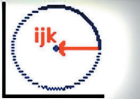
Используемые коды против часовой стрелки :

Используемые трёхмерные коды по часовой стрелке :

Используемые трёхмерные коды против часовой стрелки :

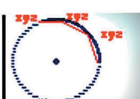
Формат радиуса

- ☒ I,J,K : абсолютные координаты центра
- ☐ I,J,K : расстояние от начала окружности до её центра
- ☐ I,J,K : расстояние от центра окружности до её начала
- ☐ I,J,K : беззначное расстояние от центра до начала
- ☐ R : радиус окружности
- ☐ Остановка в линейных перемещениях







☐ Разбивка окружности на квадранты

Рис. 3. Выбор формата круговой интерполяции.

Fig. 3. Selection of the format of the circular interpolation.

при обработке некоторой геометрии. Также регистр «R» принимает отрицательное значение, если дуга окружности больше 180° , что влечёт вызов ошибки работы УП при исполнении ЧПУ, так как не рассчитана на работу с отрицательными значениями радиуса [6].

Для удобства сохранены два варианта постпроцессора с двумя способами задания формата, для достижения этого результата потребовалось добавить в список регистров регистр «R», потому что изначально используется «CR», и заменить его определение в постпроцессоре через изменения макроса «INIT», как показано на рис. 4.

Разработка постпроцессора для токарной обработки осуществляется по алгоритму работы, описанному выше на примере трёхосевой обработки, основное отличие постпроцессоров заключается в настройке кинематической схемы и разделах, отвечающих за строку безопасности, а также в других точечных изменениях. Общие

параметры по обработке кодов движения и работы с регистрами уже проведены на базе первого рассмотренного примера.

ТЕСТИРОВАНИЕ ПОСТПРОЦЕССОРОВ В ЧПУ «АКСИОМА КОНТРОЛ»

Для постпроцессирования промежуточных файлов указываются расположение входного файла и его тип (APT в данном случае).

Постпроцессирование исходной управляющей программы в код формата ISO-7bit (G-код) можно провести непосредственно из САПР, выбрав нужный постпроцессор из списка библиотек. В данном случае допустимо проводить постпроцессирование в IMSpst (в среде разработки постпроцессоров), или, как показано на рис. 5, в IMSpexec (является отдельным модулем того же приложения),

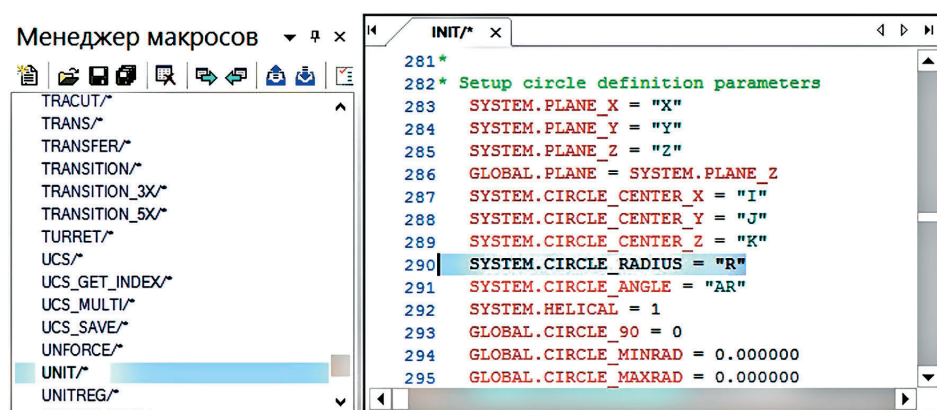


Рис. 4. Редактирование макроса.

Fig. 4. The macros editing.

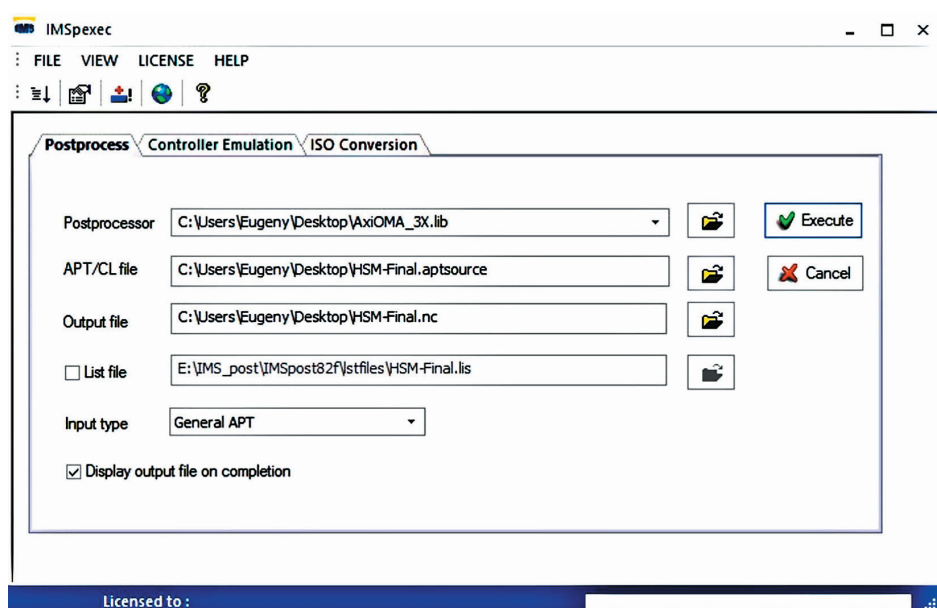


Рис. 5. Постпроцессирование УП под ЧПУ «АксиОМА Контрол».

Fig. 5. The postprocessing of the control program for the AxiOMA Control CNC.

или с помощью другого имеющегося ПО, обладающего аналогичным функционалом [7].

Далее в табл. 1 и 2 представлены фрагменты УП фрезерной и токарной обработки для ЧПУ «АксиОМА Контроль».

С помощью редактора УП дополнительно проверена корректность перемещений инструмента (рис. 6) во время обработки и можно внести косметические изменения в код программы, если в этом есть необходимость.

Таблица 1. Фрагмент УП для «АксиОМА Контроль»

Table 1. Part of the control program for the AksiOMA Control

Текст УП	Комментарий
Фрезерование 1	Название/тип УП
; *****	Дополнительная информация, транслируется автоматически в файл при постпроцессировании
; * INTELLIGENT MANUFACTURING SOFTWARE	
; * IMSPPOST VERSION: 8.2F *	
; * USER VERSION: 1 *	
; * PROGRAMMER: EUGENY SHATIN *	
; * PROGRAM REVISION: 1.0000 *	
; * COMMENT: ПОСТПРОЦЕССОР ДЛЯ 3-Х ОСЕВОЙ	
; * DATE: WED APR 21 2021 16:46:38 *	
; *****	
N0 G90 G94 G80 G49 G00 G64 G190 G40 G153 G17 G54 BRISK ORIAXES	
N10 G0 Z120	Строка безопасности
N20; TOOL DATA: T1 END MILL D 5_1, T1 END MILL D 5_1	Координаты начала/завершения перехода обработки
N30 G49	Данные об инструм.
N40 M5	Отмена всех компенсаций инструм.
N50 D1 T=1 M6	Отключение шпинделя
N60 G43	Вызов инструмента
N70 X46.323 Y62.635 S3800 M3	Вкл. компенсации длины инструм.
N80 Z21.553	Запуск шпинделя
N90 M8	Включение СОЖ
N100 G1 X46.321 Y62.13 Z21.418 F=780	
N110 X46.078 Y60.311 Z20.926	
N120 X45.754 Y59.253 Z20.629	
N130 X44.761 Y57.125 Z20	
...	Начало обработки с рабочей подачей
N188050 G3 X42.5 Y62.857 I=35. J=62.857	
N188060 G1 Y79.736	
N188070 G3 X36.418 Y87.101 I=35. J=79.736	
N188080 G2 X15.416 Y92.492 I=69.973 J=261.4	
N188090 X1.829 Y107.029 I=21.717 J=112	Обработка с использованием круговой интерполяции, заданной через полярные координаты
...	
N188240 G0 X88.283	
N188250 G1 Z-4.33	
N188260 Z22	
N188270 Z32	Завершение УП со сбросом всех модальных настроек
N188280 M30	

Таблица 2. Фрагмент УП для «АксиОМА Контрол»
Table 2. Part of the control program for the AksiOMA Control

Текст УП	Комментарий
Токарная обработка1	Название/тип УП
***** ; * INTELLIGENT MANUFACTURING SOFTWARE * ; * IMSP0ST VERSION: 8.2F * ; * USER VERSION: 2 * ; * PROGRAMMER: EUGENY * ; * COMMENT: ПОСТПРОЦЕССОР ДЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ * ; * DATE: WED APR 21 2021 12:02:21 * ; *****	Доп. информация, заложенная разработчиком через постпроцессор
N0 G94 G97 G49 G15 G40 G71 G00 G172 G80 G18 G98 G191 G53 G272 G153 G72 G193 G90 G64	Строка безопасности
N10; МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВТУЛКИ	
N20 G0 X100. Z753	Отвод в домашнюю позицию
N30 Z250	
N40; TOOL DATA: T1 EXTERNAL INSERT-HOLDER	Данные вызываемого инстр.
N50 T=1 M6	Вызов инструмента
N60; ОБРАБОТКА ТОРЦА	
N70 X93.5 Y0 S500	Начало обработки
N80 Z-1.167	
N90 M8	
N100 G1 G95 X91.5 F=8.3	
N110 X0 F=.25	
N120 X.212 Z-.955 F=.8	
N130 G0 X93.5	
N140 Z-2.833	
N150 G1 X91.5 F=8.3	
....	
N3640 G2 X24.5 Z-48. R=3.5	Завершение УП со сбросом всех модальных настроек
N3650 G1 Z-100	
N3660 G3 X18. Z-106.5 R=6.5	
N3670 G1 X0	
N3680 G40 X-.212 Z-106.288 F=.8	
N3690 M30	

Примечание: убедившись в корректности выполнения УП, внесли изменения в скорости подачи для более быстрой симуляции обработки программы в ЧПУ. Аналогичные действия проведены и с другими УП.

Для тестирования работы постпроцессоров в ЧПУ «АксиОМА Контрол» необходимо создать или загрузить уже готовые программы в терминал системы. После создания файлов составляются таблицы инструментов, в которых необходимо указать максимальное количество параметров для корректного выполнения УП, и устанавливаются параметры размера заготовок и необходимые смещения, если они требуются [8].

На рис. 7–9 представлено тестирование работы УП как для технологии попутного фрезерования, так и для фрезерования по технологии HSM.

В процессе запуска УП по вертикальному фрезерованию в двух вариация технологий обработки и их визуализации не возникло критических ошибок или нарушений технологии, можно считать, что постпроцессор для трёхосевой обработки прошёл тестирование на базе ЧПУ «АксиОМА Контрол» успешно [9].

Следующим шагом идёт тестирование работы постпроцессора для проведения токарной обработки, показанной на рис. 10. В ЧПУ загружена программа обработки детали и сформирован комплект инструментария для выполнения

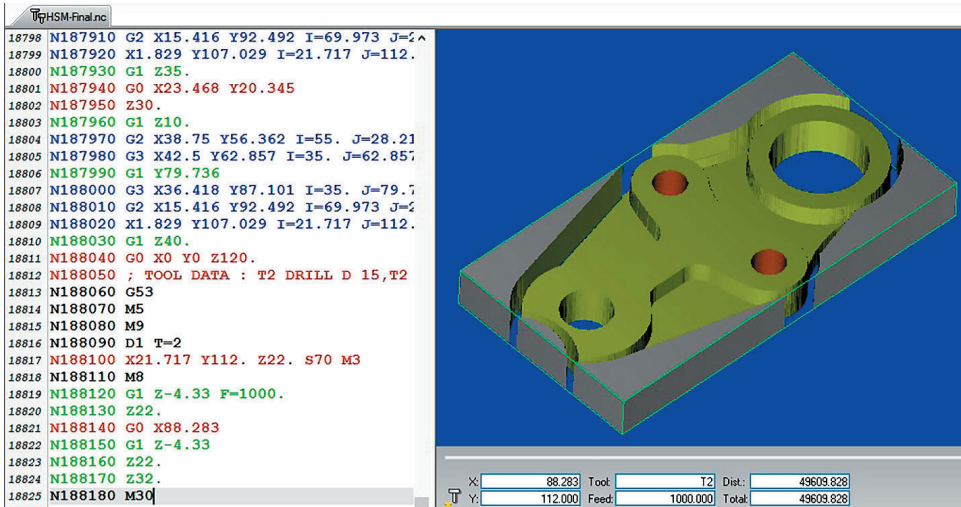


Рис. 6. Пример симуляции обработки в редакторе УП.
Fig. 6. An example of machining simulation in the control program editor.

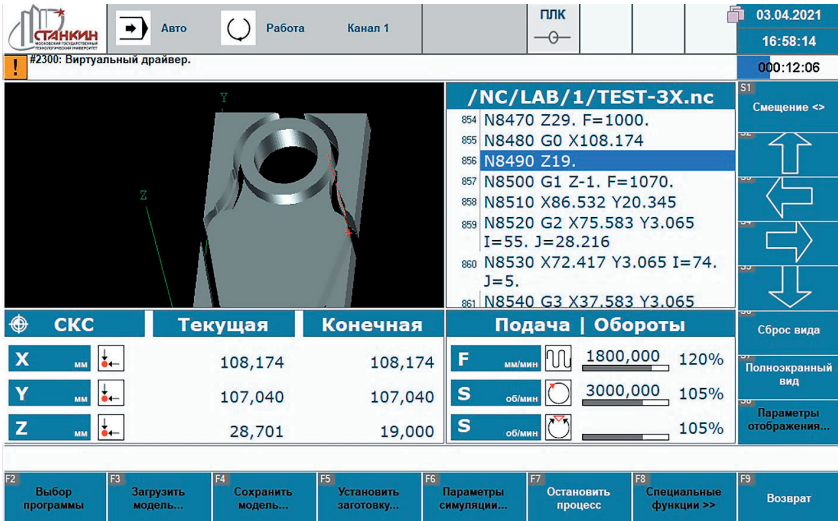


Рис. 7. Процесс трёхосевого контурного попутного фрезерования кронштейна.
Fig. 7. The process of the three-axis contour climb milling of the mounting.

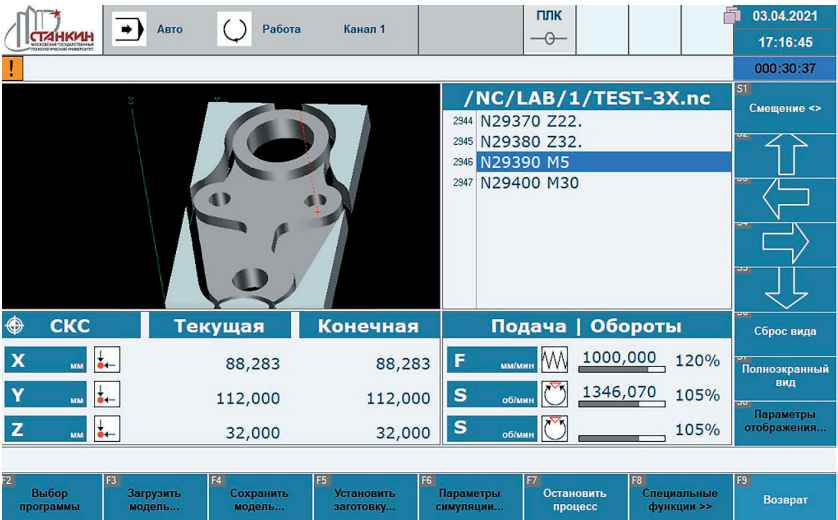


Рис. 8. Окончание трёхосевой обработки.
Fig. 8. The end of the three-axis machining.

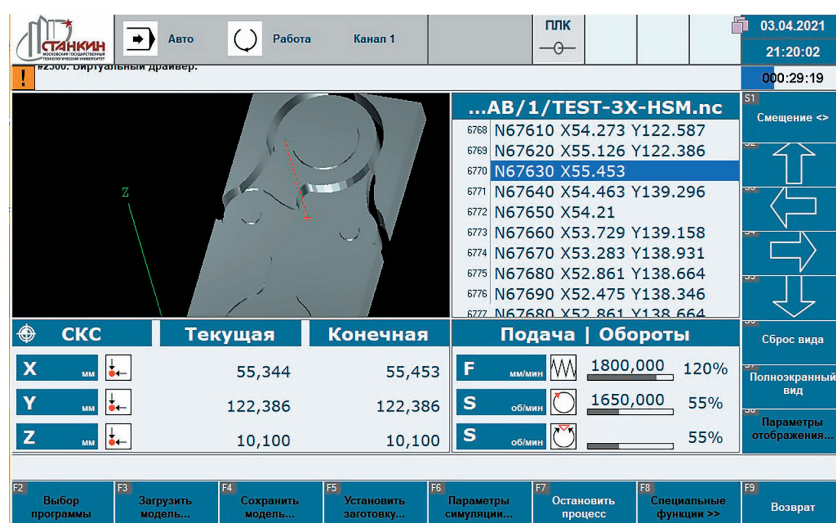


Рис. 9. Процесс фрезерования кармана по HSM технологии.

Fig. 9. The milling process of the pocket according to the HSM technology.

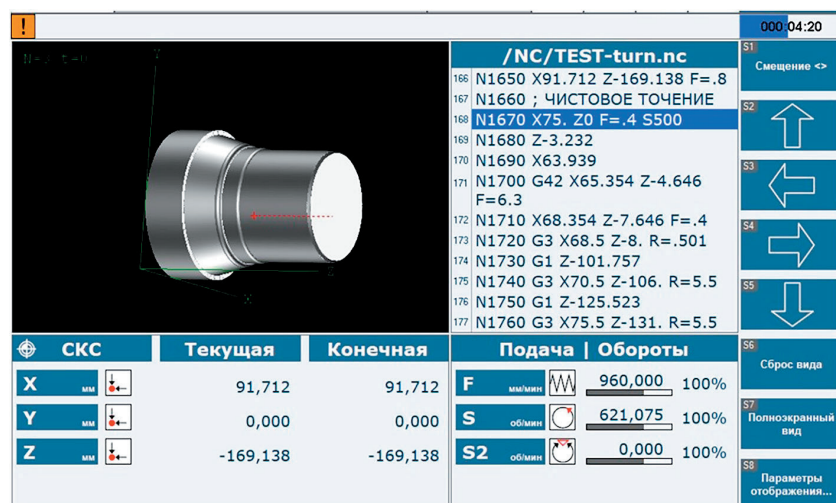


Рис. 10. Чистовое контурное точение.

Fig. 10. The finish contour turning.

операции. Перед запуском программы в настройках визуализации изменён тип операции на проведение токарной обработки, указаны размеры заготовки и задано смещение координатных осей [10].

Так как модуль 3D-визуализации ЧПУ не может корректно показать процесс растачивания отверстия во время обработки в другой плоскости, этот фрагмент УП будет представлен в режиме обычной графики в плоскости ZX (рис. 11). Ниже представлены результаты тестирования:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования рассмотрена роль автоматизированных систем в процессе проектирования и разработки управляющих программ. Для решения задачи разработки постпроцессоров для ЧПУ «АксиОМА

Контроль» выбран комплекс для автоматизированной разработки постпроцессоров IMSpost.

После чего для проектирования технологического процесса (ТП) механической обработки под станки с различными кинематическими схемами был сформирован тестовый набор деталей, на основе которого были описаны различные технологии металлообработки.

Трёхосевая обработка одного из изделий рассмотрена в двух вариациях: с использованием попутного и HSM фрезерования. Высокоскоростная обработка описана путём детальной настройки различных параметров обработки, таких как скорость резания, количество оборотов шпинделя отводов, подводов, количества проходов и других, после чего было проведено сравнение двух технологий по различным показателям получившихся УП в среде CIMCO Edit (редактор УП),

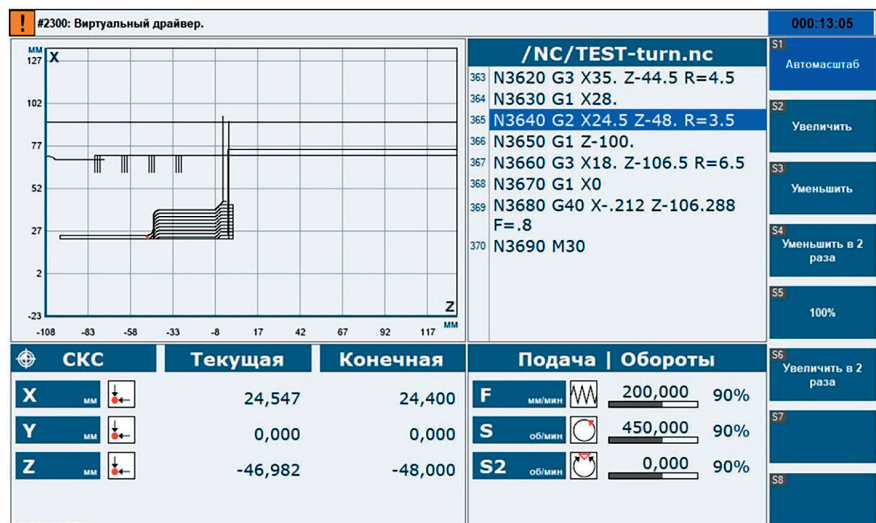


Рис. 11. Окончание токарной обработки.
Fig. 11. The end of turning machining.

выявлено существенное сокращение машинного времени обработки (26%) [11].

По окончании моделирований (верификации) ТП для всех изделий проведена работа по разработке постпроцессоров (на базе постпроцессора Siemens 840D) для ЧПУ «АксиОМА Контрол», после чего было проведено тестирование работы получившихся постпроцессоров путём постпроцессорирования УП и запуска их в ЧПУ.

В процессе тестирования УП с их визуализацией не возникло критических ошибок или отклонений от ТП, на основании чего сделан вывод, что постпроцессоры успешно прошли тестирование.

Таким образом, поставленные задачи раскрыты и решены в полном объёме, на основании чего можно считать, что цель по формализации процесса разработки УП для ЧПУ посредством создания постпроцессоров для ЧПУ «АксиОМА Контрол» была достигнута.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.С. Гусев — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; В.В. Макаров — редактирование текста рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад

в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. S.S. Gusev — search for publications, writing the text of the manuscript; V.V. Makarov — editing the text of the manuscript. Authors confirm the compliance of their authorship with the ICMJE international criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления. М.: Логос, 2005.
2. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Программирование систем числового программного управления. М.: Логос, 2008.
3. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Пушков Р.Л. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. Ч. I. Числовое программное управление. М.: МГТУ «СТАНКИН», 2010.
4. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Пушков Р.Л. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. М.: МГТУ «СТАНКИН», 2011.
5. Морозов В.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г., и др. Фрезерный инструмент. Владимир: ВлГУ, 2014.
6. Барбашов Ф.А. Фрезерное дело. М.: Высшая школа, 1975.
7. Кувшинский В.В. Фрезерование. М.: Машиностроение, 1977.

8. Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., и др. Специфика построения панелей управления систем ЧПУ по типу универсальных программно-аппаратных компонентов // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 7. С. 34–40.
9. Нежметдинов Р.А., Соколов С.В., Обухов А.И., и др. Расширение функциональных возможностей систем ЧПУ для управления механо-лазерной обработкой // Автоматизация в промышленности. 2011. № 5. С. 49–53.

10. Гусев С.С., Макаров В.В. Анализ систем автоматического проектирования // Известия МГТУ «МАМИ». 2024. Т. 18, № 1. С. 63–74. doi: 10.17816/2074-0530-624783

11. Гусев С.С., Макаров В.В. Анализ существующих средств визуализации траектории режущего инструмента в системах ЧПУ // Известия МГТУ «МАМИ». 2024. Т. 18, № 2. С. 157–167. doi: 10.17816/2074-0530-624784

REFERENCES

1. Sosonkin VL, Martinov GM. *Numerical control systems*. Moscow: Logos; 2005.
2. Sosonkin VL, Martinov GM. *Programming of numerical control systems*. Moscow: Logos; 2008.
3. Martinov GM, Martinova LI, Pushkov RL. *Automation of technological processes in mechanical engineering. P. I. Numerical control software*. Moscow: MGTU "STANKIN"; 2010.
4. Martinov GM, Martinova LI, Pushkov RL. *Automation of technological processes in mechanical engineering*. Moscow: MGTU "STANKIN"; 2011.
5. Morozov VV, Grigoriev SN, Skhirtladze AG, et al. *Milling tools*. Vladimir: VIGU; 2014.
6. Barbashov FA. *Milling business*. Moscow: Vysshaya shkola; 1975.
7. Kuvshinskij VV. *Milling*. M.: Mashinostroenie; 1977.

8. Martinov GM, Kozak NV, Nezhmetdinov RA, et al. The specifics of building control panels of CNC systems by the type of universal hardware and software components. *Avtomatizaciya i sovremennye tekhnologii*. 2010;7:34–40.
9. Nezhmetdinov RA, Sokolov SV, Obuhov AI, et al. Expanding the functionality of CNC systems for controlling mechanical laser processing. *Avtomatizaciya v promyshlennosti*. 2011;5:49–53.
10. Gusev SS, Makarov VV. Analysis of automatic design systems. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2024;18(1):63–74. doi: 10.17816/2074-0530-624783
11. Gusev SS, Makarov VV. Analysis of existing means of the cutting tool path visualization in the CNC systems. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2024;18(2):157–167. doi: 10.17816/2074-0530-624784

ОБ АВТОРАХ

*** Гусев Сергей Сергеевич,**

инженер-энергетик отдела энергетиков,
соискатель;
адрес: Российская Федерация, 123298, Москва,
ул. 3-я Хорошевская, д. 17, корп. 1;
ORCID: 0000-0002-6070-9295;
eLibrary SPIN: 8934-1568;
e-mail: gs-serg@mail.ru

Макаров Вадим Владимирович,

канд. техн. наук, доцент,
старший научный сотрудник лаборатории Идентификации
систем управления № 41;
ORCID: 0000-0003-4874-5418;
eLibrary SPIN: 5787-3977;
e-mail: makfone@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Sergey S. Gusev,**

Energy Engineer of the Energy Department,
Candidate for a Degree;
address: 17 bldg 1, 3rd Khoroshevskaya street, 123298 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-6070-9295;
eLibrary SPIN: 8934-1568;
e-mail: gs-serg@mail.ru

Vadim V. Makarov,

Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor, Senior Researcher of the Identification
of Control Systems Laboratory №41;
ORCID: 0000-0003-4874-5418;
eLibrary SPIN: 5787-3977;
e-mail: makfone@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author