

А. В. Щёкин, инженер, **С. П. Сульдин**, канд. техн. наук, доц., rimstanok@mail.ru,
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева

Ассоциативность траекторий в САМ-приложении "Модуль ЧПУ. Токарная обработка"

Рассмотрена реализация ассоциативности управляющей программы в новом САМ-приложении "Модуль ЧПУ. Токарная обработка" на платформе КОМПАС-3D. Описан расчет ассоциативной траектории и ее твердотельная верификация, выполняемый не выходя за пределы среды КОМПАС-3D. Показано, что наиболее эффективно ассоциативность проявляет себя для параметризованных деталей. Ассоциативность в сочетании с параметризацией детали обеспечивает возможность повторного использования технологического проекта для разных типоразмеров детали.

Ключевые слова: САД/САМ-система, КОМПАС-3D, управляющая программа, режущий инструмент, 3D-модель, параметризация, API (Application Program Interface)

Введение

Система КОМПАС-3D (ЗАО "АСКОН") является известной в России и странах СНГ САПР среднего уровня, предназначенной для создания трехмерных ассоциативных моделей деталей, чертежей и сборочных единиц. КОМПАС-3D использует собственное геометрическое ядро и параметрические технологии, разработанные специалистами компании АСКОН. Мощный функционал системы поддерживает все возможности трехмерного моделирования, ставшие стандартом в области машиностроительного проектирования. Открытая архитектура КОМПАС-3D и программный интерфейс API позволяют сторонним разработчикам создавать собственные прикладные решения, расширяющие штатный функционал системы.

"Модуль ЧПУ. Токарная обработка" представляет собой первое САМ-приложение для платформы КОМПАС-3D, предназначенное для автоматизации программирования токарных станков с ЧПУ [1]. Приложение полностью интегрировано в среду системы КОМПАС-3D и использует в качестве исходных данных трехмерную модель детали, созданную непосредственно в окне САД-системы. С появлением данного приложения жизненный цикл детали от конструирования до разработки программы ЧПУ стал возможен в единой среде проектирования КОМПАС-3D. Приложение является коммерческим продуктом и обладает всеми стандартными возможностями токарных модулей современных САМ-систем: широким набором токарных, сверлильных и резьбонарезных стратегий, автоматической генерацией траекторий и управляющей программы, постпроцессированием, реалистичной визуализацией с контролем процесса обработки [2, 3].

Одним из требований к современным САМ-системам является обеспечение ассоциативности автоматически генерируемой траектории обработки с исходной конструкторской моделью. Ассоциативность в САМ-системе подразумевает, что любые изменения, внесенные конструктором в деталь, автоматически приводят к динамическому измене-

нию кода управляющей программы для станка с ЧПУ. Ассоциативность является важным условием обеспечения сквозного жизненного цикла изделия, начиная от конструирования и заканчивая его изготовлением на станке с ЧПУ.

Заметим, что ассоциативность наиболее полно реализуется только в САМ-модулях, которые работают в одной связке с САД-системами, поскольку в данном случае исключается этап конвертирования 3D-модели через промежуточные форматы. Примерами интегрированных САД/САМ-решений среднего уровня являются SolidWorks + SolidCAM, Autodesk Inventor + InventorCAM [4]. Эти решения работают непосредственно в окне САД-системы и сохраняют полную ассоциативность с твердотельной моделью, включая сборки. Все операции механической обработки определяются, вычисляются и верифицируются в среде САД-системы с сохранением полной ассоциативности с моделью. В презентации [5] приводятся принципы обеспечения полной ассоциативности в интегрированной САД/САМ-системе NX CAM: конструктивные элементы (features) должны базироваться на геометрии заготовки, все параметры обработки (NC-настройки) должны программироваться в одном файле детали. В работах [6–8] для обеспечения интеграции инженерных приложений введено понятие ассоциативного элемента (associative feature — AF), который определяется как набор семантических отношений между геометрическими элементами (entities), в качестве которых могут выступать разного рода ограничения, зависимости, формулы, шаблоны.

В данной статье рассмотрим реализацию ассоциативности траекторий обработки в новом САМ-приложении "Модуль ЧПУ. Токарная обработка" в связке с САД-системой КОМПАС-3D. Эта реализация ассоциативности основана на понятии технологической модели. Технологическая модель характеризуется набором геометрических элементов, которые существуют виртуально на промежуточных переходах и могут не присутствовать реально в качестве конструктивных элементов (features) на конструкторской модели.

Модель ассоциативности в приложении "Модуль ЧПУ. Токарная обработка"

Начнем с того, что источником геометрической информации для построения траекторий является конструкторская модель детали, созданная в системе КОМПАС-3D. При этом нужно учитывать, что работа технолога в отличие от процесса конструирования связана с технологической моделью детали, которая в большинстве случаев не совпадает с конструкторской. Например, поверхности, которые имеет деталь на промежуточных стадиях обработки (например, между технологическими переходами), являются "виртуальными", их нет на конструкторской модели, но при этом они необходимы для построения траектории обработки на промежуточных переходах.

Таким образом, первым звеном в цепи ассоциативности "конструкторская модель — программа ЧПУ" (рис. 1) является обеспечение связи между технологической моделью перехода и опорными элементами конструкторской модели. В общем случае опорными элементами конструкторской модели могут быть как объекты топологии детали (вершины, грани, ребра), так и дополнительные построения, сопровождающие деталь в ее трехмерном документе, например, эскиз или вспомогательная геометрия (плоскости, кривые, контрольные точки, оси).

Поскольку токарная двухкоординатная обработка является задачей на плоскости, для описания технологической модели достаточно иметь два плоских контура: исходный контур и рабочий контур. Под исходным контуром мы понимаем контур, который деталь имеет в разрезе перед началом текущего технологического перехода. Для первого перехода исходный контур совпадает с контуром заготовки. Рабочий контур — это контур, который деталь должна иметь после окончания текущего технологического перехода. При вращении этих контуров вокруг токарной оси получаются соответственно исходные поверхности и рабочие поверхности детали.

Следующим звеном ассоциативности является обеспечение связи между исходным контуром текущего перехода и технологической моделью предыдущего перехода. Ведь в качестве "заготовки" для второго и следующих переходов нам необходимо использовать результирующие контуры предыдущих переходов, т. е. "виртуальные поверхности" (рис. 2), которые "висят" в воздухе и отсутствуют физически на конструкторской модели. Результирующий контур получается как результат вычитания из исходного контура рабочего контура. Про-

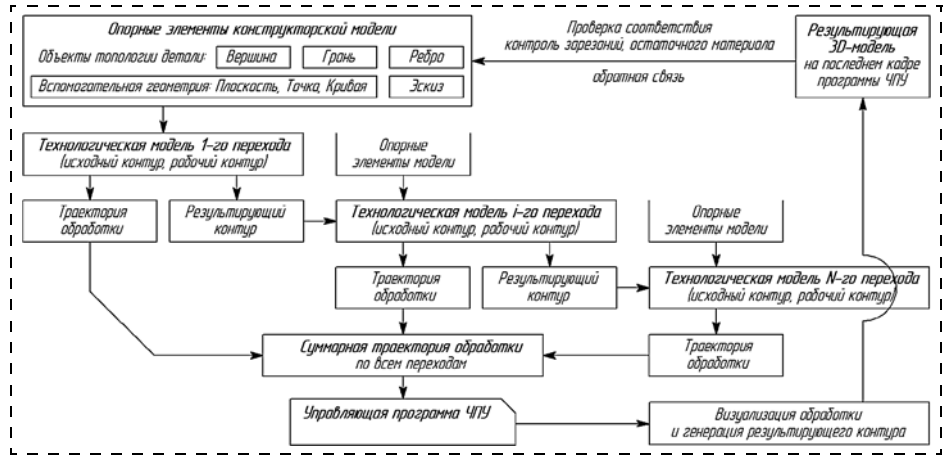


Рис. 1. Схема обеспечения ассоциативности траекторий в САМ-приложении "Модуль ЧПУ. Токарная обработка"

цесс расчета результирующего контура должен повторяться от первого до последнего перехода. Формально это можно выразить следующей цепочкой формул:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_0 - C_{p1}, \\ C_2 &= C_1 - C_{p2}, \\ &\dots \\ C_i &= C_{i-1} - C_{pi}, \\ &\dots \\ C_N &= C_{N-1} - C_{pN}, \end{aligned}$$

где C_0 — контур заготовки; C_i — результирующий контур i -го перехода; C_{pi} — рабочий контур i -го перехода.

Наглядно ассоциативность, реализованную в библиотеке, можно представить в виде графа ассоциативных связей, показанного на рис. 3, где $F_1, F_2, \dots, F_i, \dots, F_n$ — опорные элементы конструкторской

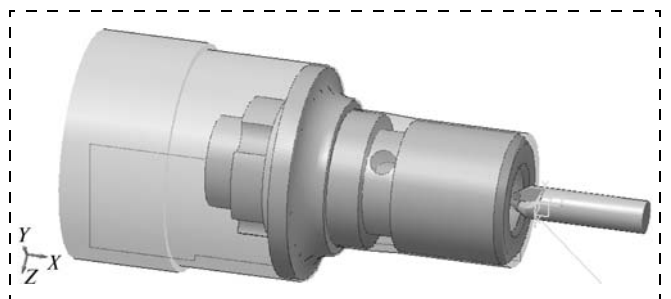


Рис. 2. Технологическая модель на промежуточном переходе

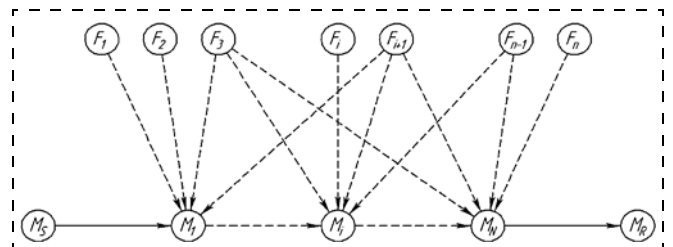


Рис. 3. Граф ассоциативных связей

модели; M_S — модель заготовки; $M_1, \dots, M_i, \dots, M_N$ — технологические модели переходов; M_R — результирующая модель обработки.

Матрица ассоциативности, соответствующая графу, выглядит следующим образом:

	M_1	M_2	...	M_i	...	M_{N-1}	M_N
F_1	1	1	...	0	...	0	0
F_2	1	1	...	0	...	1	0
F_3	1	0	...	1	...	0	1
.....							
F_i	1	0	...	1	...	1	1
.....							
F_N	1	1	...	0	...	0	1

Элементы матрицы показывают наличие или отсутствие ассоциативной связи между технологической моделью перехода и поверхностью детали.

Последовательно суммируя столбцы этой матрицы, можно получить число ассоциативных связей каждой поверхности детали на i -м переходе.

САМ-приложение всю технологическую информацию (номера инструментов, режимы резания, параметры стратегий) вместе с указателями на опорные элементы сохраняет непосредственно в файле конструкторской модели. Для этого используется COM-интерфейс IStorage API системы КОМПАС-3D, который сохраняет указатели сущностей (entity) в 3D-модель и возвращает эти указатели при последующем открытии файла модели. Внутри КОМПАС-3D данный интерфейс использует внутренние имена сущностей. Вместе с указателями на опорные элементы в 3D-модели сохраняется и матрица ассоциативности. При последующем считывании данных из модели с помощью данной матрицы можно восстановить ассоциативные связи между технологическими переходами и опорными элементами.

Программная реализация ассоциативности

Программная реализация САМ-приложения выполнена на языке программирования C++ с использованием программного интерфейса API КОМПАС-3D.

Формирование ассоциативных связей начинается с выбора опорных объектов конструкторской модели, относительно которых задается механическая обработка детали. Визуальный выбор опорных элементов реализован на панели свойств, встроенной в пользовательский интерфейс системы КОМПАС-3D. Предусмотрены два способа формирования рабочего контура: выбором поверхностей непосредственно на модели и указанием эскиза в дереве построения модели.

При первом способе (рис. 4, см. третью сторону обложки) для создания рабочего контура следует

указать мышкой грани модели, относительно которых предполагается обработка. Можно указать следующие поверхности: цилиндр, конус, тор, плоскость. При этом автоматически выполняется проверка пригодности выбранных поверхностей вращения для обработки на токарном станке (ось симметрии поверхностей должна совпадать с токарной осью Z).

При этом способе на панели свойств доступны следующие элементы управления.

Список "Поверхности". При указании мышкой грани детали в этом списке появляется строка, в которой отображаются тип указанной поверхности (цилиндр, тор, плоскость и т. д.), припуск h и смещения $s1$ и $s2$. Контур строится как набор элементов (отрезков и дуг), эквидистантно расположенных по отношению к выбранным поверхностям. С помощью припуска h можно регулировать смещение элемента по нормали относительно поверхности. Значение h может быть только положительным. С помощью величин $s1$ и $s2$ можно сместить крайние точки элемента по линии его продолжения.

С помощью элемента управления **"Общий припуск"** можно установить одно значение припуска для всех поверхностей. Тогда столбец h в списке поверхностей становится недоступным для редактирования.

С помощью кнопки **"Выбирать промежуточные поверхности"** можно выбрать сразу группу поверхностей между двумя последовательно указанными поверхностями.

В создаваемом контуре могут возникать разрывы между эквидистантными элементами. Все эти разрывы отображаются в списке **"Разрывы контура"**. В общем случае может быть четыре способа соединения элементов в разрыве: под прямым углом от оси детали, под прямым углом к оси детали, отрезком, через точку пересечения.

Рабочий контур должен обязательно пересекать исходный контур. Для этого на панели свойств присутствуют элементы управления **"Угол 1"** и **"Угол 2"**, которые определяют способ замыкания рабочего контура на исходный контур. **"Угол 1"** и **"Угол 2"** доступны, если соответствующая крайняя точка рабочего контура лежит внутри исходного контура. Для замыкания контуров в начале и в конце рабочего контура дорабатываются отрезки. При автоматическом способе замыкания отрезки идут по касательной к рабочему контуру в направлении продолжения контура.

Второй способ предполагает использование эскиза в качестве опорного объекта (рис. 5). Эскиз с контуром должен обязательно лежать в токарной плоскости (плоскости ZX).

Эскиз выбирается мышкой в дереве построения модели. При этом способе на панели свойств присутствуют элементы управления, с помощью которых можно изменить направление обхода контура, задать точность аппроксимации сложных кривых. С помощью элементов управления **"Угол 1"** и **"Угол 2"**

можно замкнуть рабочий контур на исходный контур. Элементы контура в эскизе могут быть созданы в произвольной последовательности. Приложение автоматически сортирует их в порядке стыковки при условии, что элементы стыкуются между собой и не пересекаются друг с другом.

Если рассматривать проблему ЧПУ с точки зрения этапов получения готовой управляющей программы, то в архитектуре приложения можно условно выделить три подсистемы: препроцессор, процессор и постпроцессор. Формирование технологической модели можно условно рассматривать как препроцессор, на этапе которого происходит преобразование исходной геометрической информации в ее внутреннее представление, а процессор — это часть программного кода, выполняющая расчет траектории между исходным и рабочим контурами. Траектория рассчитывается отдельно для каждого перехода в соответствии с заданными параметрами стратегии (глубиной резания, направления подачи и прочими настройками). В момент генерации управляющей программы сегменты траектории (отрезки и дуги) переводятся в коды промежуточного языка на основе стандарта ISO, и затем эти коды конвертируются с помощью постпроцессора в кадры управляющей программы на языке конкретной системы ЧПУ [9].

Результирующий контур, который получается вычитанием рабочего контура из исходного контура, не учитывает некоторые особенности, связанные с геометрией режущего инструмента. Например, в процессе реальной обработки детали на станке неизбежно появление скруглений в местах сопряжения поверхностей вследствие наличия у резца радиуса при вершине. Более того, если на технологических переходах используются циклы систем ЧПУ, то траекторию внутри этих циклов может выдать только постпроцессор. Поэтому, чтобы получить 3D-модель обработанной детали, соответствующую реальности, нужно визуализировать обработку специальной командой приложения, которая имитирует движение инструмента и удаление материала с заготовки (рис. 6).

Результирующий контур, который получается в процессе имитации обработки, формируется по алгоритму перемещения заметающей фигуры инструмента по траектории обработки и поэтому учитывает все особенности режущего инструмента.

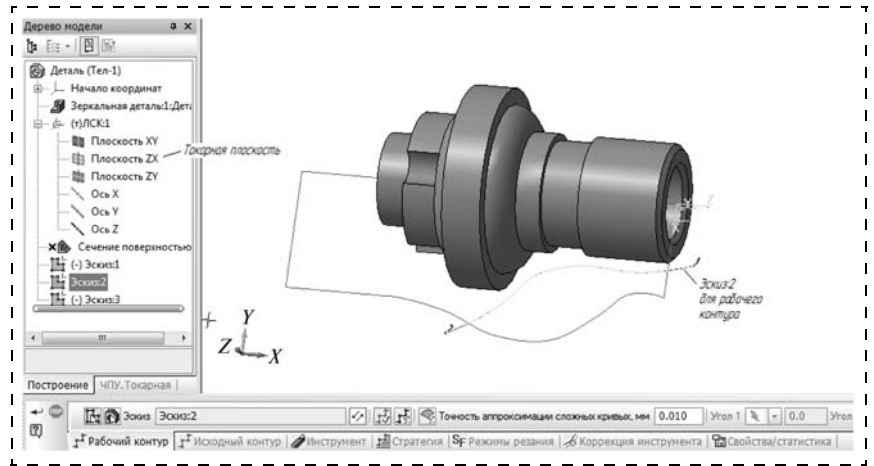


Рис. 5. Выбор эскиза в качестве рабочего контура

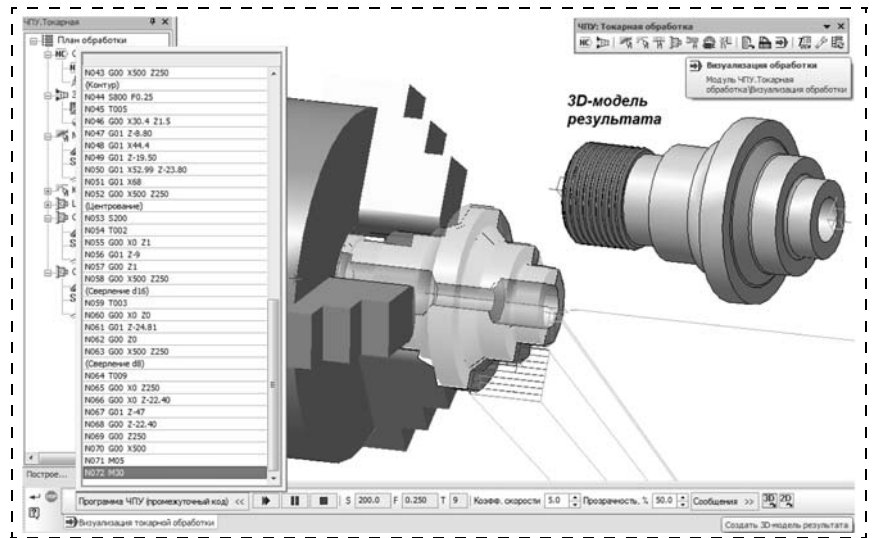


Рис. 6. Получение 3D-модели результата обработки

В дальнейшем модель, построенную на основе этого контура, пользователь может использовать для сравнения с конструкторской моделью для определения зон "зарезаний" или остаточного материала. В этом заключается обратная связь между результатом обработки и конструкторской моделью.

Наиболее эффективно ассоциативность проявляется себя для параметризованных деталей. При изменении значений параметрических переменных модель детали перестраивается, вслед за ней обновляется траектория вместе с управляющей программой (рис. 7).

Отдельным фактором, влияющим на работу ассоциативности, является заготовка. Заготовка может быть получена четырьмя способами:

- относительно граней конструкторской модели;
- по эскизу;
- в качестве отдельной 3D-модели;
- в форме проката.

На рис. 8 показано изменение траекторий для разных форм заготовки (слева — заготовка на ос-

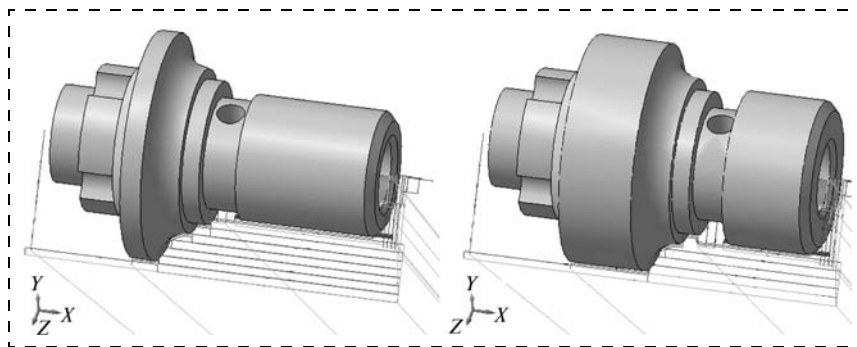


Рис. 7. Перестроение траектории обработки при изменении значений параметрических переменных модели

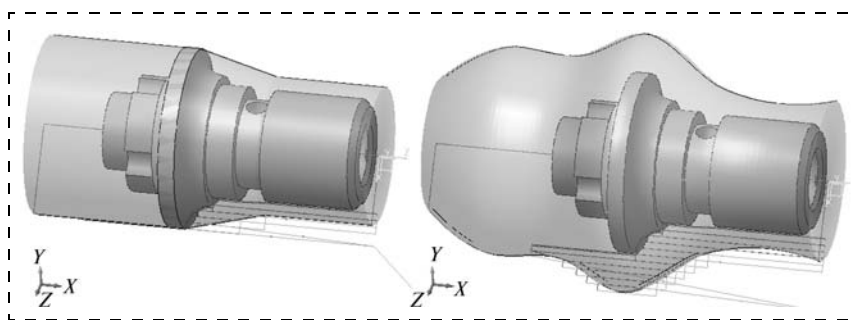


Рис. 8. Перестроение траектории обработки при изменении формы заготовки

нове конструкторской модели, справа — на основе произвольного эскиза).

Первые два способа создания заготовки являются аналогичными построению рабочего контура. В этом случае заготовка получается ассоциативной граням конструкторской модели, а в матрице ассоциативности появляется дополнительный столбец, устанавливающий ассоциативность заготовки с деталью. При остальных способах возникает дополнительное звено ассоциативности, связанное с 3D-моделью заготовки.

При подключении приложения в менеджере библиотек КОМПАС-3D библиотека считывает информацию из файла модели и отображает ее в виде дерева обработок (специальная вкладка, которую библиотека создает в дереве построения модели). При открытии документа или переходе в другой документ библиотека автоматически синхронизирует свои данные с данными, хранящимися в активной модели, обновляет дерево обработок и перестраивает траектории.

Нужно заметить, что ассоциативность работает только в том случае, если не была нарушена топология конструкторской модели (связи между ее вершинами, гранями и ребрами), а были изменены

только количественные параметры этих связей. Если, допустим, мы удалили какую-либо опорную поверхность детали, то ассоциативная связь будет нарушена. В этом случае приложение выдаст сообщение о том, что потеряна связь с опорным объектом.

Заключение

Ассоциативность в САМ-приложении "Модуль ЧПУ. Токарная обработка" является эффективным инструментом обеспечения сквозного жизненного цикла детали, созданной в системе КОМПАС-3D, от этапа конструирования до этапа изготовления детали на токарном станке с ЧПУ. Ассоциативность в сочетании с параметризацией детали обеспечивает возможность повторного использования технологического проекта для разных типоразмеров детали.

Список литературы

1. **Свидетельство** на регистрацию программы для ЭВМ № 2013611436 "Модуль ЧПУ. Токарная обработка". Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2013 г. Авторы: Щёкин А. В., Сульдин С. П., Митин Э. В.
2. **Паньков М.** Токарная обработка как начало САМ-истории в АСКОН // САПР и графика. 2013. № 7. С. 37—43.
3. **Модуль ЧПУ. Токарная обработка.** URL: <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/items/?prcid=89&pprid=1217>
4. **CAD Integration Partners.** URL: <http://www.solidcam.com/en/company/cad-integration-partners>
5. **Create** associative manufacturing models in NX CAM with Part Modules. Bryan Dreibelbiss. URL: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/Create-associative-manufacturing-models-in-NX-CAM-with-Part/ba-p/23151>
6. **Ma Y.-S., Tong T.** Associative feature modeling for concurrent engineering integration // Computers in Industry. May 2003. Vol. 51, Iss. 1. P. 51—71.
7. **Ma Y.-S., Britton G. A., Tor S. B., Jin L. Y.** Associative assembly design features: concept, implementation and application // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. March 2007. Vol. 32, Iss. 5—6. P. 434—444.
8. **Ma Y.-S., Chen G., Thimm G.** Paradigm shift: unified and associative feature-based concurrent and collaborative engineering // Journal of Intelligent Manufacturing. December 2008. Vol. 19, Iss. 6. P. 625—641.
9. **Щёкин А. В., Сульдин С. П., Митин Э. В.** Постпроцессор системы ЧПУ "МАЯК 600Т" для САМ-приложения "Модуль ЧПУ. Токарная обработка" // Вестник Мордовского университета. 2014. № 1—2. С. 161—164.

Associativity of the Tool Paths in the CAM-Application "CNC-Module. Lathe Operation"

A. V. Schekin, schekin@inbox.ru, S. P. Suldin, rimstanok@mail.ru ✉,
Mordovia State University named after N. P. Ogaryov, Saransk

Corresponding author: **Suldin Sergey P.**, Chief of Sub-department of Metal-cutting Equipment,
Mordovia State University named after N. P. Ogaryov, Saransk, Russian Federation,
e-mail: rimstanok@mail.ru

Received on April 13, 2015

Accepted April 23, 2015

Associativity tool paths for the original design model in CAM-systems is an important prerequisite for the product life cycle management (PLM) from designing up to manufacturing on CNC machines. The article describes implementation of the associativity of the control program in the new CAM-application "CNC-module. Lathe operation" based on KOMPAS-3D CAD-platform. The application is the first application library developed for CAD-systems KOMPAS-3D and is intended to simulate the processing on CNC lathes. The application is fully integrated into KOMPAS-3D environment and uses a 3D-model created directly in the KOMPAS-3D. Implementation of the principle of associativity is based on the notion of a technological model. The technological model is described by a set of geometric elements, which exist virtually in the intermediate process steps and cannot really be present as features of the design model. CAM-application is implemented in the programming language of C++ using KOMPAS-3D API-interface. The user interface of CAM-application ensures a single-window integration into KOMPAS-3D and uses its interface elements such as toolbars, its own tab in the browser model and the properties panel. The tool paths generation and its solid verification are fully completed inside the KOMPAS-3D environment. It is demonstrated that associativity is most effective for the parametrized components. In combination with parameterization, the associativity provides opportunity to reuse a technology project for different sizes of parts.

Keywords: machine-building, automation, CAD/CAM, KOMPAS-3D, NC-program, cutting tool, 3D-model, parametrization, API, triangulation, visualization, collision detection

For citation:

Schekin A. V., Suldin S. P. Associativity of the Tool Paths in the CAM-Application "CNC-Module. Lathe Operation", *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 8, pp. 570—575.

DOI: 10.17587/mau.16.570-575

References

1. Schekin A. V., Sul'din S. P., Mitin E. V. *Avtorskoe svidetel'stvo 2013611436 Rossiyskaya Federazija. Module CPU. Tokarnaya obrabotka* (Certificate of authorship 2013611436. Russia. Module CNC. Turning), no. 2013611436, zayavl. 26.11.2012; publ. 09.01.2013, Bul. no 1, 368 p. (in Russian).
2. Pankov M. *Tokarnaya obrabotka kak nachalo CAM-istorii v ASKON* (Turning as the beginning of history in the CAM- ASCON), *SAPR i Grafika*, 2013, no. 7, pp. 37—43 (in Russian).
3. Modul' ChPU. Tokarnaya obrabotka (CNC module. Lathe machining). Available at: <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/items/?prcid=89&prpid=1217> (in Russian).

4. CAD Integration Partners. Available at: <http://www.solid-cam.com/en/company/cad-integration-partners>

5. Create associative manufacturing models in NX CAM with Part Modules. Bryan Dreibelbiss. Available at: <https://community.plm-automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/Create-associative-manufacturing-models-in-NX-CAM-with-Part/ba-p/23151>

6. Ma Y.-S., Tong T. Associative feature modeling for concurrent engineering integration, *Computers in Industry*, Volume 51, Issue 1, May 2003, P. 51—71.

7. Ma Y.-S., Britton G. A., Tor S. B., Jin L. Y. Associative assembly design features: concept, implementation and application, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, March 2007, vol. 32, iss. 5—6, pp. 434—444.

8. Ma Y.-S., Chen G., Thimm G. Paradigm shift: unified and associative feature-based concurrent and collaborative engineering, *Journal of Intelligent Manufacturing*, December 2008, vol. 19, iss. 6, pp. 625—641.

9. Schekin A. V., Sul'din S. P., Mitin E. V. *Postprocessor sistemy ChPU "MAJaK 600T" dlja CAM-prilozhenija "Modul' ChPU. Tokarnaya obrabotka"* (Post-Processor Of Nc System "MAJaK 600T" For Cam-Application), *Vestnik Mordovskogo Universiteta*, 2014, no. 1, pp. 161—164 (in Russian).

Издательство «НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала: (499) 269-5397, тел./факс: (499) 269-5510

Технический редактор Е. В. Конова. Корректор М. Г. Джавадян.

Сдано в набор 01.06.2015. Подписано в печать 08.07.2015. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ МН815. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-11648 от 21.01.02

Учредитель: Издательство "Новые технологии"

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.