

## ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЕРИФИКАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

Султанов Н.З.<sup>1</sup>, Сергеев А.И.<sup>1</sup>, Иванов П.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, Россия (460018, Оренбург, проспект Победы, 13), e-mail: pavel.ivanov91@mail.ru

В данной статье проведен подробный анализ САМ-систем, широко используемых на российских предприятиях. Выделена взаимосвязь между системами единого информационного пространства предприятия. Проанализированы возможности и особенности использования САМ-систем: ADEM, ESPRIT, PowerMILL, SprutCAM, EdgeCAM. Уделено внимание наличию встроенных средств верификации в этих программных продуктах, а также неоспоримым преимуществам специализированного программного обеспечения Vericut. Рассмотрены современные подходы к созданию и верификации управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), используемых зарубежными вендорами, занимающими лидирующие позиции в области технологической подготовки производства (3D-моделирование, проектирование, создание управляющих программ). Сделан вывод о необходимости верификации создаваемых управляющих программ, средствами существующих программных продуктов, а также создание новых. Предлагается введение стандартизированного формата передаваемой модели из программы верификации.

Ключевые слова: САМ-система, верификация, управляющая программа, числовое программное управление (ЧПУ), 3D-модель, формат CLDATA.

## OVERVIEW VERIFICATION OF CONTROL PROGRAMS

Sultanov N.Z.<sup>1</sup>, Sergeev A.I.<sup>1</sup>, Ivanov P.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Orenburg state university, Orenburg, Russia (460018, Orenburg, prospektPobedy, 13), e-mail: pavel.ivanov91@mail.ru

This article a detailed analysis of CAM-systems that are widely used by Russian enterprises. Highlighted the relationship between the systems of a single information space of the enterprise. The capabilities and features of the use of CAM-systems: ADEM, ESPRIT, PowerMILL, SprutCAM, EdgeCAM. Attention is paid to the presence of built-in verification of these software products, as well as an undeniable advantage of specialized software Vericut. Modern approaches to the creation and verification of programs for machines with numerical control (CNC) used by foreign vendors, occupying a leading position in the field of technological preparation of production (3D-modeling, design, development of control programs). Conclusion about the necessity of verification of control programs created, existing software tools, as well as creating new ones. Proposes the introduction of a standardized format transmitted model of program verification.

Keywords: CAM-system, verification, control program, computer numerical control (CNC), 3D-model, format CLDATA.

На отечественных предприятиях внедрение информационных технологий в проектно-производственную деятельность существенно отстает от высокоразвитых стран. Тому есть ряд причин: «железный занавес» в период развития и становления информационных технологий, переход от плановой экономики к рыночной, уход высококвалифицированных специалистов в перестроечные времена. Тем не менее, в последние годы отмечается тенденция выравнивания ситуации, о чем свидетельствуют публикации сотрудников предприятий с одной стороны, с другой стороны предприятия, чтобы оставаться конкурентоспособными вынуждены обновлять материальную базу и внедрять оборудование с ЧПУ. При этом внедрение происходит по двум направлениям: переоборудование существующих станков под современные стойки управления и закупка нового оборудования. В обоих случаях использование оборудования с ЧПУ предъявляет более высокие требования к ИТ-инфраструктуре пред-

приятия – возникает возможность и необходимость реализации единого информационного пространства (ЕИП), комплексной автоматизации производственных процессов. Однако при организации ЕИП предприятия сталкиваются со следующими проблемами: высокая стоимость программного обеспечения, как правило, зарубежного, отсутствие сертификата ФСТЭК (что особенно актуально для организаций государственного сектора и ОПК), гетерогенность используемого ПО.

Одной из наиболее распространенных на отечественных предприятиях является продукция фирмы АСКОН, которая предлагает решения по проектированию изделий, технологических процессов и организации инженерного документооборота. Флагманская линейка продукции данной фирмы ЛОЦМАН:PLM 2013, КОМПАС-3D, ВЕРТИКАЛЬ 2013 имеют сертификат ФСТЭК [<http://ascon.ru/products/certificates/>]. В то же время в данном списке отсутствует решение по разработке управляющих программ для станков с ЧПУ, если не считать модуль ЧПУ для токарной обработки. Для решения данной проблемы фирма АСКОН тесно интегрирует с КОМПАС-3DCAM-системы других фирм, например, ГЕММА-3D, Edgcam, ESPRIT, SprutCAM и другие. Использование такого подхода приводит к необходимости дополнительного обучения персонала, а проблемы передачи геометрии в стороннюю систему даже при наличии стандартизованных обменных форматов могут привести к несоответствию управляющей программы и трехмерной модели.

Таким образом, становится актуальной проблема верификации управляющих программ, позволяющая в автоматизированном режиме выявить соответствие исходной модели и полученной детали. Данная проблема также актуальна для предприятий, не использующих САМ-системы, формирование УП на которых выполняется на стойке станка.

Рассмотрим специализированные решения для верификации УП и популярные САМ-системы на предмет возможностей по обнаружению ошибок в УП.

Одной из самых известных систем для верификации УП является Vericut– модульная система, разработанная в 1988 году, компанией CGTech [15]. Основным предназначением данной системы является выполнение имитации, верификации и оптимизации обработки на станках с ЧПУ, с целью обнаружения ошибок в траектории режущего инструмента и неэффективных подходов. Данные задачи выполняются на стадии проектирования управляющей программы, что позволяет устранить ошибки, которые могли бы привести к поломке оснастки, инструмента или органов станка. Программа состоит из нескольких модулей, каждый из которых выполняет определенные задачи. Модуль проверки управляющих программ способен осуществлять проверку управляющего кода, что позволяет избежать дальнейших неполадок в производстве, которые, в конечном итоге, приведут к простоям. Для проверки управляющей программы осуществляется имитация работы станка с ЧПУ, которая позволяет об-

наружить столкновения во время работы и опасные сближения с любыми компонентами оборудования (направляющие, инструментальные шпиндели, устройства смены инструмента и другие).

Используя данные программы ЧПУ, модуль производит построение 3D – модели как полностью обработанной детали, так и находящейся на любой стадии обработки. Модель строится таким же образом, как и при обработке детали на станке (идет построение отверстий, скруглений, карманов). Выходными могут являться файлы в форматах IGES, STL и NX (форматы файлов, с данными о 3D модели). Также возможен экспорт документации в форматы CATIA V5, CATIA V4, STEP, ACIS, но для этого необходимо подключить дополнительный модуль, который не входит в состав ModelExport.

Данная система зарекомендовала себя в области проверки УП, так в работе [14] описывается процесс тестовой обработка изделия на имитаторе из алюминиевого сплава. При этом, что траектории обработки были рассчитаны в Москве, а сам станок находился в другом государстве, обработка прошла успешно. Такая удаленная онлайн-обработка стала возможной благодаря наработанным технологиям получения траекторий фрезеровки лопаток, отлаженному постпроцессору и тщательной верификации полученных управляющих программ в пакете VERICUT.

В работе [1] описывается использование VERICUT в комплекте с Pro/ENGINEER. При этом Pro/ENGINEER выполняет визуализацию траектории инструмента на основе расчетных данных (CL-файл), описывающих траекторию движения инструмента, а VERICUT обеспечивает возможность проверки программы в управляющих кодах станка. Сравнение модели, полученной в результате проверки программы в VERICUT, с исходной конструкторской моделью либо даст уверенность в корректной работе разработанной управляющей программы, либо позволит внести необходимые поправки до ее отправки на станок с ЧПУ.

Успешный опыт применения VERICUT совместно с программным комплексом NX описан в работе [13]. Здесь VERICUT используется не только для разработки УП, но и для программирования измерений датчиком Renishaw в пяти координатах.

Следует отметить, что в программном комплексе NX присутствует собственное средство верификации УП – подсистема симуляции и верификации (Integrated Simulation and Verification, ISV), которая позволяет производить симуляцию не только управляющей траектории, но и симуляцию процесса обработки с использованием кинематической модели станка в кодах управляющей программы (G-код). В работе [9] автор показал, что входящая в состав системы NX 8.0 подсистема ISV может служить для верификации УП на основе G-кода. Однако верификационная схема NX требует наличия трёх компонентов: кинематической модели станка, встроенного постпроцессора NX и виртуального контроллера системы управ-

ления (драйвера станка). Для того, чтобы создать или изменить эти компоненты, необходимо использовать специальные программные продукты: NX Machine Tool Builder позволяет создавать кинематические модели станков, NX Post Builder позволяет создавать постпроцессоры. В NX возможно использование двух технологий драйверов станков – традиционной модели контроллера MTD и модуль общего ядра симуляции CSE. В работе выяснено, что технология CSE не дублирует ошибки постпроцессора и является более прогрессивной технологией, чем MTD.

**ADEM.** ADEM – интегрированная CAD/CAM/CAPP/PDM система содержит средства автоматизации для различных видов инженерной деятельности, оперативное взаимодействие которых является ключом к рентабельному производству [2]. Развитие программы началось в 1987 году и осуществляется по сегодняшний день. В настоящее время ADEM имеет множественное применение, и как САМ-система, в том числе [16].

ADEM NC VERIFY [3] представляет собой систему контроля качества. Данный модуль позволяет произвести динамическую визуализацию, а также отладку управляющей программы. Он позволяет симулировать 2X-, 2.5X-, 3X- и 5X-координатную обработку на токарном, фрезерном и электроэрозионном оборудовании, предлагая ряд удобных функций (динамическое вращение и перемещение модели обработки, масштабирование, контроль технологических размеров и многое другое). Работа модуля задействована в двух основных режимах, используемых на разных стадиях проектирования, – контроль правильности CLDATA и контроль управляющей программы. Наличие необходимых функций для работы с моделью, и сравнительная простота использования сделали NC VERIFY удобным инструментом для визуализации процесса обработки и контроля управляющей программы. В качестве заготовки для обработки изделия может использоваться как стандартный сортамент, формирование размеров которого можно редактировать в модуле NC VERIFY, так и любая твердотельная модель, предварительно созданная в модуле CAD ADEM или же импортированная из других систем. Кроме этого, есть возможность создания промежуточных моделей обработки между переходами, часто применяемая при обработке деталей за несколько установок. Модель заготовки после произведенной обработки сохраняется и может быть вставлена в качестве заготовки в нужную технологическую операцию. В этом случае оценка обработки проводится с учетом снятого на предыдущих операциях припуска, что соответствует реальному процессу механической обработки.

**ESPRIT.** Разработка американской компании DP Technology Corp, система на ядре Parasolid. Высокопроизводительная система ESPRIT предлагает мощные средства для любого станка с ЧПУ [7]. Функциональность ESPRIT включает программирование фрезерной обработки от 2-х до 5-ти осей, токарной обработки от 2-х до 22-х осей, электроэрозионной обра-

ботки от 2-х до 5-ти осей, многозадачных токарно-фрезерных станков с синхронизацией, станков с осью В. Упрощение создания операций обработки возможно при помощи гибких возможностей системы ESPRIT [10]. Преимущества и недостатки данной САМ-системы были исследованы ООО Инжиниринговой Компанией «ТвисТ» на 4-х осевом фрезерном станке DOOSAN, а также на 5-осевом обрабатывающем центре OKUMA. В ходе испытаний использовались фрезы разных диаметров, монолитные и с механическим креплением пластин, а также дисковые фрезы. Соответственно, технологами – программистами были применены различные стратегии обработки, порядок проходов и их количество. Безусловно, без средства автоматизации написания УП, данный процесс занял бы много усилий и времени. ESPRIT позволил спроектировать все предложенные варианты в считанные часы, и самое главное – безошибочно выдать код УП. Наличие полноценной визуализации среды обработки в ESPRIT дает возможность программисту и оператору увидеть процесс в динамике и предотвратить столкновения. Для выполнения данной задачи, была приобретена BinarySpaces [4] – немецкая компания, занимающаяся разработкой ПО для симуляции обработки на станках с ЧПУ. Данная компания позволила осуществить динамическую твердотельную верификацию в Esprit. Оперативность внесения корректировок, как в параметры используемого инструмента, так и в саму технологию, сократило время отладки программы и выпуска готовой детали, а значит, снизило ее себестоимость.

**Power MILL.** Программный продукт, выпущенный компанией Delcam, которая была основана в 1977 году [19], специалистами исследовательской группы Университета Кембриджа [11]. К типовым применениям данной САМ-системы можно отнести выполнение задач в различных сферах. Набор выполняемых функций схож с предыдущими САМ-системами.

Power MILL включает в себя дополнительные модули, среди которых – и модуль верификации управляющей программы –Verification CL [5]. Модуль определения столкновений узлов станка, инструмента и детали для 5-осевых станков. Верификация ведется по формату CLDATA. Без данного модуля, верификация столкновений может вестись только визуально без каких-либо предупреждений во встроенном модуле ViewMILL, который показывает имитацию работы станка во время обработки.

**Sprut CAM.** Sprut CAM декларирует возможность разработки управляющих программ для 2-х, 3-х, 4-х и 5-ти осевых машин лазерной, плазменной, газовой и водоструйной резки [20]. Действительно, указанные технологии требуют определенной адаптации самой системы и постпроцессоров.

Значительным плюсом данной системы является отличие метода верификации от других САМ-систем [8]. Отличие заключается в том, что происходит построение цветовой карты отклонений от номинала детали, прямо в процессе верификации. Также возможна автомати-

ческая расстановка размеров: длины, ширины и высоты. Также система способна распознавать круглые элементы, а затем выводить круговые размеры (радиус).

**EdgeCAM.** Программа Edge CAM, разработанная компанией PathtraceTechnology, – один из ведущих мировых программных продуктов в области создания управляющих программ обработки для станков с ЧПУ, токарной, фрезерной и электроэрозионной групп [17].

В EdgeCAM имеются встроенные средства верификации [18]. К ним можно отнести отображение траектории движения инструмента и возможность симуляции процесса обработки непосредственно в рабочем окне программы. Более мощным средством проверки является EdgeCAMSimulator – дополнительный модуль, входящий в стандартную поставку. Он дает возможность полноценной визуализации обработки с отображением процесса снятия материала. При этом пользователь может выбрать различные виды отображения заготовки, детали и инструмента: тонированный, полупрозрачный и каркасный, а также режим фотореалистичного отображения (MetallicRender).

В процессе симуляции доступно динамическое масштабирование, перемещение и вращение. Во встроенном браузере отображаются текущие действия, предупреждения о зарезах, столкновениях инструмента и оправки с деталью или крепежными приспособлениями, если они возникают. Полученный результат обработки можно сохранить в формате STL и использовать для сравнения с исходной деталью, либо как заготовку для последующей обработки.

Как видно, каждая из САМ-систем обладает схожим комплектом выполняемых функций. В данной статье были рассмотрены 4 САМ-системы. Если посчитать количество САМ-систем, имеющих хождение на российском рынке, то их число уже давно перевалило за десяток. Все они вполне справляются с расчетом траектории движения инструмента. При этом каждая из них формирует траекторию в некотором универсальном формате, не зависящем от модели конкретного станка. Как правило, в качестве выходного формата используются различные диалекты CLDATA или APT-файлов. Попытки их стандартизации, хотя и позволили навести некоторый порядок, но дело до стандарта, принятого всеми, так и не дошло. Насколько точно была выполнена обработка, имеются ли какие недостатки, с помощью средств САМ- систем, сказать невозможно.

Поэтому разработка системы верификации, которая по коду УП строит трехмерную модель детали, является актуальной. Полученная трехмерная модель должна быть создана в формате, удобном для анализа средствами САД-системы, в которой выполнялось проектирование. Так как КОМПАС-3D занимает существенную долю отечественного рынка инженерного ПО, то имеет смысл получать модель по УП в формате \*.m3d. Следующим этапом исследования возможна реализация модуля автоматизированной верификации, который выполняет сравнение геометрии и выдает заключение о корректности УП.

## Список литературы

1. Бирбраер, Р. Изготовление конических зубчатых колес на многофункциональных фрезерных станках с ЧПУ / Р. Бирбраер, А. Московченко, Р. Адоньев // САПР и графика. – 2009. – № 9 (155). – С. 69-72.
2. Быков, А.В. Ступени развития ADEM / А.В. Быков // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2012. – № 4 – С. 40-45.
3. Генератор постпроцессоров в CAD/CAM/ADDEM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.adem.ru/press/atricles/2006-08-01/> – 22.06.2014.
4. Добро пожаловать в BinarySpaces [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.binaryspaces.de/> – 22.06.2014.
5. Дополнительные модули PowerMILL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.delcam-ural.ru/cam/powermill\\_2](http://www.delcam-ural.ru/cam/powermill_2) – 22.06.2014.
6. Красковский, Д.Г. Автомобильное дизайн-бюро EuropeanDesignCentre использует САМ-систему PowerMILL при работе над дизайном новых автомобилей / Д.Г. Красковский // САПР и графика. – 2013. – № 11. – С. 112.
7. Кулик, С.Г. Популярность ESPRIT растет / С.Г. Кулик // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2012. – №1.
8. Ловыгин А.А. Очевидное и невероятное. Обзор 8-й версии российской САМ системы SprutCAM / А.А. Ловыгин // Isicad. Ваше окно в мир САПР. – 2014.
9. Маданов, А.В. Применение CSE-технологии для верификации управляющих программ в среде NX 8.0 / А.В. Маданов, А.Р. Гисметулин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. –Т. 15. – № 4-4. – С. 860-864.
10. Мода и инновации. Первый взгляд на новое поколение САМ – системы ESPRIT от DPTechnology [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://isicam.ru/expo/125/> – 22.06.2014.
11. Область применения PowerMILL [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.powermill.com/ru/applications/> – 22.06.2014.
12. Опыт применения САПР ADEM в изготовлении ракетно-космической техники [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.adem.ru/press/atricles/2005-03-01/> – 22.06.2014.
13. Ходоровский, Д. Опыт использования программного комплекса NX + VERICUT в ОАО «ОКБМ Африкантов» при изготовлении импеллеров / Д. Ходоровский, П. Копцевич // САПР и графика. – 2010. – № 8 (166). – С. 84-86.
14. Чигишев, Ю. Первым делом – самолеты / Ю. Чигишев // САПР и графика. – 2010. – № 1. – (159). – С. 13-18.

15. Что такое VERICUT? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vericut.ru/index.php/products/about-vericut> – 22.06.2014.
16. ADEM решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.adem.ru/solutions/> – 22.06.2014.
17. EdgeCAM – автоматизированное проектирование с большой буквы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://edgcam.ru/press-centre/publication/detail.php?ID=4788&print=Y> – 22.06.2014.
18. EdgeCAM (создание УП для станков с ЧПУ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cad.ru/ru/software/detail.php?ID=401> – 22.06.2014.
19. PowerMILL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://plmpedia.ru/wiki/PowerMILL> – 22.06.2014.
20. SprutCAM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/items/?prcid=89&prpid=1221> – 22.06.2014.

**Рецензенты:**

Сердюк А.И., д.т.н., профессор, директор Аэрокосмического института, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург.

Фот А.П., д.т.н., профессор, главный ученый секретарь, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург.