

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ 3D-МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ

Муканов Э.М.

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород*

Ключевые слова: системный анализ, автоматизированное проектирование, технологическая подготовка производства, 3D-модель, технологическое проектирование, цифровое производство.

Аннотация. В статье проводится системный анализ современных систем автоматизированного проектирования, предназначенных для технологической подготовки производства на основе 3D-модели изделия. Рассматривается классификация систем по функциональному признаку, анализируются их ключевые особенности, возможности и области применения. Приводится подробная сравнительная характеристика рассмотренных систем автоматизированного проектирования.

AUTOMATED ALGORITHMS FOR TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION BASED ON A 3D- MODEL OF THE PRODUCT

Mukanov E.M.

R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod

Keywords: systems analysis, automated design, pre-production planning, 3D-model, process design, digital manufacturing.

Abstract. This article provides a systems analysis of modern automated design systems designed for pre-production planning based on a 3D-model of a product. The classification of these systems by functional criteria is considered, along with an analysis of their key features, capabilities, and areas of application. A detailed comparative analysis of the analyzed automated design systems is provided.

Введение

Современное машиностроение характеризуется переходом от традиционных методов проектирования и производства к полностью цифровым технологиям. Центральным элементом этой трансформации стала 3D-модель изделия, которая перестала быть просто геометрическим представлением объекта, превратившись в информационное ядро всего жизненного цикла продукции. В этом контексте технологическая подготовка производства (ТПП) претерпевает кардинальные изменения: из рутинной, часто формальной процедуры она превращается в интегрированный, наукоемкий процесс, целиком основанный на данных 3D-модели.

Целью данного исследования является классификация, обзорный анализ, а также сравнительная характеристика основных видов систем автоматизированного проектирования для ТПП, использующих в своей основе 3D-модель изделия.

Виды систем для ТПП на основе 3D-модели

1) **Siemens NX** – программный продукт производства американской компании Siemens PLM Software. Программа NX включает системы CAD/CAM/CAE [1]. Система позволяет создавать производственные процессы,

назначать операции, ресурсы и оснастку непосредственно в контексте 3D-сборки. Программное обеспечение обладает глубокой интеграцией с модулем NX CAM для генерации управляющих программ (УП) для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) любого уровня сложности. Более того, Siemens NX обладает функциями технологического проектирования (CAPP – Computer-Aided Process Planning). Присутствует возможность генерации операционных и маршрутных карт с возможностью вставки 3D-видов, эскизов и пояснений непосредственно из модели, что существенно ускоряет процесс ТПП.

2) **Dassault Systèmes CATIA** – система автоматизированного проектирования (CAD) от французской компании Dassault Systemes [2]. Платформа объединяет средства проектирования и цифрового производства. Технолог может создавать детализированные 3D-инструкции по сборке и обработке, планировать размещение оборудования и оптимизировать производственные процессы в виртуальной среде.

3) **Autodesk Fusion 360** – программное обеспечение, разработанное компанией Autodesk и включающее системы автоматизированного проектирования (CAD), автоматизированного производства (CAM), автоматизированной инженерии (CAE) [3]. Система обладает интегрированными функциями CAM, позволяя совершать прямой переход из режима моделирования (CAD) в режим программирования станков с ЧПУ (CAM). Имеет встроенные средства для генерации управляющих программ, 3D-печати и симуляции обработки. Также данная система имеет функции технологического проектирования (CAPP) и документации, которые позволяют генерировать чертежи с ассоциативными видами, разрезами и размерами из 3D-модели, создавать интерактивные инструкции по сборке или обработке, встраивая 3D-виды прямо в технологические карты.

4) **Mastercam** – специализированная CAM-система от американской компании CNC Software, Inc., предназначенная для автоматизации и оптимизации процессов проектирования, программирования и управления станками с числовым программным управлением (ЧПУ) [4]. Отлично импортирует модели из всех основных CAD-систем в CAM-систему и строит стратегии обработки напрямую на 3D-геометрии. Mastercam может напрямую читать файлы всех основных CAD-систем (Siemens NX, CATIA, Autodesk, КОМПАС-3D и др.), а также нейтральные форматы (STEP, IGES, Parasolid).

5) **«Лецман PLM»** – это российская специализированная CAPP-система, предназначенная для автоматизации работы инженеров-технологов на этапе ТПП [5]. В отличие от CAD/CAM-систем, фокус «Лецмана» – не на создании геометрии или программировании станков с ЧПУ, а на автоматизации проектирования технологических процессов и формирования всей необходимой документации в строгом соответствии со стандартами ЕСКД и ЕСТД. Система автоматически формирует все виды технологической документации: маршрутные карты, операционные карты, карты эскизов, схем и настроек, ведомости оснастки и материалов, нормативы времени. Позволяет выстроить дерево технологического процесса от маршрутной карты до конкретных операционных карт и переходов внутри них. Также система автоматически рассчитывает штучное, штучно-

калькуляционное и подготовительно-заключительное время на основе выбранного оборудования, инструмента и заданных режимов обработки.

6) «ВЕРТИКАЛЬ» – это российский комплексный программный продукт для автоматизации всей технологической подготовки производства (АСТПП) [6-7]. «ВЕРТИКАЛЬ» позиционируется как единая информационная среда для всех участников процесса ТПП: инженера-технолога, нормировщика, конструктора оснастки и руководителя. Система позволяет создавать полную иерархию технологической документации – от маршрутной карты до операционных карт с детализацией до отдельных переходов. Так же, как и «Лощман», позволяет создавать полную иерархию технологической документации, вести базу данных по применяемому оборудованию, инструменту, материалам, профессиям и т.д., рассчитывать штучное, штучно-калькуляционное и подготовительно-заключительное время на основе выбранного оборудования, инструмента и заданных режимов обработки. Система «ВЕРТИКАЛЬ» обладает модульной архитектурой для всех специалистов ТПП: «ВЕРТИКАЛЬ» Технолог; «ВЕРТИКАЛЬ» Нормировщик; «ВЕРТИКАЛЬ» Оснастка; «ВЕРТИКАЛЬ» Спецификации.

7) КОМПАС 3D (АСКОН) – это ведущая российская полнофункциональная САД-система, которая обеспечивает не только решение конструкторских задач, но и предоставляет мощные инструменты для ТПП [8]. Её ключевое преимущество для ТПП – это глубокая интеграция технологических модулей в единую среду с 3D-моделью изделия, что создает основу для сквозного проектирования без потерь данных.

КОМПАС-3D для ТПП – это не один инструмент, а набор целевых модулей:

– **КОМПАС-ЧПУ: Мощный САМ-модуль** для программирования станков с ЧПУ.

– **САПР Технолог (САПР-модуль):** Приложение для автоматизированного проектирования технологических процессов.

Система позволяет открывать и работать с 3D-моделями из других САД-систем (STEP, IGES, Parasolid и др.), что важно для предприятий со смешанным парком САПР. Также по заданной 3D-модели быстро создавать ассоциативные производственные чертежи, схемы сборки и наладки оборудования.

8) T-FLEX CAD/CAM/CAPP – это российская интегрированная параметрическая система сквозного проектирования [8]. Её ключевая особенность для ТПП – это глубокая параметрическая ассоциативность, которая обеспечивает динамическую связь между 3D-моделью изделия, чертежами, технологическими процессами и управляющими программами для станков с ЧПУ. T-FLEX может работать как с собственными моделями, так и импортировать геометрию из других САД-систем. Система автоматически формирует полный комплект технологической документации (маршрутные и операционные карты, ведомости) в соответствии с требованиями ЕСКД/ЕСТД.

Как в случае «КОМПАС 3D» и «ВЕРТИКАЛЬ» система T-FLEX имеет модульную структуру. *Модуль технологического проектирования* – это САПР-ядро системы, предназначенное для автоматизации работы инженера-технолога. *Модуль программирования ЧПУ* – это САМ-компонент системы для создания управляющих программ.

Сравнительная характеристика

В таблице 1 приведена сравнительная характеристика рассмотренных систем для ТПП.

Табл. 1. Сравнительная характеристика рассмотренных систем для ТПП

Система	Разработчик	Тип системы	Ключевые возможности для ТПП	Основные преимущества	Нормирование
Siemens NX	Siemens PLM Software (США)	Комплексная CAD/CAM/CAE/PLM	Интегрированное CAD/CAM/CAE, расширенные возможности для разработки управляющих программ, планирование техпроцессов, библиотека инструментов	Мощный функционал для сложных проектов, высокая производительность, глубокая интеграция всех этапов	Есть
Dassault Systèmes CATIA	Dassault Systèmes (Франция)	Комплексная CAD/CAE/PLM	CAD для сложной геометрии, CAE, частичные функции ТПП через интеграцию и специализированные модули	Лучшая в классе для сложных поверхностей, аэрокосмической и автомобильной промышленности, высокая точность	Есть
Mastercam	CNC Software, Inc. (США)	CAM (Обработка)	Широкие функции CAM для механической, эрозионной, лазерной обработки	Широкий выбор стратегий обработки, высокая скорость генерации УП, простота освоения	Есть (расчет на основе справочников)
Autodesk Fusion 360	Autodesk (США)	Облачная CAD/ CAM/CAE/PCB	Интегрированный CAD/CAM/CAE	Простота использования, интегрированный функционал для малого и среднего бизнеса	Нет
Лоцман PLM	АСКОН (Россия)	PLM (Управление жизненным циклом)	Управление инженерными данными (PDM), электронный архив, управление проектами, бизнес-процессами, интеграция с САПР	Российская разработка, глубокая интеграция с КОМПАС-3D и ВЕРТИКАЛЬ, адаптация под российские стандарты (ЕСКД, ЕСТД)	Есть (расчет через модуль «Нормировщик»)

Табл. 1. Продолжение

Система	Разра- ботчик	Тип системы	Ключевые возможности для ТПП	Основные преимущества	Норми- рование
ВЕРТИКАЛЬ	АСКОН (Россия)	САРР (Проекти- рование техпроцессов)	Автоматизирован- ное проектирование техпроцессов, выбор оборудования, расчет норм материалов и времени, формирование техдокументации	Специализиро- ванное ПО для проектирования ТП, ускоряет разработку техпроцессов, снижает ошибки, соответствует ЕСТД	Есть
КОМПАС-3D	АСКОН (Россия)	CAD (Модели- рование)	3D-моделирование деталей и сборок, выпуск КД. Является основой для ТПП-решений АСКОН	Российская разработка, доступность, соответствие ГОСТ и ЕСКД, относительно невысокая стоимость, популярность в РФ	Есть
T-FLEX PLM/CAD/ CAM/CAE	Топ Системы (Россия)	Комплексная PLM/CAD/ CAM/CAE	Интегрированная система: параметрическое 3D-моделирование, разработка УП, инженерные расчеты, управление данными и жизненным циклом	Российская разработка, мощное параметрическое ядро, полная интеграция CAD/CAM/CAE/ PDM/PLM, гибкость настройки	Нет

Заключение

Проведенный анализ показывает значительно разнообразие САПР, основанных на использовании 3D-модели изделия. Выбор конкретного типа определяется: отраслевой спецификой, типом производства, требованиями к интеграции и бюджетными ограничениями. Универсальные платформы обеспечивают максимальную эффективность для сложных наукоемких производств, в то время как специализированные решения остаются оптимальным выбором для многих средних и малых предприятий. Широкое внедрение в российские машиностроительные предприятия данных автоматизированных алгоритмов с целью повышения производительности и качества продукции остается наиболее актуальной проблемой современного производства.

Список литературы

1. Ботиров А.А. Проектирование технологических процессов с использованием программы Siemens NX 12.0 на станках с числовым программным управлением // Oriental renaissance:

- Innovative, educational, natural and social sciences. – 2021. – Т.1, №11. – С. 1192-1199.
2. Dassault Systèmes. CATIA Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>.
 3. Долова А.А., Константиныди А.Ю., Траоре Д.О. Основы 3D моделирования с применением САПР Autodesk Fusion 360 // Политехнический молодежный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2018. – №10(27). – doi.org/10.18698/2541-8009-2018-10-389.
 4. CNC Software, Inc. Mastercam Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mastercam.com/>.
 5. Ильин Б.А., Мелих С.А. Проектирование технологических процессов в PDM-системе Лощман: PLM // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2008. – №48. – С.131-133.
 6. Бехметьев В.И. Исследование прикладных особенностей системы автоматизированного проектирования технологических процессов «Вертикаль» в создании эффективных технологий изготовления деталей самолетов // Наука без границ. – 2020. – №3(43). – С. 53-67.
 7. Архицкий Н.А. Оценка возможностей системы САПР ТП Вертикаль // XIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ». – 2021. – <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2021/RM21/pages/Articles/031603.pdf>.
 8. Дудко О.Н., Нелюбина А.Д., Кожевникова Н.Ю., Хасанов А.Р. Обзор систем автоматизированного проектирования // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – №2(2). – С. 51-54.

Сведения об авторе:

Муканов Эрик Маратович – аспирант.