

Опыт применения CAD/CAM систем в образовательном процессе базовой кафедры «Авиастроение»

Чигринец Е.Г.^{1,2*}, Родригес С.Б.^{1,2}, Чотчаева С.К.^{1,2}, Сорокин А.В.^{1,2}

¹Донской государственный технический университет,

пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344003, Россия

²Ростовский вертолетный производственный комплекс ПАО «Роствертол» им.

Б.Н. Слюсаря, улица Новаторов, 5, Ростов-на-Дону, 344038, Россия

**e-mail: egchigrinets@gmail.com*

Статья поступила 17.11.2020

Аннотация

Благодаря интеграции твердотельного трехмерного моделирования, анализа и симуляции большее значение в промышленности приобретает компьютерный инжиниринг, а востребованность выпускников инженерных специальностей определяется во многом знанием современных CAD/CAM систем и умением их использовать для технологической подготовки производства. В работе представлен проблемно-ориентированный подход к подготовке инженеров авиастроительного профиля с применением системы автоматизированного проектирования NX от Siemens PLM Software. Публикация подготовлена по результатам сотрудничества базовой кафедры "Авиастроение" Донского государственного технического университета и отдела систем автоматизации технологического проектирования

ПАО «Роствертола» в рамках проекта «Новые кадры оборонно-промышленного комплекса».

Ключевые слова: CAD/CAM системы, NX CAM, Siemens NX, механическая обработка, 5-ти координатная обработка, инженерное образование

Введение

Авиастроение одна из наиболее передовых и наукоемких отраслей российской промышленности, является драйвером и задает вектор развития всех остальных областей машиностроения. Цифровая трансформация мировой экономики, бурное развитие информационных и компьютерных технологий меняют характер конкурентной борьбы на глобальном рынке авиационной техники. Победителем в гонке технологий становятся предприятия, способные в кратчайшие сроки и с минимальными затратами пройти путь от технического задания, проектирования и производства до сертификации и ввода изделия в эксплуатацию. Это требует работы большого количества высококвалифицированных специалистов в единой информационной среде, где цифровые данные могут использоваться параллельно, быть легко масштабируемыми под производственные условия и кастомизируемыми под требования заказчиков. Для этих целей на ведущих мировых предприятиях активно внедряются системы PDM/PLM (Product Data Management/Product lifecycle Management), охватывающие все стадии жизненного цикла, его интеграцию с производственными процессами и обеспечивающие стандартизацию информационного обмена [1-2]. Одним из сдерживающих факторов промышленного применения данных систем в России является отсутствие не уступающих по функционалу и возможностям отечественных аналогов, что несет определенные

политические риски, зависимость от иностранных поставщиков и проблемы безопасности данных на предприятиях, выпускающих продукцию военного и двойного назначения.

На предприятии ПАО «Роствертол», занимающимся серийным выпуском вертолетов семейства «Ми» (Ми-26, Ми-24, Ми-35, Ми-28), используется система NX от Siemens PLM Software, которая стала стандартом решения задач CAD/CAM/CAE (Computer-Aided Design, Computer-Aided Manufacturing, Computer-Aided Engineering) в рамках всех предприятий холдинга АО «Вертолеты России» [3]. Значительный объем конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) переходит в виртуальное пространство [4-9], когда одно рабочее место высококвалифицированного специалиста в области компьютерного моделирования и симуляции выполняет объем работ, на который ранее требовалась группа инженеров или даже отдел. Узким местом является дефицит кадров в области цифрового производства, поскольку выпускники большинства российских ВУЗов, как правило, не готовы использовать полученные теоретические знания на практике, а навыки работы с современными PDM системами для решения конкретных реальных задач находятся на низком уровне.

Вслед за цифровизацией промышленности, стиранием четких границ между фундаментальной наукой и прикладными исследованиями, происходят кардинальные изменения и в подготовке инженерных кадров, способных решать поставленные задачи на междисциплинарном стыке [10-12]. Так тенденцией последних лет в США [13] и странах западной Европы [14, 15] стало активное

применение методов STEM-образования (Science – наука, Technology – технология, Engineering – инженерия, Mathematics – математика) в подготовке специалистов научно-технического направления, представляющее собой интеграцию пяти научных областей в единую систему для решения конкретных задач, взятых из реальных примеров. Так компанией Siemens PLM Software была запущена глобальная образовательная программа GO PLM (Global Opportunities in Product Lifecycle Management – глобальные возможности в сфере управления жизненным циклом изделия), помогающая образовательным учреждениям и предприятиям организовывать сотрудничество для реализации совместных проектов. В России также есть успешные примеры взаимодействия предприятий и ВУЗов в рамках аналогичных программ (например, внедрение технологий проектирования и КТПП проекта по созданию самолета МС-21 корпорацией «Иркут» совместно с ИрГТУ) [16-18], однако проблема остается актуальной, в особенности для региональных учебных заведений.

Ввиду отсутствия инвестиций в технологический рост России, падение качества технического образование, недостаточное его финансирование и низкий престиж инженерных специальностей поставили ПАО «Роствертол» перед проблемами так называемого «разрыва поколений», острого дефицита инженерно-технических кадров и несоответствия академических учебных программ запросам современного производства. Система российского высшего образования, перегруженная регламентирующими учебный процесс документами, не имела достаточной гибкости в стремительно меняющихся условиях, поэтому

руководством ПАО «Роствертол» и «Донским государственным техническим университетом» было принято стратегическое решение о формировании профессионально-образовательного кластера. Ядром этой системы стала корпоративная кафедра «Авиастроение», цель функционирования которой – опережающая подготовка и переподготовка специалистов авиационного профиля всех уровней: от инженера до специалистов высшей научной квалификации. Кафедра располагается на территории Ростовского вертолетного производственного комплекса и имеет доступ к его производственной, испытательной и лабораторной базе, а большая часть преподавателей являются ведущими сотрудниками ПАО «Роствертола».

Применение системы NX CAD/CAM в учебном процессе

На кафедре «Авиастроение» студенты знакомятся с CAD/CAM/CAE системами в рамках таких дисциплин, как «Автоматизированные системы технологической подготовки производства», «Основы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ» «САПР изделий авиастроения», «Математическое моделирование». Однако следуя образовательным стандартам, структура учебных программ такова, что студенты получают только базовые навыки без глубокого погружения в вопрос их практического применения на реальных примерах. Поэтому поступающие на работу в ПАО «Роствертол» выпускники ВУЗа проходят определенный этап адаптации.

Для преодоления данной проблемы кафедрой «Авиастроения» ДГТУ совместно со специалистами и на базе ПАО «Роствертола» в рамках ведомственной

целевой программы «Новые кадры оборонно-промышленного комплекса» проведено обучение бакалавров 4 курса (направление 24.03.04) модулю «Конструкторско-технологическая подготовка вертолётостроительного производства с применением САПР Siemens NX CAD/CAM». Обучающий модуль был разделен на две части с учебными программами – NX CAD (150 часов) и NX CAM (190 часов).

Обучение велось параллельно с преддипломной практикой, что позволило использовать проблемно-ориентированный подход [19]. На первом этапе студентами изучалась конструкторско-технологическая документация на деталь согласно заданию практики. По чертежам детали и заготовки с помощью системы NX CAD разрабатывались 3D-модели, которые далее будут использоваться для расчета управляющих программ (УП) (рис. 1).

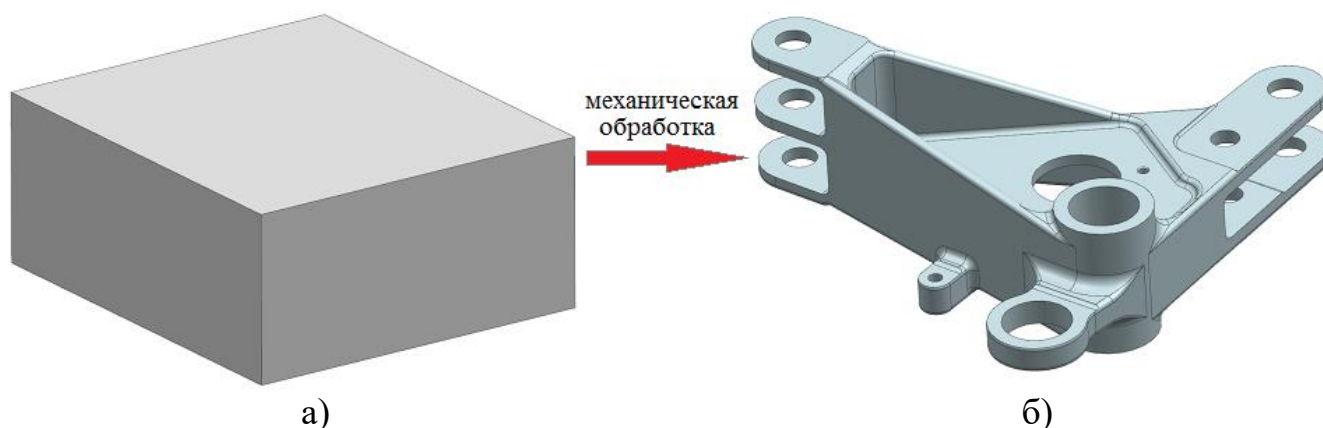


Рис. 1 Заготовка (а) из алюминиевого сплава АК6 (габарит 180×160×80 мм) и деталь «Качалка» (б) механизма управления вертолетом

Далее выполнялся анализ базового технологического процесса (ТП) и разрабатывался операционный ТП механической обработки на станке с ЧПУ. В качестве оборудования использовались 4-х и 5-ти координатные обрабатывающие

центры (ОЦ), обеспечивающие изготовление детали за минимальное число установов. После определения стратегии механической обработки, используя основные положения теории базирования и проектирования технологической оснастки, в модуле NX CAD создавалась 3D-модель фрезерного приспособления (рис. 2, а). В течение лекционных занятий, предусмотренных программой обучения NX CAM, на территории механосборочного производства ПАО «Роствертола» изучались основные узлы и кинематика имеющихся обрабатывающих центров (рис. 2, б), которые могут быть использованы для каждой конкретной детали.

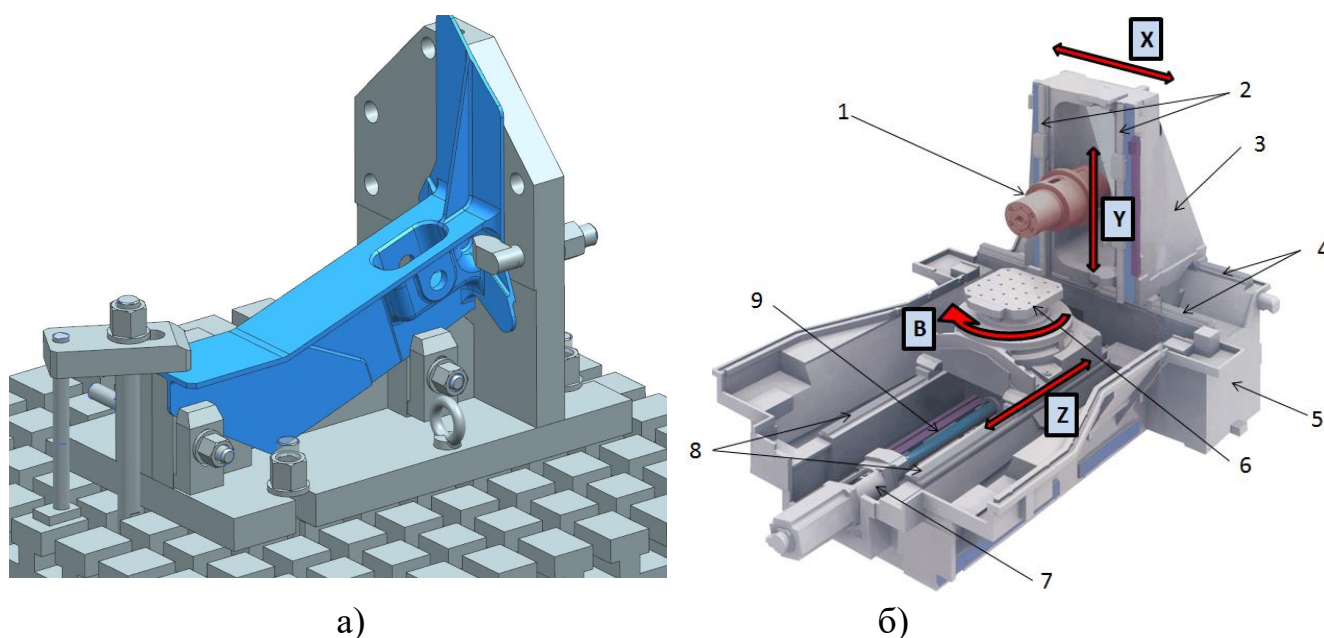


Рис. 2 Анализ базового ТП: а) проектирование технологической оснастки, б) основные узлы и кинематика ОЦ MAZAK HCN 5000-II: 1 – шпиндельный узел, 2 – направляющие оси Y, 3 – колонна, 4 – направляющие оси X, 5 – станина, 6 – паллета (стол), 7 – серводвигатель переменного тока привода подачи по оси Z, 8 – направляющие оси Z, 9 – шарико-винтовая пара оси Z

Далее создавалось рабочее пространство обработки – задание заготовки, детали, оснастки, нулевой точки (машинная система координат). Задание нулевой точки для каждого установа достаточно ответственный этап моделирования процесса механообработки, поскольку от правильности и возможности ее точного

определения на обрабатывающем центре зависит получение годной детали. В своих отчетных работах по результатам обучения студентам требуется обосновать назначение машинной системы координат на каждом установе с позиции обеспечения единства технологических баз и их связью с конструкторскими базами, а в течение практических занятий в цехе реализовать ее на станке с ЧПУ, руководя работой наладчика. На рис. 3а представлено задание рабочего пространства в NX, а на рис. 3б показана ее реализация на рабочем столе ОЦ.

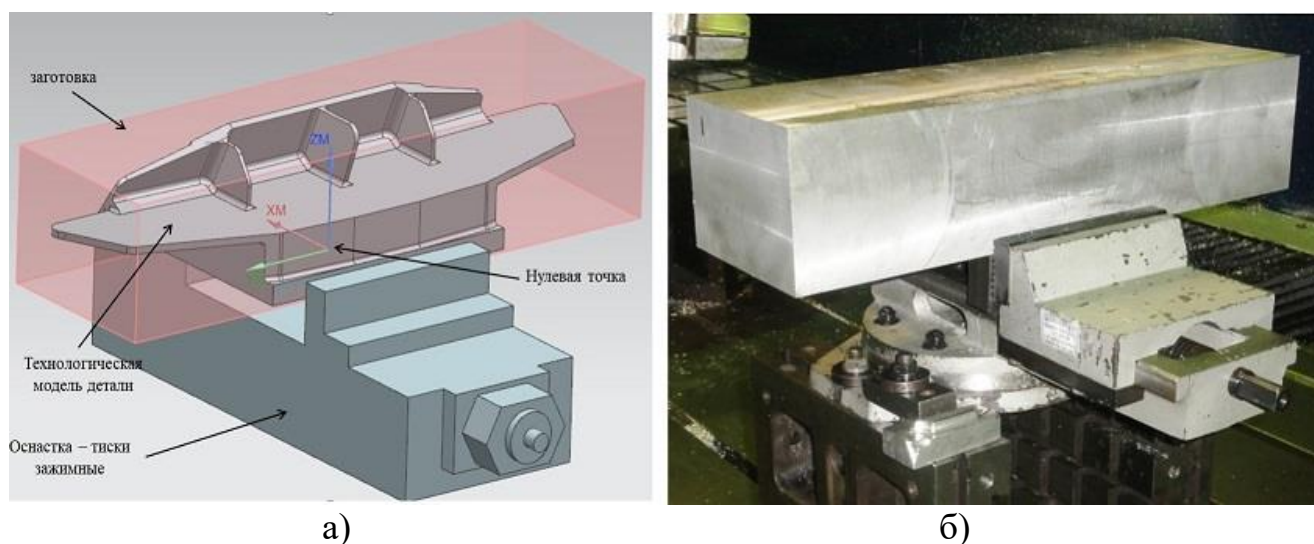


Рис. 3 Реализация рабочей области обработки детали «Фитинг»: а) в системе NX CAM, б) на ОЦ MAZAK INTEGREX e-1550V/10II

Одной из целей программы было максимально приблизиться к реальным производственным условиям при решении поставленных практических задач, поэтому вначале студентами проанализированы доступные на участке ОЦ режущие инструменты (рис. 4), а уже далее с учетом имеющейся номенклатуры выполнен синтез маршрута обработки. Это отличается от устоявшегося в академическом сообществе порядка проектирования операции механической обработки, но позволяет студенту переосмыслить теоретические знания и нестандартно подходить

к решению инженерных задач (например, внедрение обработки детали в жестких временных рамках при ограниченной номенклатуре доступного режущего инструмента).

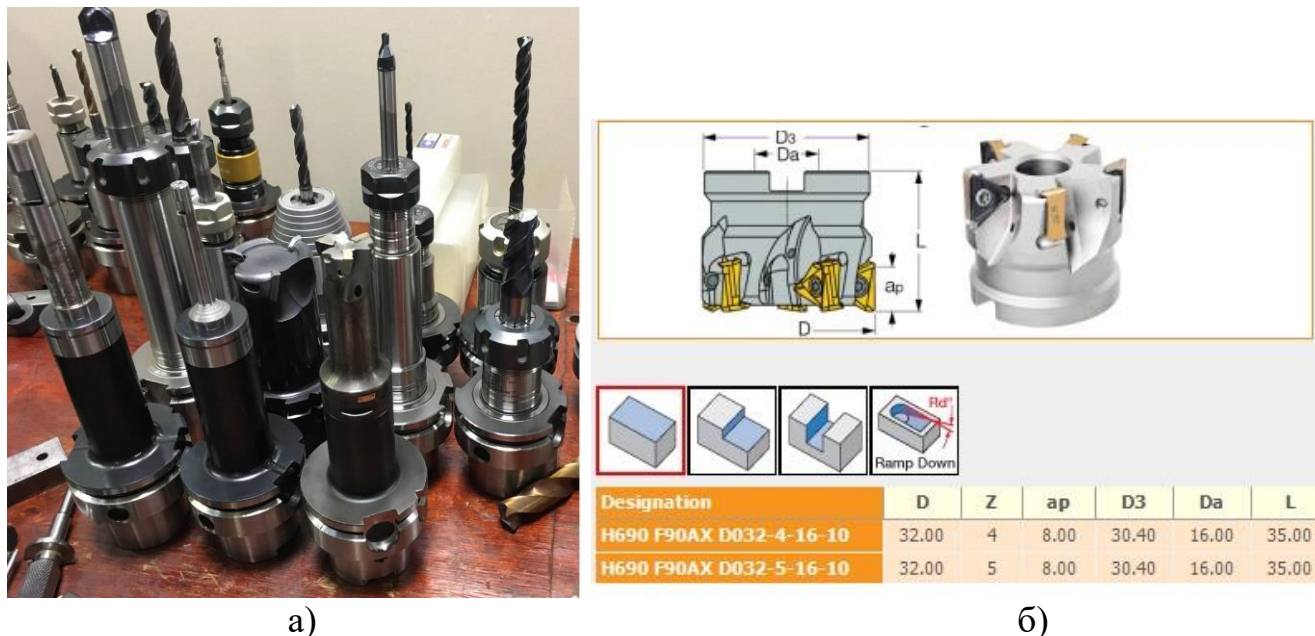


Рис. 4 Подбор номенклатуры режущего инструмента: а) на участке ОЦ, б) проверка по каталогам его параметров, соответствия стратегии обработки и режимов обработки

После предварительного подбора требуемого инструмента создаются его математические модели в среде NX CAM, где прописываются параметры режущей части, хвостовика и держателя (рис. 6). Если размеры хвостовика и держателя необходимы только для возможности верификации управляющей программы на предмет столкновений, то от таких параметров как диаметр, радиус в уголках и количество зубьев фрезы зависит правильность и безопасность рассчитанных траекторий движения инструмента и режимов обработки.

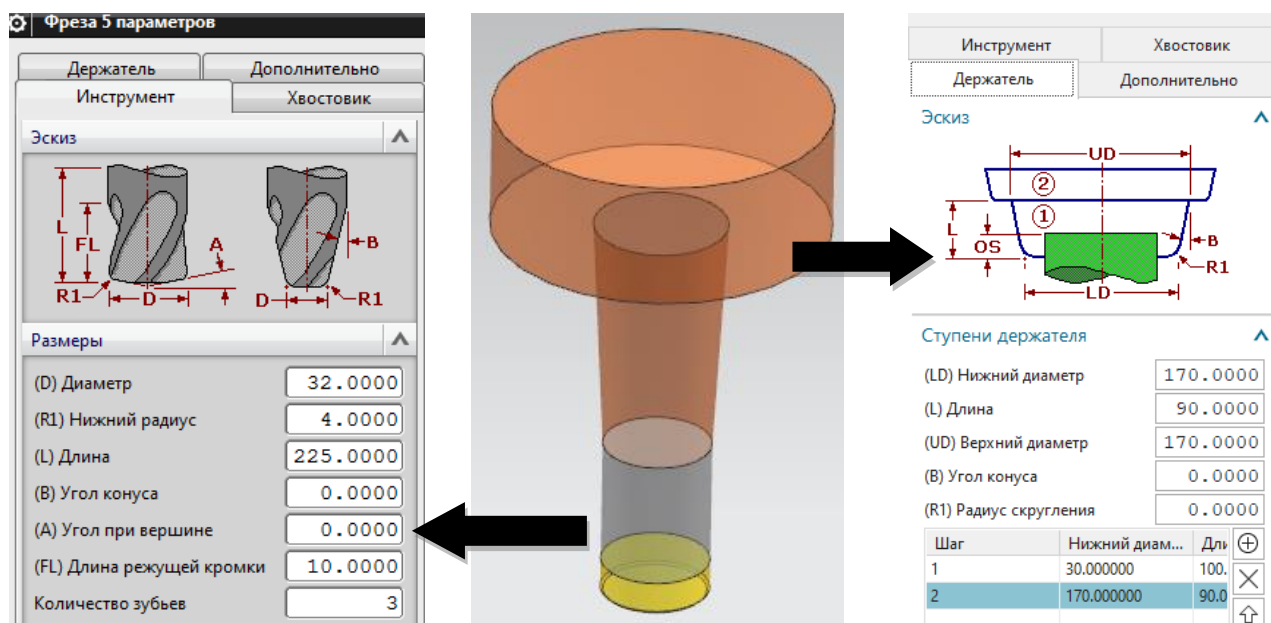


Рис. 6 Создание режущего инструмента в САМ модуле NX

Далее используя разработанный маршрут обработки, осуществляется расчет управляющих программ с учетом зон подхода инструмента и обхода элементов оснастки, режимов обработки. Авиационные детали имеют сложную пространственную геометрию [20, 21], с высокими требованиями к взаимному расположению обрабатываемых поверхностей (рис. 7, а), которые могут иметь криволинейную форму (рис. 7, б) или быть заданы различными видами сплайна (рис. 7, в). Поэтому механические цеха ПАО «Роствертола» оснащены фрезерными и токарно-фрезерными ОЦ с пятью-девятью управляемыми осями, а в подготовке специалистов большое внимание уделяется программированию 4-х и 5-ти координатной обработке. Данные виды механической обработки в свою очередь подразделяются на позиционные (индексированные, также обозначаемые как «3+1» и «3+2») и непрерывные (перемещение инструмента одновременно по 4 или 5 степеням свободы).

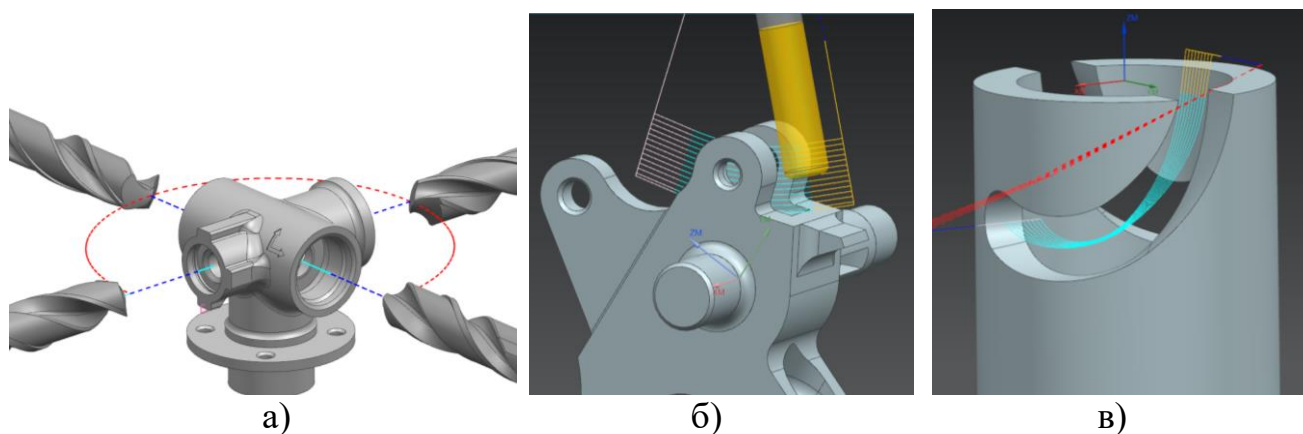


Рис. 7 Траектории движения режущего инструмента при пятиосевой обработке: а) позиционное 5-ти координатное сверление, б) непрерывное 4-х координатное фрезерование паза с радиусным дном, в) непрерывное 5-ти координатное фрезерование замковой поверхности

В программе обучения «Новые кадры ОПК» порядка 40 часов было отведено на изучение программирования позиционной и непрерывной многокоординатной обработки. После овладения теоретическими основами методов управления 4-х и 5-ти осевого фрезерования и их закрепления на базовых упрощенных примерах, студенты выполняли расчет управляющих программ на деталях согласно заданию.

Одним из таких примеров может служить деталь «Фланец» мультициклонного пылезащитного устройства вертолета Ми-28, технология механической обработки которой была разработана для ОЦ HURON K2X8FIVE. Заготовка из стали 14X17H2 поступает на станок после предварительной токарной обработки (рис. 8, а). Наибольший интерес представляет расчет УП формирования зуба запирания (рис. 8, б), имеющего угол подъема $4^{\circ}40'$ с основанием, расположенным на диаметре 40 мм. В качестве технологических баз выбрана наружная предварительно проточенная поверхность $\varnothing 22$ мм и торец заготовки (рис. 8, в).

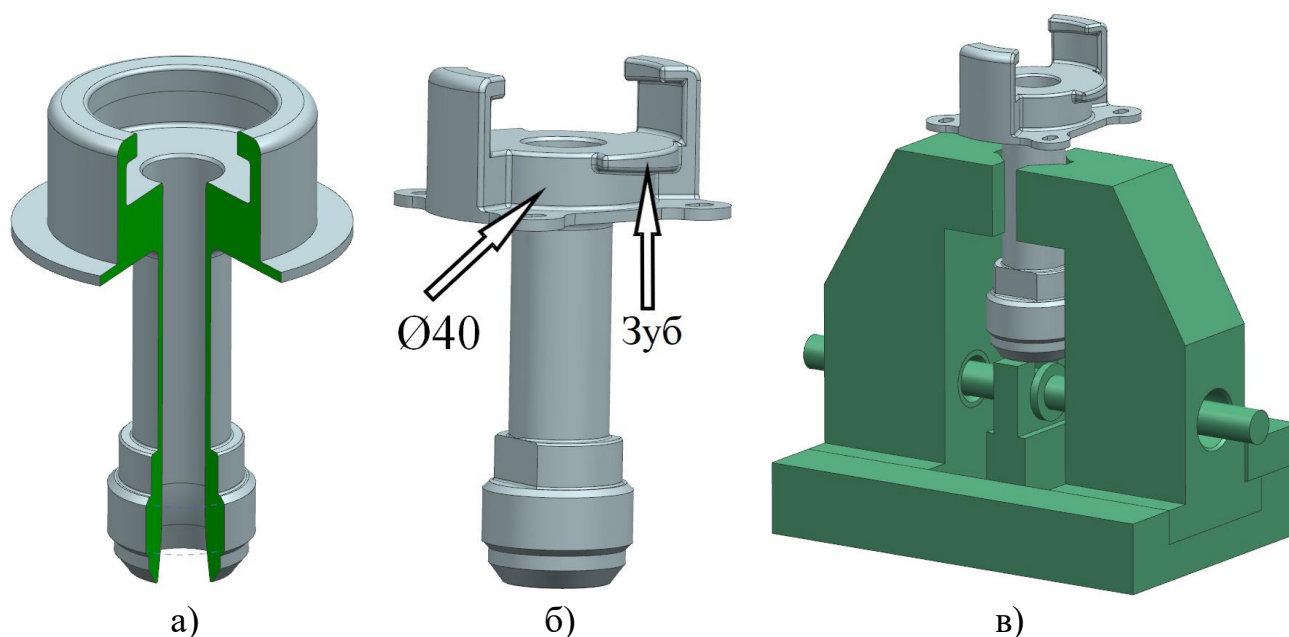


Рис. 8 Деталь «Фланец»: а) 3D -модель заготовки, б) 3D -модель детали, в) 3D – модель приспособления – схема установки и закрепления

Для чистовой операции фрезерования зуба была выбрана концевая фреза $\text{Ø}6\text{R}1$. В системе NX задан метод управления «Переменная ось инструмента». Поскольку выполненная под углом $4^{\circ}40'$ рабочая грань зуба представляет собой линейчатую поверхность с образующими в виде прямых линий, то именно вдоль этих линий осуществляется позиционирование боковой стороны режущего инструмента (рис. 9, а). Причем происходит плавное изменение ориентации оси фрезы при переходе процесса резания на расположенные под другими углами относительно оси детали смежные стенки. На рис. 9б показано задание управляющей геометрии, на основе которой формируется массив точек, в которые помещается инструмент и через вектор проекции определяется точка контакта с обрабатываемой геометрией.

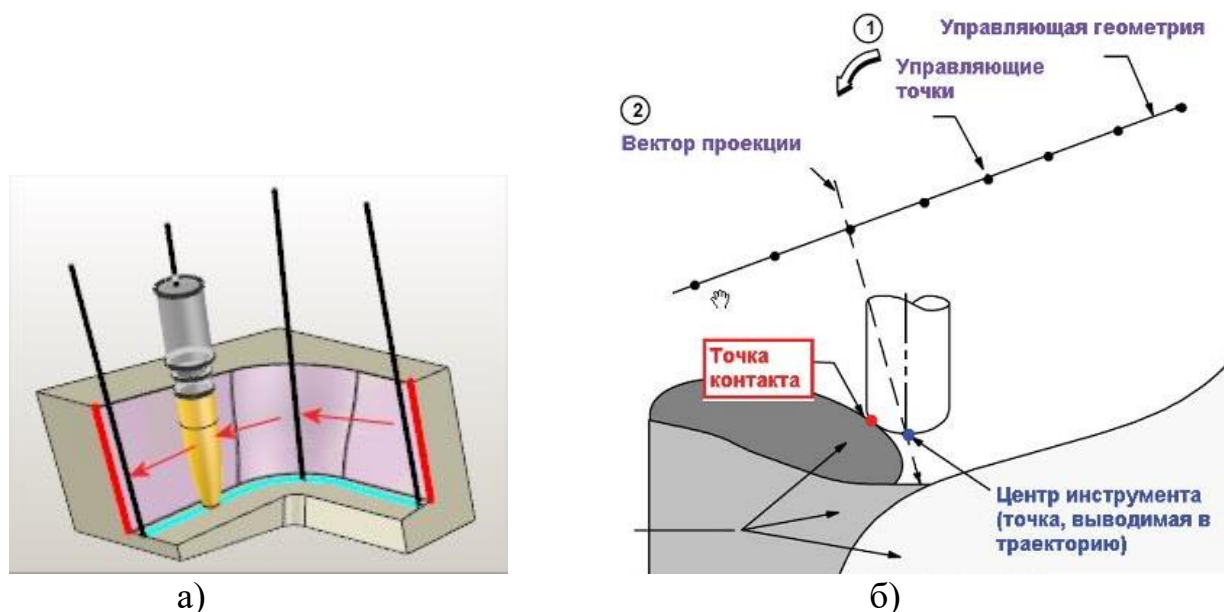


Рис. 9 Элементы настройки стратегии обработки «Переменная ось инструмента» в NX CAM: а) выравнивание оси инструмента по образующим поверхности, б) задание управляющей поверхности [22]

Наибольшую сложность в программировании непрерывной обработки по пяти осям представляет именно задание управляющей геометрии и определение оптимального вектора проекции. На первых этапах обучения для упрощения процесса понимания логики работы и настройки студентами использовались 5-ти координатные траектории с наиболее максимальным уровнем автоматизации, например «Профиль по контуру». Так на рис. 10 показана траектория фрезерования зуба запирающей детали «Фланец», где в качестве управляющей геометрии выбрана цилиндрическая поверхность $\varnothing 40$ мм (см. рис. 8, б), а вектор проекции задан вдоль главной оси детали. На станок с ЧПУ программа обработки выводится через координаты центральной точки режущего инструмента, которая может и не находиться на обрабатываемой геометрии. В данном примере рабочая поверхность

зуба (угол $4^{\circ}40'$) формируется боковой частью инструмента, а дно кармана ($\varnothing 40$ мм) – торцом и радиусом скругления R1 коцевой фрезы.

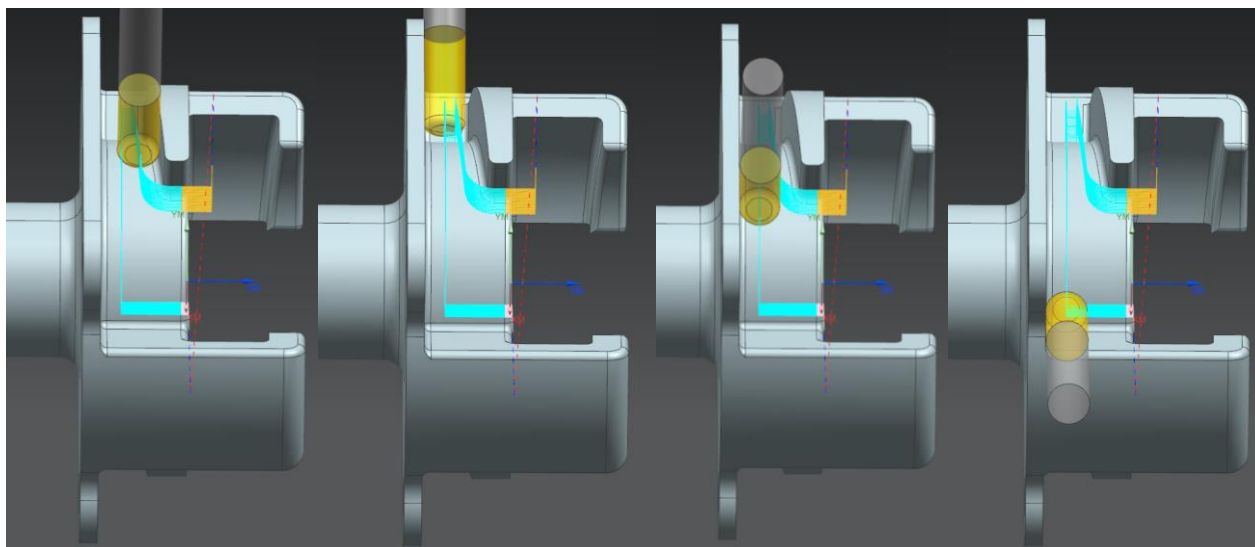


Рис. 10 Траектория обработки зуба запираения детали «Фланец»

Подготовка современного инженера в области разработки управляющих программ для станков с ЧПУ, невозможна без практики на реальном оборудовании. Выполненные студентами проекты механической обработки проходили верификацию с применением кинематических моделей обрабатывающих центров ПАО «Роствертола» с настроенными контроллерами и постпроцессорами. Для этого использовано программное обеспечение VERICUT (рис. 11), позволяющее в качестве источника проверки использовать УП в кодах станка, что обеспечивает полную имитацию работы оборудования, тогда как проверка внутренними симуляторами САМ-систем осуществляется в нейтральном формате CL-DATA (Cutter Locations DATA) и визуализируемое на мониторе компьютера может отличаться от реально происходящего на станке. Применение систем верификации особенно актуально в процессе обучения технологов-программистов 4-х и 5-ти

координатных ОЦ, поскольку позволяет вести непрерывный контроль движений органов станка и возможные их столкновения с технологической оснасткой и заготовкой перенести в виртуальную область, что позволит предотвратить все аварийные ситуации и оптимизировать управляющую программу до ее передачи в цех.

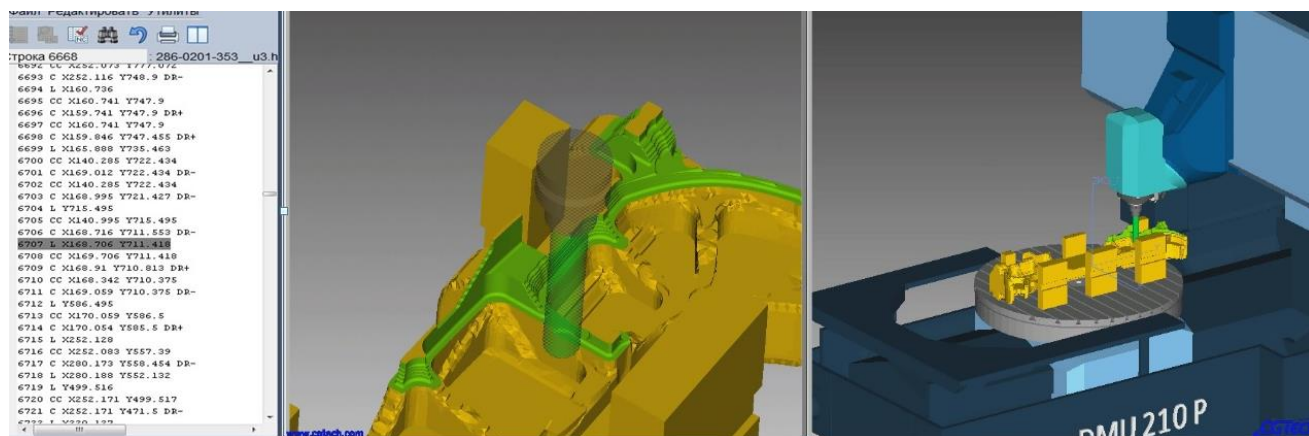


Рис. 11 Верификация управляющей программы в VERICUT

Учебной программой модуля «Конструкторско-технологическая подготовка вертолётостроительного производства с применением САПР Siemens NX CAD/CAM» испытание управляющих программ на станках с ЧПУ не была предусмотрена. Однако, в рамках преддипломной практики, отдельные проекты студентов, прошедшие экспертизу технологами-программистами ПАО «Роствертола» и получившие высокую оценку, при посредничестве последних, были отработаны на 5-ти осевых обрабатывающих центрах HURON K2X8FIVE и DMU 210P duoBLOCK. Для этого использовались заготовки, которые не могли идти в производство вертолетных деталей как не прошедшие входной контроль (брак на токарной обработке, наличие внутренних дефектов и пр.), однако подходящие для отработки управляющих программ в учебных целях (рис. 12).

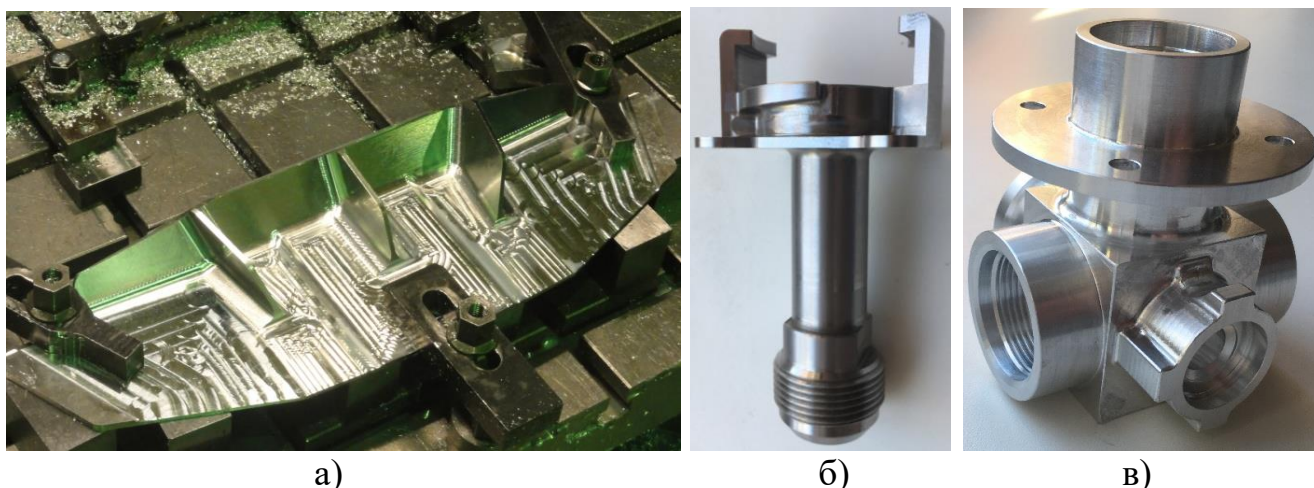


Рис. 12 Примеры практической реализации проектом обработки: а) фрезерование малкованных ребер и теоретического контура детали «Фитинг», б) обработанный зуб запираения детали «Фланец», в) результат отработки позиционной 5-ти координатной обработки детали «Корпус»

Большинство современных обрабатывающих центров оснащены измерительными головками Renishaw, которые как правило используются для определения нулевой точки обработки. Однако в последние годы с их применением связано широкое распространение технологий OMW (on-machine verification) и различных схем адаптивной механической обработки: виртуальное базирование заготовки без явных технологических баз, идентификация и перераспределение припусков на механическую обработку, измерение детали и определение необходимой коррекции инструмента для повторной обработки [3].

В традиционной технологии авиа- и машиностроения операции контроля и механической обработки рассматриваются как независимые процессы, выполняемые на разном оборудовании, а порой и разными цехами. Снятие детали с ОЦ и ее доставка в измерительную лабораторию представляется не только технической задачей, увеличивающей производственный цикл, но и является потенциальным источником новых погрешностей изготовления. Точность

позиционирования современных станков с ЧПУ не уступает стационарным координатно-измерительным машинам (КИМ), а наличие измерительных датчиков Renishaw, устанавливаемых в шпиндель ОЦ, делают возможным широкое внедрение концепции OMW, когда как минимум межоперационный контроль осуществляется непосредственно на обрабатывающем центре на основе трехмерной CAD-модели.

Поэтому в данной образовательной программе 12 часов было отведено под программирование в системе NX CAM измерительных операций (Probing). Команды управления датчиком Renishaw вставляются в УП и поддерживаются при симуляции движений щупа с контролем столкновений (Рис. 13).

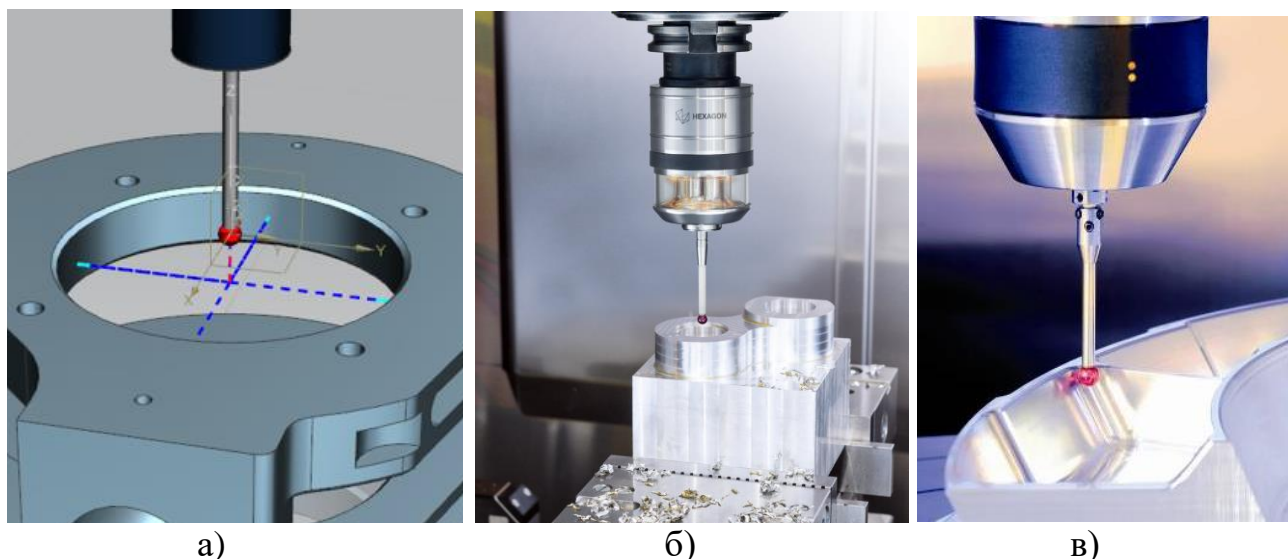


Рис. 13 Измерительная операция на ОЦ: а) программирование в САМ системе NX измерения диаметра отверстия, б) измерение диаметра отверстия после механической обработки, в) контроль соответствия теоретического контура САД-модели

Выполнять же окончательный контроль полностью готовой детали на станке, на котором она изготовлена, с точки зрения метрологии идеологически неверно. Поэтому порядка 3-х часов обучения было посвящено программированию измерительных операций на основе САД-моделей с помощью стационарной КИМ

(рис. 14). Хотя отведенных трех часов недостаточно, чтобы сформировать у студента твердые навыки работы с координатно-измерительной машиной, но вполне хватает для ознакомления с алгоритмом создания операций, имеющим определенное сходство с позиционной 5-ти координатной механической обработкой.

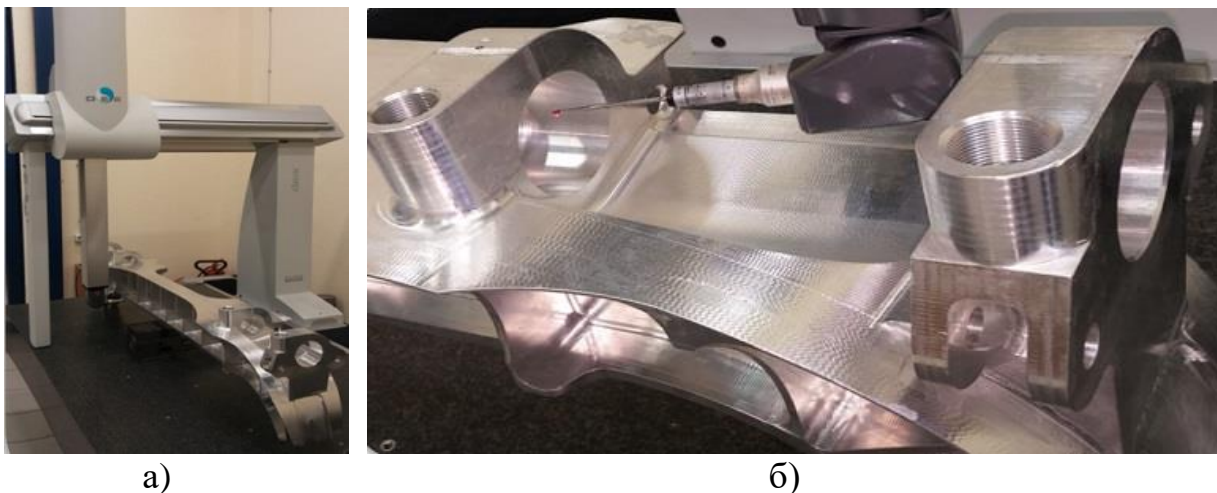


Рис. 14 Контроль детали «Боковина шпангоута» на стационарной КИМ: а) выставление детали на столе, б) контроль соосности отверстий

Заключение

Опыт почти 20-ти летнего сотрудничества Ростовского вертолетного производственного комплекса и базовой кафедры «Авиастроение» Донского государственного технического университет показал высокую эффективность применения проблемно-ориентированного подхода к подготовке инженеров-авиастроителей. Тесное взаимодействие ВУЗа и будущего работодателя выпускников в реализации совместных проектов позволяет оперативно корректировать учебный процесс, когда университет формирует прочную теоретическую базу знаний, а предприятие – их реализацию на реальном авиационном производстве.

Массовая цифровизация и внедрение информационных технологий в повседневной жизни обусловили тягу молодого поколения студентов ко всему, что связано с компьютерными технологиями. Изучение технологии изготовления деталей летательных аппаратов, проектирование технологической оснастки и режущего инструмента и других специальных дисциплин с применением современных CAD/CAM систем вызывает значительно больший интерес и мотивированность на результат, а тесное переплетение теории и практики обеспечивает глубокую погруженность в процесс обучения.

Работа подготовлена по результатам совместной реализации ПАО «Роствертолом» и базовой кафедрой «Авиастроение» ДГТУ ведомственной целевой программы «Новые кадры оборонно-промышленного комплекса» в рамках образовательного модуля «Конструкторско-технологическая подготовка вертолётостроительного производства с применением САПР Siemens NX CAD/CAM».

Библиографический список

1. Mas F. et al. A review of PLM impact on US and EU Aerospace industry // 6th MESIC Manufacturing Engineering Society International Conference, 2015, no. 132, pp. 1053 - 1060. DOI: [10.1016/j.proeng.2015.12.595](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.595)
2. Vila C. et al. Project-based collaborative engineering learning to develop Industry 4.0 skills within a PLM framework // Manufacturing engineering society international conference (MESIC), 2017, vol. 13, pp. 1269 - 1276. DOI: [10.1016/j.promfg.2017.09.050](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.050)

3. Чигринец Е.Г., Верченко А.В. CAD/CAM/CAE системы, OMW-технологии и нейросетевые алгоритмы анализа данных на предприятиях авиастроительной отрасли // Труды МАИ. 2019. № 104. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=102420>
4. Поляков А.А., Защирицкий С.А. Использование виртуального пространства для проведения макетно-конструкторских испытаний по электронному макету космического аппарата // Труды МАИ. 2019. № 107. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=107877>
5. Кабанов А.А. Имитационное моделирование в производстве авиационных и ракетно-космических систем. Что предшествует эксперименту? // Труды МАИ. 2013. № 65. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35910>
6. Nair P.R. et al. ACAM: A CNC Simulation Software for Effective Learning // International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMa), 2018, no. 133, pp. 823 - 830. DOI: [10.1016/j.procs.2018.07.113](https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.113)
7. Dubovska R., Jambor J., Majerik J. Implementation of CAD/CAM system CATIA V5 in Simulation of CNC machining process // 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2014, no. 69, pp. 638 - 645. DOI: [10.1016/j.proeng.2014.03.037](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.037)
8. Channarong T., Suthep B. Virtual reality barrel shaft design and assembly planning accompany with CAM // 14th Global Congress on Manufacturing and Management, 2019, no. 30, pp. 677 - 684. DOI: [10.1016/j.promfg.2019.02.063](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.063)

9. Altintas Y. Virtual High Performance Machining // 7th Conference on High Performance Cutting, 2016, no. 46, pp. 372 - 378. DOI: [10.1016/j.procir.2016.04.154](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.154)
10. Salah B., Darmoul S. Engineering technology education based on the reconfigurable manufacturing paradigm: a case study // 8th Conference on learning factories 2018 – Advanced engineering education and training for manufacturing innovation, 2018, no. 23, pp. 87 - 92. DOI: [10.1016/j.promfg.2018.03.166](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.166)
11. Weihang Z. et al Engineering design and manufacturing education through research experience for high school teachers // 46th SME North American Manufacturing Research Conference (NAMRC 46), 2018, no.1, pp. 1340 - 1348. DOI: [10.1016/j.promfg.2018.07.127](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.127)
12. Yixian D. et al. CAD/CAM courses integration of theoretical teaching and practical training // Social and Behavioral Sciences, 2014, no.116, pp. 4297 - 4300. DOI: [10.1016/j.sbspro.2014.01.935](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.935)
13. Householder D.L., Hailey C.E. Incorporating engineering design challenges into STEM courses, 2012, National center for engineering and technology education, 67 p.
14. Vijayan K.K., Mork O.J. IdeaLab: a learning factory concept for Norwegian manufacturing SME // 10th conference on learning factories (CLF), 2020, no. 45, pp. 411 - 416. URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.045>
15. Guglieri G. Hanus D., Revel P. A proposal for ensuring the quality of aerospace engineering higher education in Europe // International Conference on Air Transport (INAIR), 2017, no. 28, pp. 207 - 216. DOI: [10.1016/j.trpro.2017.12.187](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.187)

16. Говорков А.С. Управление параметрами объектов производственной среды при разработке технологического процесса сборки изделия // Труды МАИ. 2011. № 48.

URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=27146>

17. Колесников А.В. и др. Оптимизация технологических процессов изготовления деталей из листа средствами виртуального технологического моделирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 12 (83). С. 73 - 78.

18. Лаврентьева М.В., Чьен Х.В. Автоматизированное проектирование электронных макетов элементов сборочной оснастки посредством программного модуля NX/OPEN IP // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6-2. С. 395 - 399.

19. Kolmos A., Graaff E. Problem-Based and Project-Based Learning in Engineering Education, Cambridge Handbook of Engineering Education Research, Cambridge, 2015, pp. 141 - 160. DOI: [10.1017/CBO9781139013451.012](https://doi.org/10.1017/CBO9781139013451.012)

20. Чуркин М.Г., Поздышев А.И., Мальцев И.В. Разработка управляющих программ в системе SIEMENS NX для обработки сложных пространственных конструкций агрегатов летательных аппаратов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2015. № 2 (109). С. 113 - 122.

21. Wagner E. A new optimization CAD/CAM/CAE technique for the processing of the complex 3D surfaces on 5 axes CNC machines // 8th International Conference Interdisciplinary in Engineering (INTER-ENG 2014), 2015, no. 19, pp. 34 - 39. DOI: [10.1016/j.protcy.2015.02.006](https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.006)

22. Ведмидь П.А., Сулинов А.В. Программирование обработки в NX САМ. - М.: ДМК Пресс, 2014. - 304 с.

The experience of CAD/CAM systems application in educational process at the basic department of “Aircraft engineering”

Chigrinets E.G.^{1,2*}, Rodrigues S.B.^{1,2}, Chotchayeva S.K.^{1,2}, Sorokin A.V.^{1,2}

¹*Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, 344003, Russia*

²*Rostvertol Helicopters, 5, Novatorov str., Rostov-on-Don, 344038, Russia*

**e-mail: egchigrinets@gmail.com*

Abstract

Computer engineering gains more and more importance in the modern world due to the 3D solid-state modelling, analysis and simulation integration. In this aggregate of methods and means for the engineering problems solving, the groundbreaking role is being assigned to creation and application of the so-called digital twins, which are based on digital representation of separate real components, products, technologies and processes, allowing performing a wide specter of analysis and virtual simulations. The object location herewith does not matter.

Practical application training of the CAM systems is a weak side of the DSTU (Don State Technical University) compared to the theoretical preparation.

This article demonstrates the application example of the NX computer-aided manufacturing system by Siemens PLM Software in the engineering personnel training for an aircraft-building enterprise.

In the framework of their practical training, the students collected information that has become the initial data for the machining process simulation of the especially critical helicopter parts employing the NX CAM. Managing routines for the five-axis HURON K2X8 FIVE machining center were developed applying the “Machining” module, analysis

of various cutting strategies was performed, visualization of the material removal was carried out, and the machine-tool operation simulation was demonstrated

Verification of the developed managing routines allowed revealing overcuts and and rough surfaces on the completed part, collisions of the machining center actuating devices with rigging and workpiece, tools contact during rapid feed, excessive and insufficient machining allowances. The revealed defects were corrected prior to program run on a CNC machine.

The demand for graduates of the engineering specialties are largely determined by the knowledge of modern CAD/CAM system at the technological preparation of production and the ability to employ them. The increased interest of today's young people in computer technologies raises the interest of the students in the study and improves apprehension of the educational material. However, introduction of computer engineering methods into educational process faces certain difficulties as well. The main one is the insufficiently equipped laboratories of the University. Very often, the such programs implementation is being supported exclusively by the enthusiasm of individual tutors and department staff members.

This publication was prepared based on the cooperation between the department of Aircraft engineering of Don State Technical University and the division of Computer Aided Manufacturing of "Rostvertol Helicopters Co." within the framework of "The new personnel of the military-industrial complex" project.

Keywords: CAD/CAM system, NX CAM, Siemens NX, machining, five-axis milling, engineering education.

References

1. Mas F. et al. A review of PLM impact on US and EU Aerospace industry, *6th MESIC Manufacturing Engineering Society International Conference*, 2015, no. 132, pp. 1053 - 1060. DOI: [10.1016/j.proeng.2015.12.595](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.595)
2. Vila C. et al. Project-based collaborative engineering learning to develop Industry 4.0 skills within a PLM framework, *Manufacturing engineering society international conference (MESIC)*, 2017, vol. 13, pp. 1269 - 1276. DOI: [10.1016/j.promfg.2017.09.050](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.050)
3. Chigrinets E.G., Verchenko A.V. *Trudy MAI*, 2019, no. 104. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=102420>
4. Polyakov A.A., Zashchirinskii S.A. *Trudy MAI*, 2019, no. 107. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=107877>
5. Kabanov A.A. *Trudy MAI*, 2013, no. 65. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=35910>
6. Nair P.R. et al. ACAM: A CNC Simulation Software for Effective Learning, *International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMa)*, 2018, no. 133, pp. 823 - 830. DOI: [10.1016/j.procs.2018.07.113](https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.113)
7. Dubovska R., Jambor J., Majerik J. Implementation of CAD/CAM system CATIA V5 in Simulation of CNC machining process, *24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, 2014, no. 69, pp. 638 - 645. DOI: [10.1016/j.proeng.2014.03.037](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.037)

8. Channarong T., Suthep B. Virtual reality barrel shaft design and assembly planning accompany with CAM, *14th Global Congress on Manufacturing and Management*, 2019, no. 30. pp. 677 - 684. DOI: [10.1016/j.promfg.2019.02.063](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.063)
9. Altintas Y. Virtual High Performance Machining, *7th Conference on High Performance Cutting*, 2016, no. 46, pp. 372 - 378. DOI: [10.1016/j.procir.2016.04.154](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.154)
10. Salah B., Darmoul S. Engineering technology education based on the reconfigurable manufacturing paradigm: a case study, *8th Conference on learning factories 2018 – Advanced engineering education and training for manufacturing innovation*, 2018, no. 23, pp. 87 - 92. DOI: [10.1016/j.promfg.2018.03.166](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.166)
11. Weihang Z. et al Engineering design and manufacturing education through research experience for high school teachers, *46th SME North American Manufacturing Research Conference (NAMRC 46)*, 2018, no.1, pp. 1340 - 1348. DOI: [10.1016/j.promfg.2018.07.127](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.127)
12. Yixian D. et al. CAD/CAM courses integration of theoretical teaching and practical training, *Social and Behavioral Sciences*, 2014, no.116, pp. 4297 - 4300. DOI: [10.1016/j.sbspro.2014.01.935](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.935)
13. Householder D.L., Hailey C.E. *Incorporating engineering design challenges into STEM courses*, 2012, National center for engineering and technology education, 67 p.
14. Vijayan K.K., Mork O.J. IdeaLab: a learning factory concept for Norwegian manufacturing SME, *10th conference on learning factories (CLF)*, 2020, no. 45, pp. 411 - 416. URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.045>

15. Guglieri G. Hanus D., Revel P. A proposal for ensuring the quality of aerospace engineering higher education in Europe, *International Conference on Air Transport (INAIR)*, 2017, no. 28, pp. 207 - 216. DOI: [10.1016/j.trpro.2017.12.187](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.187)
16. Govorkov A.S. *Trudy MAI*, 2011, no. 48. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=27146>
17. Kolesnikov A.V. et al. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 12 (83), pp. 73 - 78.
18. Lavrent'eva M.V., Ch'en Kh.V. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, vol. 15, no. 6-2, pp. 395 - 399.
19. Kolmos A., Graaff E. *Problem-Based and Project-Based Learning in Engineering Education*, Cambridge Handbook of Engineering Education Research, Cambridge, 2015, pp. 141 - 160. DOI: [10.1017/CBO9781139013451.012](https://doi.org/10.1017/CBO9781139013451.012)
20. Churkin M.G., Pozdyshev A.I., Mal'tsev I.V. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva*, 2015, no. 2 (109), pp. 113 - 122.
21. Wagner E. A new optimization CAD/CAM/CAE technique for the processing of the complex 3D surfaces on 5 axes CNC machines, *8th International Conference Interdisciplinary in Engineering (INTER-ENG 2014)*, 2015, no. 19, pp. 34 - 39. DOI: [10.1016/j.protcy.2015.02.006](https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.006)
22. Vedmid' P.A., Sulinov A.V. *Programmirovaniye obrabotki v NX CAM* (Processing programming in NX CAM), Moscow, DMK Press, 2014, 304 p.