

## ПРОПЕДЕВТИКА ОБРАЗНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ CAD/CAM ПРОГРАММ

© 2009 А.И.Белоусов, В.И.Иващенко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Статья поступила в редакцию 25.03.2009

Рассмотрены проблемы и возможности совершенствования графической и геометрической подготовки студентов младших курсов высших технических учебных заведений. Работа выполнена в соответствии с аналитической ведомственной целевой программой «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)» Проект РПН 3.1.1. 11077 «Разработка учебно-методического комплекса и образовательной технологии подготовки элитного инженерного корпуса для инновационной деятельности в наукоёмких высокотехнологических отраслях машиностроения». Полученные результаты используются в учебном процессе на факультете «Двигатели летательных аппаратов» СГАУ.

Ключевые слова: педагогическая система, многоуровневое образование, графо-геометрическая подготовка, образное геометрическое мышление, пропедевтика высшего образования.

Инновационный характер высшего технического образования в области наукоёмкого машиностроения, в частности, авиационного и космического, обуславливает высокие требования к качеству подготовки абитуриентов. Становятся необходимыми более глубокие знания по таким дисциплинам, как математика, физика, информатика, технология, черчение. Отрицательный эффект от сокращения или полного удаления из школьной программы двух последних предметов проявляется быстро и неизбежно на первом курсе, когда вчерашние школьники начинают изучать общинженерные дисциплины, не владея самыми элементарными знаниями о создании и отображении геометрических форм. Особенно остро проблема довузовской подготовки затронула графические дисциплины, которые должны отражать современный уровень электронного документирования проектов, поддерживаемый выпускающими кафедрами. Как правило, высокие показатели в учёбе имеют те первокурсники, которые обладают образным техническим мышлением. Оно формируется на занятиях, связанных с геометрией (геометрия, рисование, живопись, дизайн) или технологией (обработка материалов резанием, прикладное искусство, основы научно-технического творчества). Дефицит учебного времени приводит к императиву интеграции ряда предметов, образующих пропедевтический цикл. Областью знаний, которая обладает необходимым интеграционным потенциа-

лом, является, по нашему мнению, компьютерное моделирование изделий и технологических процессов их изготовления.

Проектное техническое мышление отличается образностью. Ю.К.Корнилов отмечает, что специалист, занимающийся производственной деятельностью, «...должен воссоздать объект в его внутренних взаимосвязях, которые можно только мыслить»<sup>1</sup>. И.Б.Кордонская указывает на то, что при изучении основ технической графики необходимо использовать динамичность образа, которая «выражается в умении не только изменять его, но и видеть в статическом изображении движение, перемещение элементов, передачу движения и т.п.»<sup>2</sup>. В процессе фиксирования геометрической информации на плоскости или в объёмной модели важную роль играет движение. При этом качество выполнения операций анализа и синтеза геометрической формы зависит от объёма внутреннего информационного пространства и совершенства ассоциативных связей, вызывающих из памяти геометрические фигуры в процессе их мысленного изготовления.

В инновационной многоуровневой графо-геометрической подготовке, которая реализована в Самарском государственном аэрокосмическом университете им. акад. С.П.Королёва, уровень довузовского образования решает задачи пропедевтики технического мышления. Эффективным средством его развития являются современные малогабаритные станки с ЧПУ, которые соединяются с персональным компьютером в качестве

<sup>1</sup> Белоусов Анатолий Иванович, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов. E-mail: aibelousov@mail.ru  
Иващенко Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики. E-mail: iwashchenko@yandex.ru

1 Корнилов Ю.К. Мышление в производственной деятельности: Учебное пособие. – Ярославль: Изд-во Ярославского гос. ун-та, 1984. – С. 55.

2 Кордонская И.Б. Базисное изучение графических дисциплин: Монография. – Самара: Изд-во СГПУ, 2005. – С.82

периферийного устройства – плоттера и управляются из среды программы – редактора.

Для работы со студентами первого курса могут быть использованы любые малогабаритные станки, управляемые из среды простой CAD/CAM программы. В качестве примера рассмотрим программно-станочный комплекс, созданный японской корпорацией Roland DG и включающий станок Modela MDX-15 с комплектом программ. Редактор 3D Engrave предназначен для объёмного моделирования рельефа на основе импортированного или предварительно выстраиваемого рисунка-чертежа, настройки технологических параметров и формирования управляющей программы для станка. Программа Virtual MODELA служит для визуализации процесса фрезерования и моделирования имиджа готовой детали. Технологический редактор MODELA Player позволяет импортировать 3D модели из профессиональных CAD/CAM систем. Программа Dr.PICZA предназначена для сканирования детали и формирования 3D модели с натуры. Оригинальное методическое обеспечение дисциплины «Компьютерное моделирование и автоматизированное изготовление изделий», созданное А.Б.Бейлиным, В.И.Иващенко и А.И.Фрадковым, предназначено для учащихся и преподавателей учреждений общего и начального профессионального образования<sup>3</sup>. В настоящее время данный курс успешно внедрён А.И.Фрадковым и А.Б.Бейлиным в ряде учебных заведений городов Самары и Сызрани, а также апробирован В.И.Иващенко в Самарском международном аэрокосмическом лицее и в научно-исследовательской работе со студентами СГАУ.

Педагогическая система, базирующаяся на технологической доминанте, обеспечивает необходимые условия для развития творческого мышления учащихся при выполнении конструкторско-технологических проектов. Проектный характер заданий предполагает системный подход к изложению этапов компьютерного проектирования и производства. В зависимости от сложности изделия, весь цикл работ «от идеи до готовой детали» может занимать достаточно много времени. Режим виртуальной обработки позволяет педагогу рационально использовать учебные часы и решать ряд методических задач,

3 Иващенко В.И., Бейлин А.Б., Фрадков А.И. Компьютерное моделирование и автоматизированное изготовление изделий. Практикум по CAD/CAM – технологиям: Учебное пособие для учащихся старших классов общеобразовательных школ и учреждений среднего профессионального образования. – М.: Вентана-Граф, 2006. – С. 93; Иващенко В.И., Бейлин А.Б., Фрадков А.И. Компьютерное моделирование и автоматизированное изготовление изделий. Методика преподавания CAD/CAM – технологий. – М.: Вентана-Граф, 2006.

не связанных с необходимостью использования станочного оборудования. Как отмечает А.К.Бешенков, «цель творческого поиска не обязательно должна быть материализована, она может оставаться и в виде идеи, что само по себе ценно и результативно»<sup>4</sup>.

Главная цель инновационной пропедевтики заключается в развитии образного пространственного технического мышления. При работе с программно-станочным комплексом оно формируется посредством сопоставления движения фрезы и образующегося рельефа. Визуализация процесса фрезерования, т.е. анимация движения фрезы и удаления материала заготовки, происходит в ускоренном режиме так, как это выглядит в направлении, перпендикулярном плоскости стола станка, а также «со стороны», т.е. в аксонометрии. Индикация текущих координат курсора даёт возможность оценить в первом приближении результаты обработки: соответствуют ли заданным размерам чертежа размеры виртуальной готовой детали. Точнее говоря, оценивается точность электронной модели готовой детали, которая получена моделированием процесса резания на основе исходной электронной модели.

Рассмотрим два варианта построения занятия, отличающихся характером учебно-методических задач. Первый вариант, условно называемый «производственный», посвящён исследованию процесса фрезерования и анализу геометрии полученной детали. Второй вариант – «дизайнерский» – предполагает решение художественных задач.

В первом варианте содержанием проекта является решение конструкторско-технологических задач, например, автоматизированное проектирование и изготовление накидного гаечного ключа, заданного с помощью плоской модели – чертежа. Проведя анализ формы детали и выделив элементарные объёмные фигуры, учащиеся выполняют построение контуров-проекций. Активный, творческий стиль мышления на данном этапе инициируется поиском оптимального алгоритма действий. Проекция головки ключа и шестигранного отверстия предварительно выстраиваются как эллипсы, а проекция рукоятки – как прямоугольник со скругленными углами. После того как фигуры приобретают заданное взаимное положение, производится последовательное 3D моделирование элементов детали.

При выборе параметров рельефа следует учитывать, что результатом моделирования будет

4 Бешенков, А.К., Бычков А.В., Казакевич В.М., Маркуцкая С.Э. Технология. Методика обучения технологии. Метод. пособие 5 – 9 кл. – М.: Дрофа, 2003.

только половина геометрической формы детали. Всё изделие изготавливается в два приёма – на двух станках, причём на каждом станке обрабатывается верхняя сторона заготовки, обращённая к инструменту. Такое технологическое решение объясняется тем, что на станке Modela MDX-15 фреза располагается вертикально и подводится к заготовке сверху. После визуализации модели готовой детали производится сопоставление расстояния двух точек, расположенных на противоположных параллельных гранях отверстия, с номинальным значением «размера под ключ».

Анализ заданных размеров свидетельствует о том, что на втором станке заготовка будет опираться на рабочий стол только гранью головки. Поэтому вертикальная составляющая силы резания при формировании рукоятки может создать момент, достаточный для отделения от стола всей заготовки. Наиболее простым решением проблемы является применение упора в виде уголка, закрепленного на столе станка. Для этого плоскость симметрии модели, проходящая через ось шестигранного отверстия, должна быть равноудалена от боковых граней пластины. Пусть на первом станке две грани заготовки, торцевая и боковая, находились в соприкосновении с упором. После переворачивания с упором будет контактировать другая боковая грань, однако, в силу симметрии заготовки, координаты оси отверстия останутся прежними.

Художественное конструирование является одним из наиболее эффективных средств развития качеств, необходимых для инженера-механика<sup>5</sup>. Наряду с расчётами, определяющими функциональную пригодность детали (то есть её соответствие техническому заданию), конструкционную прочность, надёжность и удобство эксплуатации, обязательной становится эстетическая проработка формы и цвета. В этом смысле программа Virtual MODELA позволяет смоделировать процесс резания, не применяя станочное оборудование, увидеть готовую деталь, проверить размеры, найти конструкторские и технологические ошибки. Моделирование процесса фрезерования с разными настройками способствует получению ясного представления о влиянии параметров инструмента и режима резания на качество получаемой поверхности. Учащиеся имеют возможность провести эксперимент с фактурой материала, создавая новый рисунок или выбирая изображение из библиотеки. Экс-

периментирование с настройками параметров освещения также способствует более реалистичному восприятию объёмной формы. Подкрепленный эстетическим ощущением, технический образ связно запечатлевается в памяти учащегося.

Большими возможностями для формирования системного пространственного мышления располагает программа Dr.PICZA. Она предназначена для получения электронной модели предмета (детали) путём сканирования с натуры, а также преобразования (редактирования) полученной информации. Конструирование на основе прототипа широко распространено в технике, и рассматриваемая технология может представлять методический интерес в адаптирующей подготовке на младших курсах университета.

Для учебного процесса целесообразно выделить два режима использования программы Dr.PICZA: сканирование детали и редактирование модели. Формирование объёмной модели детали методом сканирования начинается с подготовительных операций. Их содержание сводится к установке детали и настройке станка. Деталь закрепляют на рабочем столе станка и базируют по сетке или с упором в угол, что обеспечивает большую точность. При этом необходимо контролировать доступность поверхностей для сенсора, который устанавливается вместе со специальным шпинделем на место патрона с режущим инструментом. Для развития пространственных представлений важную роль играет опыт, который приобретается учащимися в процессе настройки шага сканирования в направлениях координатных осей. Задание нижней и верхней точек определяет глубину сканируемого пространства. Отдельно анализируется и настраивается область сканирования. Она имеет форму прямоугольника и связывается с началом координат доступной области. В результате сканирования программа генерирует 3D модель детали, которую можно редактировать. Благодаря наличию специальных функций редактирования сканированной модели система образов учащегося дополняется сначала симметричной копией, затем зеркальным отображением. Визуальный ряд, составленный из правых и левых отображений на плоскости, способствует формированию ощущения третьего измерения.

Исследование технологии модификации сканированной модели выполняется на примере детали типа «двуплечий рычаг». Её чертёж, как для ранее рассмотренного изделия, содержит проекцию объёмной модели, полученной в результате сканирования рычага – прототипа. Для автоматизированного производства подобных деталей достаточно на основе имеющегося чертежа построить объёмную модель и подготовить

5 Белоусов А.И. Роль выпускающей кафедры в гуманитарном образовании аэрокосмической специальности // Гуманитаризация образования в системе подготовки специалиста мирового уровня. – Самара: Изд-во СГАУ, 2007. – С. 48 – 52.

(настроить) процесс обработки. Вместе с полутоновым чертежом, который является проекцией модели, импортируется информация и о высоте рельефа. Эти данные автоматически предлагаются программой 3D Engrave при задании параметров рельефа. В общем случае доработка прототипа может включать не только добавление новых элементов детали, но и редактирование параметров импортированного чертежа.

Краткий вариант урока строится по схеме: «реальная деталь – сканированная модель – моделирование процесса изготовления – модель изделия». Полный вариант предусматривает доработку рычага. Она заключается в конструировании дополнительной стенки – ребра жёсткости, что может способствовать повышению конструкционной прочности детали. Кроме того, улучшение прочностных характеристик изделия, возможно, позволит уменьшить его высоту (толщину), что обуславливает снижение веса. Такой анализ является очень приблизительным, однако сам факт повышения жёсткости детали не вызывает сомнения, а реальность модернизации доказывается практически. Для построения проекции ребра применяется инструмент «Прямоугольник».

В последнее время в учебных заведениях разного уровня изучаются профессиональные CAD и CAM системы, в частности, AutoCAD, КОМПАС-3D и ADEM. Эти программы позволяют создавать сложные объёмные модели и на предприятиях эксплуатируются в связке со станочным оборудованием, которое отличается, как правило, высокими требованиями к квалификации персонала, большими габаритными размерами, значительной стоимостью. Поэтому исследование возможности передачи информации из подобной CAD системы на сравнительно простой станок MODELA MDX-15 представляет большой интерес для графо-геометрической пропедевтики. Программа MODELA Player, входящая в состав рассматриваемого комплекса, предназначена для подготовки технологического процесса механической обработки резанием на основе 3D моделей деталей, построенных в различных CAD системах. Чтение объёмных моделей производится из файлов универсальных типов dxf и stl.

Задание и регулирование технологических параметров является важной гносеологической процедурой, активизирующей интуитивно-перцептивную сферу мышления. Здесь учащийся должен осознать влияние устанавливаемой величины и сопоставить её с имеющимся представлением о 3D модели, т. е. с образом рельефа. Наиболее значимые настройки содержат задание направления обработки, редактирование разме-

ров модели, задание глубины обработки, задание характеристик для определения режима резания. Направление подвода инструмента к заготовке устанавливается при текущем расположении модели в пространстве. В случае неудачного позиционирования ряд элементов поверхности оказывается недоступным для обработки. Поворот модели и обусловленное им изменение направления фрезерования позволяет успешно решать поставленную задачу.

При обучении студентов технического университета основам геометрического моделирования, компьютерной инженерной графике и основам автоматизированного производства интеграции CAD/CAM систем позволяет создать адаптивную педагогическую среду, которая в силу своей пластичности нивелирует различия в начальной подготовке. Диапазон учебно-методических задач значительно расширяется, если для записи геометрической информации использовать форматы, обеспечивающие её полноценную передачу из одной программы в другую. Важную роль играет демонстрация совместимости учебного продукта с такими профессиональными графическими приложениями, как CAD/CAM ADEM, которая используется в качестве базовой программы для графо-геометрической подготовки в СГАУ, AutoCAD и КОМПАС.

Наличие большого количества форматов для импорта и экспорта геометрических моделей свидетельствует о наличии проблем, появляющихся при интеграции систем. Для передачи полной информации о геометрической модели из редактора 3d Engrave в программу AutoCAD используется формат dxf, в ADEM – stl. Объёмная модель, предназначенная для проектирования процесса обработки и изготовления детали на станке, импортируется в программу MODELA Player с записью в следующих форматах: из 3D Engrave – dxf или stl, из AutoCAD, из КОМПАС-3D, из ADEM – stl. Возможность включения станка и осуществления обработки предусмотрена в каждой программе рассматриваемого комплекса Roland.

Дополнение базового курса, построенного на программах Roland, элементами объёмного моделирования в профессиональных CAD/CAM системах позволяет повысить качество учебного процесса за счёт следующих факторов.

1. Профессиональный CAD редактор и станок MODELA MDX-15 объединяются в конструкторско-технологическую систему. Вследствие этого учащиеся смогут изучать автоматизированное изготовление более сложных поверхностей, но на более простом и дешёвом оборудовании.

2. Арсенал средств объёмного моделирования в профессиональном CAD редакторе обогащается за счёт моделей – прототипов, полученных сканированием деталей с натуры.
3. Объёмная модель, сформированная в профессиональной CAD/CAM системе, может служить прототипом для создания изделия с помощью программно-станочного комплекса Roland.

Рассмотрим варианты учебных проектов, реализуемых в соответствии с методологией интеграции учебных программных продуктов. По первому (основному) варианту в среде 3D Engrave выполняется чертёж детали, формируется рельеф (объёмная модель) и траектория обработки, представляющая собой совокупность рабочих движений шпинделя и рабочего стола. После выбора материала заготовки и установки параметров режима резания данные отправляются на станок или в программу виртуальной обработки Virtual MODELA.

Второй вариант предполагает, что объёмная модель, созданная в программе 3D Engrave, записывается в экспортном формате dxf или stl. Проектирование технологического процесса выполняется уже в среде MODELA Player. При выборе типа записи следует учитывать, что для одного и того же рельефа размер dxf-файла приблизительно в 4 раза меньше, чем stl-файла. На экране увеличение количества информации и, следовательно, занимаемого на диске пространства, отображается более густой каркасной сеткой. Излишне большое количество линий каркаса затрудняет визуальный анализ поверхности. Кроме того, большая информация дольше обрабатывается, а это может стать главным аргументом против использования импорта и экспорта на коротких (1 академический час) занятиях. Заключение о размере записи делается на основании сообщения программы 3D Engrave о количестве плоских фигур, которыми представлен рельеф. Характерно, что размер файла не пропорционален степени аппроксимации поверхности. Поэтому в учебной практике следует отдавать предпочтение более компактной записи или руководствоваться результатами пробной обработки.

По третьему варианту объёмная модель из файла типа dxf загружается в программу AutoCAD. Здесь модель редактируется и используется в соответствии с учебно-методическими задачами, которые решаются в среде данного программного продукта.

В соответствии с четвёртым вариантом объёмная модель детали формируется в результате

сканирования детали-прототипа из программы Dr.PICZA с последующей доработкой в среде 3D Engrave. В отличие от этого, по пятому варианту сканированная модель экспортируется с записью в формате dxf или stl в программу MODELA.

По шестому варианту объёмная модель, полученная сканированием, загружается в среду AutoCAD (формат dxf) и ADEM (формат stl). Далее решаются учебно-методические задачи, касающиеся редактирования моделей и сравнения функциональных возможностей программ. Седьмой вариант предполагает создание 3D модели в одной из профессиональных CAD программ (КОМПАС-3D, ADEM, AutoCAD) и её передачу в программу MODELA Player для проектирования технологического процесса изготовления.

Завершает перечень вариантов восьмой, имеющий, скорее не практическое, а теоретико-методологическое значение. Модель, подготовленная в профессиональной CAD программе, в формате stl транспортируется в среду MODELA Player. После выполнения настроек и генерации управляющей программы деталь изготавливается на станке с ЧПУ MODELA MDX-15. С помощью программы Dr.PICZA готовое изделие сканируется, и полученная 3D модель в формате dxf или stl загружается в среду исходной профессиональной CAD программы, где оценивается точность передачи геометрической информации в результате этого «кругосветного путешествия».

Выводы:

1. В результате исследования фундаментальных составляющих графо-геометрической подготовки выявлена важная роль технологических знаний. Исследование развития пространственного воображения посредством активизации образной интуиции и ассоциативного мышления дало возможность разработать концепцию использования среды профессиональной или адаптированной CAD/CAM программы, в которой ключевое место отводится технологической реализации геометрической формы, выступающей как проектное решение.
2. На основе концепции пропедевтического изучения технологии разработана методика использования интегративных свойств учебной среды, которая позволяет в процессе графо-геометрической подготовки, реализуемой в СГАУ, заложить основы системного проектного мышления учащихся.

## PROPAEDEUTICS OF THE IMAGE TECHNICAL THINKING BASED ON THE INTEGRATED CAD/CAM PROGRAMS

© 2009 A.I.Belousov, V.I.Ivashchenko<sup>o</sup>

Samara State Aerospace University

The article concerns the problems and possibilities to master drawing and geometrical training of underclasses of technical universities. The research was done in compliance with the departmental analytical targeted programme «High school scientific potential development (2006 – 2008)». Project RPN 3.1.1.11077 «Development of teaching materials and educational technology for training of high level engineers for innovation activity in scientifically based super-technology machine building industry». The results of this research formed the basis of the studying process improvement at «Aircraft engines» faculty of Samara state aerospace university (SSAU).

Keywords: pedagogical system, multilevel education, drawing and geometrical training, figurative geometric thinking, higher education propaedeutics.

---

<sup>o</sup>*Belousov Anatoly Ivanovich, D.Sc. in engineering,  
honored worker of science and technology of RF,  
Professor of Flying devices engines design department  
E-mail: [aibelousov@mail.ru](mailto:aibelousov@mail.ru)*

*Ivaschenko Vladimir Ivanovich, Cand. Sc. in Engineering,  
Senior lecturer, Head of Engineering graphics department  
E-mail: [ivashchenko@yandex.ru](mailto:ivashchenko@yandex.ru)*