

## ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ СКВОЗНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

©2011 В. Б. Балякин, А. И. Ермаков, Л. А. Чемпинский

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

В статье изложена методика подготовки специалистов на основе сквозной параметризации. Приведены достоинства параметрического моделирования. Рассмотрены примеры создания параметрических 3D и 2D моделей деталей, сборок и их дальнейшее использование в САМ/САЕ системах.

*САПР, моделирование, параметрические модели, сборочный чертеж, расчет на прочность, управляющая программа.*

Идея разработки первых САПР в машиностроении заключалась в ликвидации рутинного труда проектировщика. Известно, что в то время доля рутинной работы, связанная с необходимостью выпуска технической документации вручную (конструктор чертил карандашом на кульмане, технолог тушью заполнял формы всевозможных карт) превышала 80%.

С появлением первых САПР доля рутинного труда проектировщика увеличилась. В новых условиях конструктор кроме необходимости создать эскиз должен был уметь составлять, редактировать, отлаживать программы вычерчивания плоских контуров на графопостроителе.

В новое время, с появлением персональных компьютеров и САПР, функционирующих в интерактивном режиме, появилась новая задача. Теперь конструктору, в частности для выпуска необходимой документации, необходимо предварительно создать 3D модель проектируемой конструкции. Процесс построения 3D модели изделия (в номинальных размерах, не говоря уже о необходимости редактирования ее поверхностей, например, на середину поля допуска для изготовления по ней деталей) порой занимает не меньше времени, чем традиционное вычерчивание вручную.

Ответ на вопрос: «Как сделать, чтобы конструктору не приходилось много чертить, а технологу – писать?» – в использовании параметрических геометрических моделей, по крайней мере, типовых деталей. Такой подход позволяет не только значительно снизить долю рутинного труда проектиров-

щика, но нацелить его на реализацию не менее важных задач, связанных с необходимостью назначения технических требований на изготовление, сборку, доводку спроектированных изделий.

Существенные достоинства параметрического моделирования состоят в обеспечении возможностей резкого снижения трудоемкости объемного и плоского геометрического моделирования изделий и их деталей за счет выбора из базы данных параметрической модели с нужной конфигурацией и изменения её размеров до требуемых значений при сквозном проектировании; реализации актуальной задачи перерасчета геометрических параметров модели детали, например, на середину поля допуска для изготовления ее на оборудовании с ЧПУ; параметрического технологического проектирования, когда элементы проектируемого технологического процесса (операционные размеры и эскизы, модель технологической оснастки, управляющая программа) привязаны к параметрической модели объекта проектирования и имеется возможность автоматического и/или автоматизированного их изменения в соответствии с изменением геометрии параметрической модели объекта.

Коллективом преподавателей факультета «Двигатели летательных аппаратов» на основе сквозной параметризации разработана методика подготовки специалистов для инновационного машиностроения. Такая методика включает последовательное изучение способов параметризации геометрических объектов, принципов построения 2D и 3D параметрических моделей, возможностей их

редактирования и использования в практике учебной деятельности на кафедрах факультета.

Изучение основ параметризации осуществляется на кафедре инженерной графики. В процессе выполнения заданий студенты последовательно осваивают способы создания 3D параметрических моделей канонических твердых тел в среде отечественной CAD/CAM/CAPP системы ADEM (рис. 1),

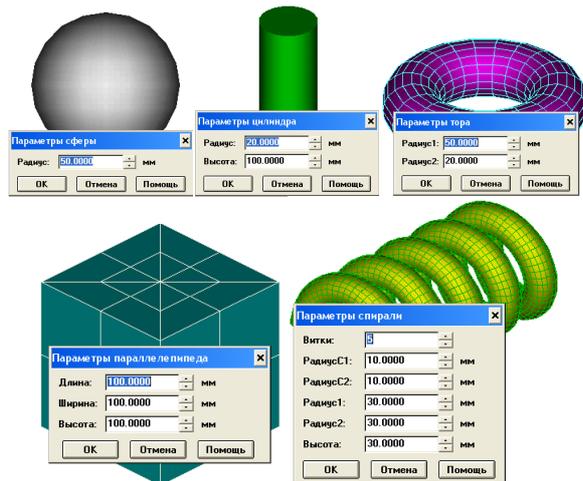


Рис.1. Параметрическое моделирование канонических объектов

плоских и объемных параметрических моделей крепежных деталей (гаек, шайб, болтов, винтов, шпилек, шпонок, заклепок и пр.) (рис. 2), приобретают навыки построения

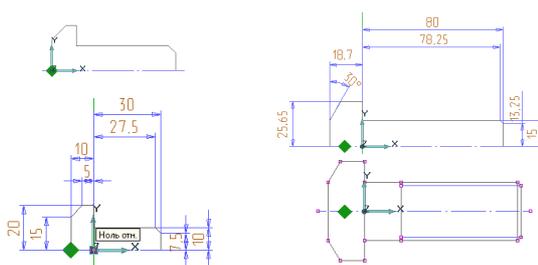


Рис.2. Построение чертежа детали по эскизу на основе использования эвристической параметризации

чертежей различных соединений деталей (болтом, винтом, шпилькой, шпонкой и пр.) с использованием параметрических баз 2D и 3D моделей крепежа (рис.3, 4); в среде модуля ADEM CAD и табличного редактора

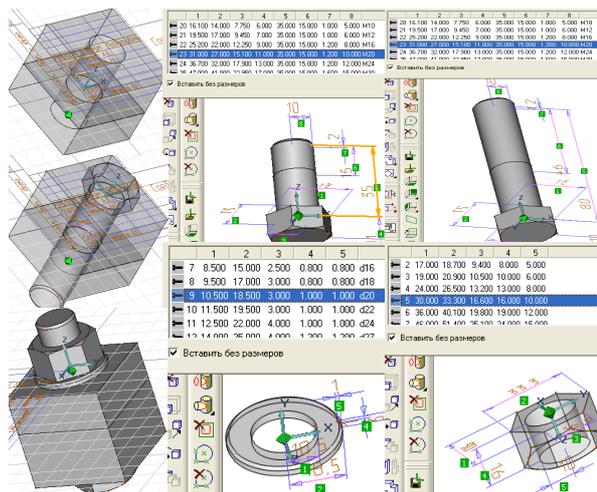


Рис.3. Порядок построения болтового соединения

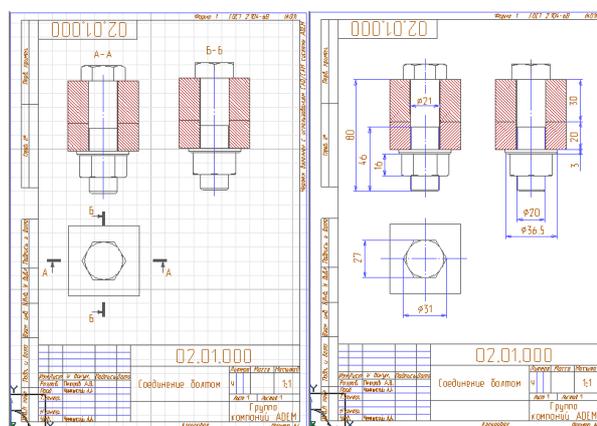


Рис.4 Чертеж болтового соединения

MS Excel учатся создавать объемные параметрические модели различных типовых деталей редуктора (валов, втулок, уплотнений и т.д.) (рис. 5), осваивают создание 3D

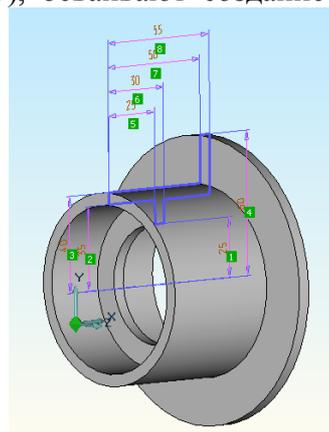


Рис.5. 3D параметрическая модель втулки

сборку, сборочных чертежей и рабочих чертежей деталей по 3D параметрическим моделям (рис. 6) и редактируют их.

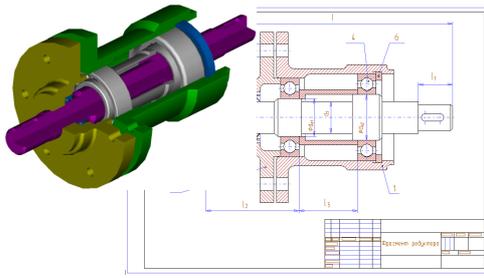


Рис. 6. Объемная сборка и сборочный чертеж

Таким образом, созданы условия для эффективного выполнения курсовой работы по основам взаимозаменяемости, в которой за счет параметрического подхода путем инженерного анализа в среде ANSYS возможна качественная и количественная оценка характера соединения сопрягаемых деталей в зависимости от качества и его оптимизация на следующей кафедре учебного цикла – механической обработки материалов – за счет сокращения времени на выполнение ее графической части.

Следующей конструкторской работой является курсовой проект по деталям машин, выполняемый на кафедре основ конструирования машин, в котором студенты факультета традиционно проектируют и конструируют вертолетный редуктор. Для методического обеспечения процесса конструирования редуктора на основе использования объемных параметрических моделей типовых деталей силами преподавателей и студентов была создана оригинальная база 3D параметрических моделей типовых деталей (рис.7).

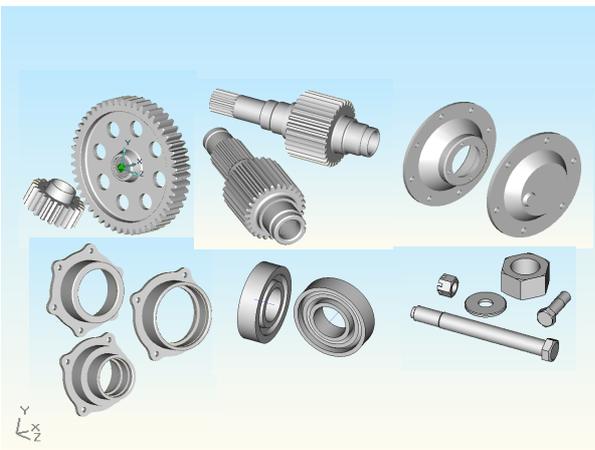


Рис.7. 3D параметрические модели типовых деталей редуктора

Для этого произвели классификацию по конструктивно-технологическим признакам и выделили следующие типы деталей: валы-шестерни, зубчатые колеса, втулки подшипников, крышки, детали крепежа, подшипники, регулировочные элементы (втулки и кольца), элементы уплотнений.

Каждая группа деталей имеет свои особенности конструкции, определяющие выбор метода создания объемной параметрической модели. Однако здесь перечислим основные этапы создания параметрических моделей в среде CAD/CAM/CAPP ADEM v.8.1, общие для всех вариантов:

- анализ конструкции деталей группы;
- формирование комплексного представителя группы деталей (рис.8);

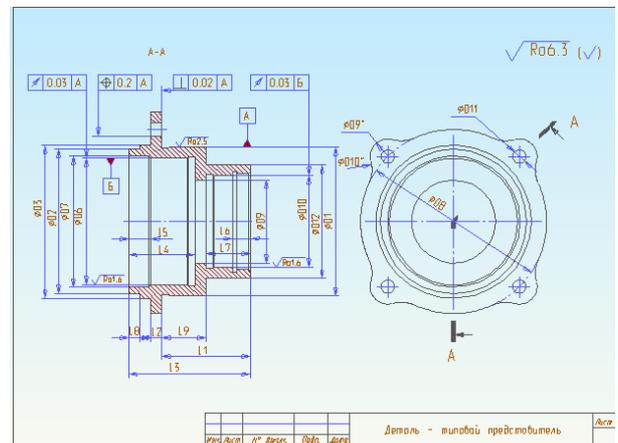


Рис. 8. Комплексный представитель

- построение исходных контуров для создания объемной модели (рис.9,а);
- проставка размеров (координация поверхностей);
- преобразование размеров в параметрические размеры (рис. 9,б);

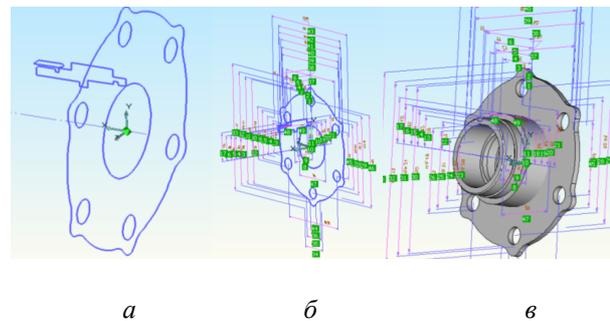


Рис. 9. Последовательность построения объемной параметрической модели стакана подшипника

-построение объемной модели с помощью выполнения операций над контурами (рис. 9,в);

-создание электронной табличной формы для внесения информации из конструкторского чертежа детали;

-написание алгоритма расчета параметрических размеров с использованием данных с чертежа, оформление таблицы расчета;

-подключение таблицы значений параметрических размеров к параметрической модели и запись параметрического фрагмента (рис. 10).

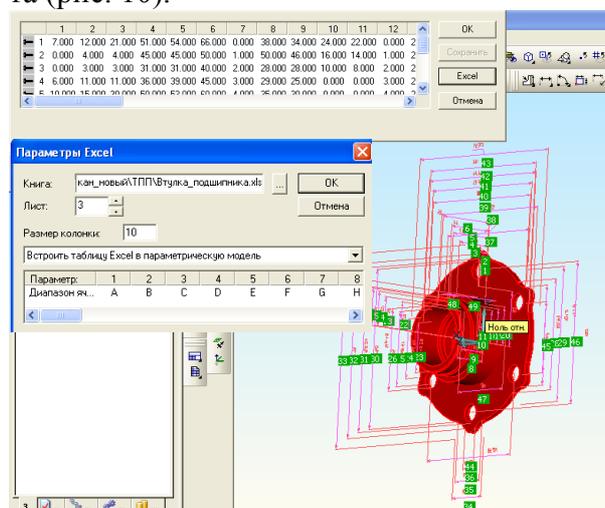


Рис. 10. 3D параметрическая модель комплексного представителя стакана подшипника

Пример создания 3D моделей стаканов подшипника на основе комплексного представителя приведен на рис. 11.

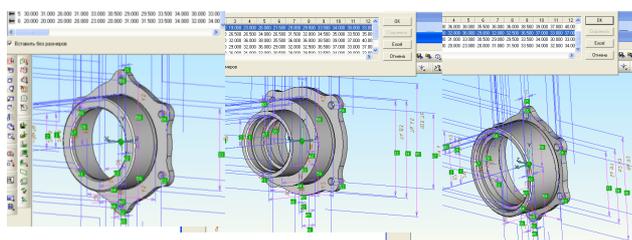


Рис.11. 3D модели стакана подшипника

Теперь графическая часть курсового проекта состоит из:

-объемного моделирования каждой из деталей редуктора с использованием 3D параметрических баз отдельных конструктивных элементов (рис.12);

-выполнения объемной сборки редуктора в модуле ADEM Assembly (рис.13);

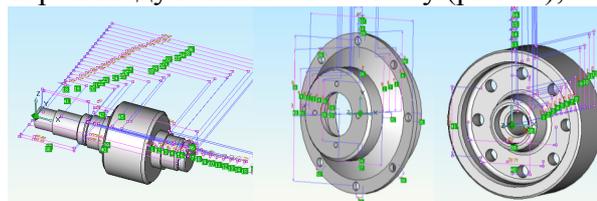


Рис.12. Объемные модели типовых деталей редуктора

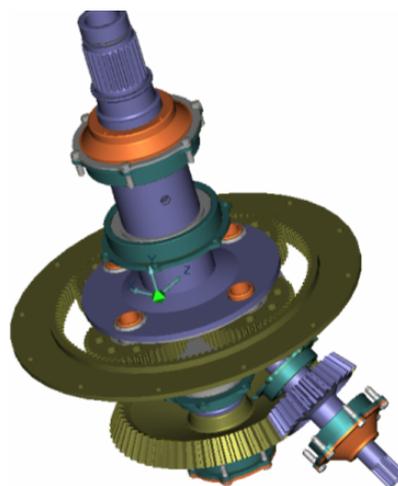


Рис. 13. 3D сборка редуктора

-создания главного вида (сборочного чертежа) редуктора в автоматизированном режиме по объемной сборке (рис.14);

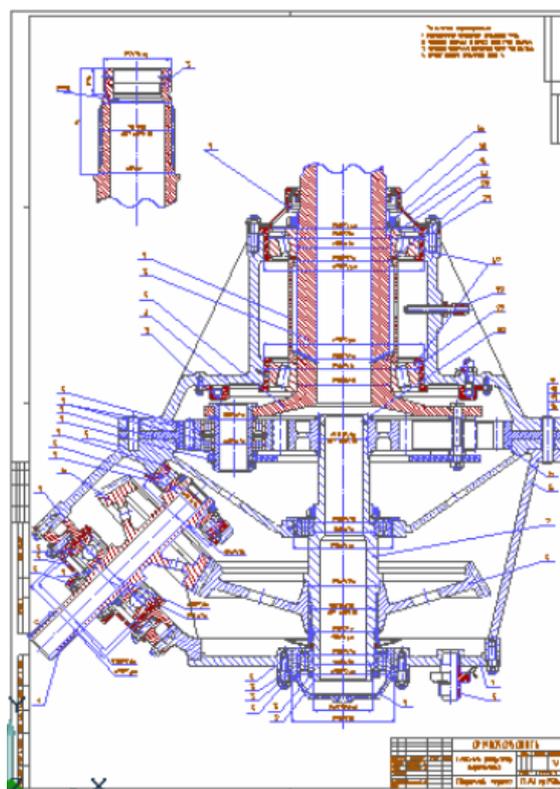


Рис. 14. Сборочный чертеж редуктора

-выполнения детализовки (рабочих чертежей) в автоматизированном режиме по 3D моделям деталей;

-выполнения спецификации.

В ходе курсового проекта по деталям машин за счет сокращения времени выполнения графической части у студентов появилась возможность инженерного анализа в среде ANSYS, оптимизации конструкции на этой основе, осознанного формулирования и уточнения технических требований на сборку редуктора и изготовление отдельных деталей.

Благодаря разработанной методике на выпускающей кафедре – проектирования и конструирования двигателей летательных аппаратов – на основе созданных параметрических баз типовых деталей газотурбинного двигателя (ГТД) (дисков, валов, лопаток компрессора и турбины, колес и пр.) в ходе выполнения курсовых работ, курсовых и дипломных проектов стала возможна детальная проработка конструкций ГТД (рис.15, 16, 17).

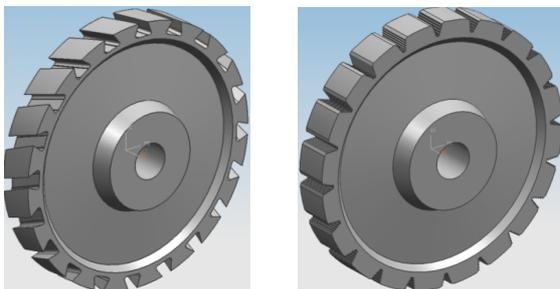


Рис 15. 3D параметрические модели дисков

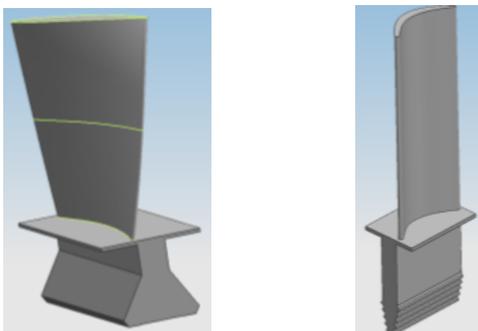


Рис. 16. 3D параметрические модели лопаток

Теперь сэкономленное время позволяет студенту-конструктору выполнить конструкцию двигателя в целом на совершенно новом качественном уровне.



Рис. 17. 3D параметрическая модель направляющего аппарата

В качестве примера здесь уместно отметить уникальный дипломный проект, посвященный параметрическому CAE/CAD/CAE моделированию центробежного колеса, в котором задачи проектирования решаются комплексно на основе связанных 3D моделей в зависимости от поведения газодинамической модели (созданной в среде FLUENT) (рис.18).

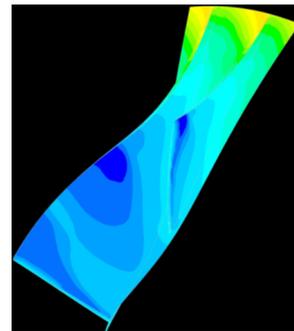


Рис.18. Параметрическая газодинамическая модель лопатки



Рис. 19. 3D параметрическая модель центробежного колеса

Меняется CAD модель колеса (рис.19), тем самым можно реализовать оптимальную геометрию проточной части. С другой стороны, рассчитывая ту же параметрическую модель на прочность (в среде ANSYS) (рис. 20), оптимизируется масса конструкции, что приводит в конечном итоге к повышению КПД.

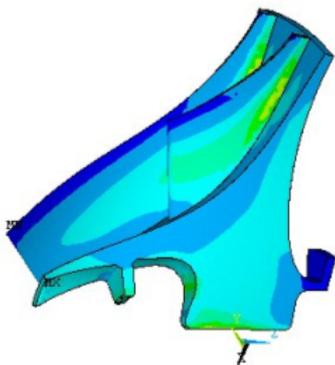


Рис.20. Прочностная параметрическая модель лопатки

Следует подчеркнуть, что студенты теперь не делают проверочных расчетов, а на базе параметрической CAE модели выполняют оптимизацию, добиваясь минимальной массы конструкции. В ходе дипломного проектирования студенты решают задачи на уровне квалифицированных специалистов ОКБ.

Для контроля правильности проектирования с использованием параметрических 3D моделей студенты осуществляют виртуальную сборку вновь спроектированных ими узлов и двигателя в целом с учетом возможных коллизий. Такой подход предполагается реализовать в ближайшее время при проведении лабораторных работ по курсу сборки на смежной выпускающей кафедре – производства двигателей летательных аппаратов (ПДЛА).

На основе созданных баз объемных параметрических моделей типовых деталей на кафедре ПДЛА в ходе выполнения курсового проектирования студентами - технологами осуществляется проектирование индивидуальных и групповых технологических процессов изготовления деталей:

- по чертежу комплексного представителя (рис.8) строится 3D модель детали и осуществляется технологический анализ его конструкции (рис. 21);

- назначаются этапы и маршрут обработки;

- в модуле ADEM CAD производится расчет операционных размеров и проектируется 3D модель заготовки;

- в модуле ADEM CAPP в автоматизированном режиме производится разработка операционной технологии – из баз данных выбираются переходы, режимы обработки,

оборудование, приспособления, инструмент, назначаются технические требования;

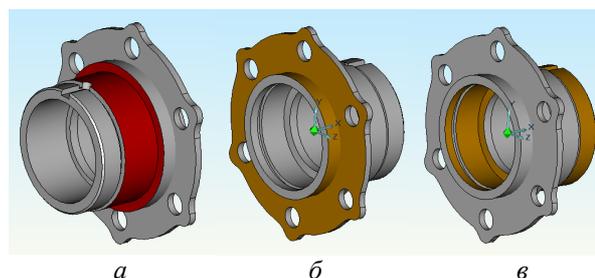


Рис. 21. Назначение поверхностей детали:  
а - основные конструкторские базы;  
б - вспомогательные конструкторские поверхности;  
в - рабочие поверхности

-в модуле ADEM CAM проектируются и отлаживаются управляющие программы для оборудования с ЧПУ (рис.22);

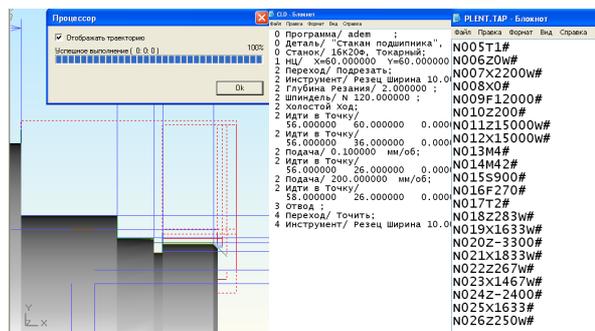


Рис. 22. Расчет траектории движения инструмента, формирование команд CL DATA, формирование управляющих программ

-в автоматизированном режиме формируется полный комплект технологической документации.

Теперь для формирования технологического процесса изготовления одной из деталей группы (рис. 23) редактируется

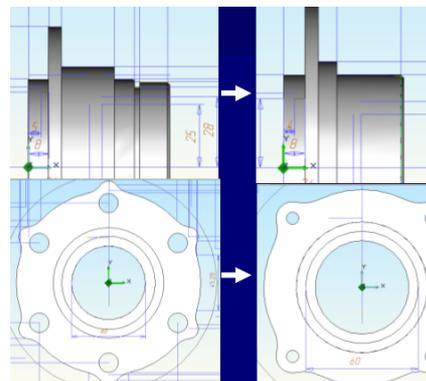


Рис.23. Редактирование геометрии

технологический процесс изготовления комплексного представителя путем удаления отсутствующих переходов (рис. 24).

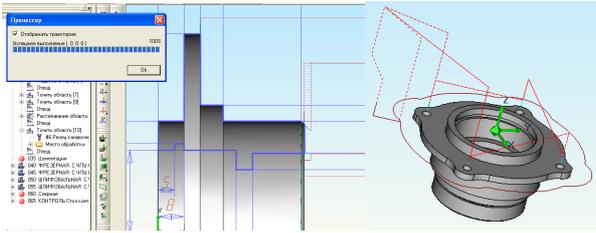


Рис.24. Перестройка траектории движения инструмента

Методика, основанная на сквозной параметризации, позволяет студентам в дипломном проектировании разрабатывать принципиально новые подходы к проектированию технологических процессов деталей ГТД, например:

-в зависимости от изменения геометрических параметров лопатки последовательно автоматически изменяется геометрия заготовки (рис. 25);

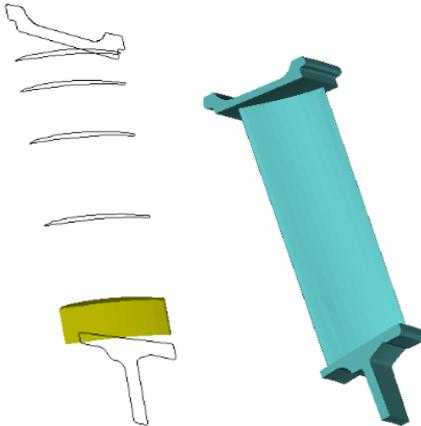


Рис. 25. Формирование параметрической 3D модели лопатки

-изменяется 3D модель заготовки и процесс ее формирования (рис. 26);

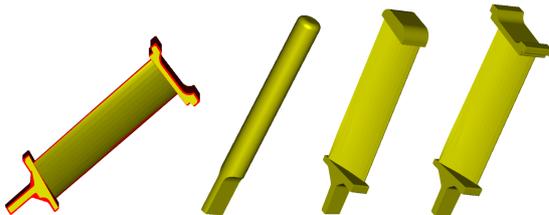


Рис. 26 Процесс формирования заготовки

- изменяются управляющие программы на оборудование с ЧПУ для изготовления деталей штампа (рис.27);

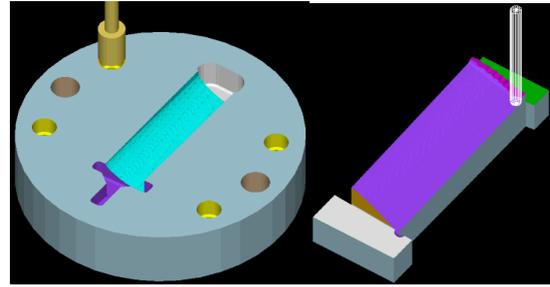


Рис. 27 Моделирование процесса изготовления матрицы и пуансона

-изменяется геометрия и процесс изготовления шаблонов для распределения припуска на электроэрозионном вырезном станке с ЧПУ (рис.28);

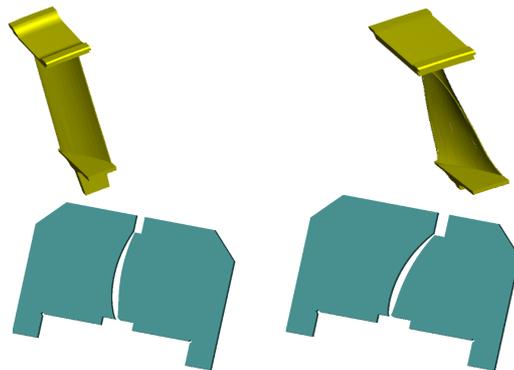


Рис. 28. Изменение геометрии шаблонов

-изменяется параметрическая модель приспособления для подготовки баз; процесс изготовления электродов для осуществления ЭХО (рис.29).

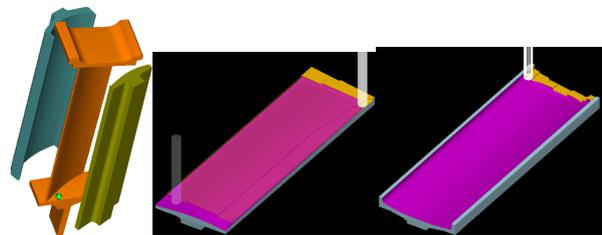


Рис. 29. Моделирование формы электродов для ЭХО и процесса их изготовления

В случае изменения геометрических параметров лопатки (например, угла закрутки) автоматически изменяются параметры (процессы) изготовления технологической оснастки.

## TRAINING FOR INNOVATIVE ENGINEERING THROUGH THROUGH PARAMETRIZATION

©2011 V. B. Balyakin, A. I. Ermakov, L. A. Chempinsky

Samara state aerospace university named after academician S. P. Korolyov  
(National Research University)

The CAD system world already became 3D. But 2D modeling is still actual for many of engineering tasks. This article gives the retrospective for 2D modeling tools in CAD systems and explains some special methods, used in ADEM-VX system. Samples are given in 2D solid mechanism and layer-mechanism for assembly creation in 2D.

*CAD, 2D modeling, 2D solid mechanism, ADEM-VX, and layer-mechanism for assembly.*

### Информация об авторах

**Балякин Валерий Борисович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой основ конструирования машин, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [borkos@yandex.ru](mailto:borkos@yandex.ru). Область научных интересов: теория и проектирование опор роторов авиационных двигателей.

**Ермаков Александр Иванович**, доктор технических наук, профессор, декан факультета двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [fdla@ssau.ru](mailto:fdla@ssau.ru). Область научных интересов: динамика и прочность двигателей.

**Чемпинский Леонид Андреевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры производства двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [chempinskiy@mail.ru](mailto:chempinskiy@mail.ru). Область научных интересов: использование CAD/CAM/CAPP систем при подготовке специалистов для инновационного машиностроения.

**Balyakin Valery Borisovich**, doctor of technical science, professor, Head of Department of machine design basics, Samara state aerospace university named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [borkos@yandex.ru](mailto:borkos@yandex.ru). Area of research : theory and design of aircraft engine rotor supports.

**Ermakov Alexander Ivanovich**, doctor of technical science, professor, the decan of faculty of aviation engines, Samara state aerospace university named after academician S.P. Korolyov (National Research University). [fdla@ssau.ru](mailto:fdla@ssau.ru). Area of research: dynamics and durability of engines.

**Chempinsky Leonid Andreevich**, candidate of technical science, professor, Samara state aerospace university named after academician S.P. Korolyov (National Research University), department Engines production of the aircraft machines. E-mail: [chempinskiy@mail.ru](mailto:chempinskiy@mail.ru). Area of research: use CAD/CAM/CAPP of systems by preparation of experts for innovative mechanical engineering.