

УДК 531/534:[57+61]

© 2008 г. **А.В. Бушманов**, канд. техн. наук  
(Амурский государственный университет, Благовещенск)

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФИКСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ТРАВМАТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ CAD/CAE/CAM-ТЕХНОЛОГИЙ. I**

Рассматриваются этапы проектирования конструкций фиксирующих устройств на основе современных информационных технологий.

### **Введение**

Современный уровень развития наукоемких производств во всем мире характеризуется все более широким применением технологий непрерывной информационной поддержки продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Сегодня эти технологии объединены под общим названием CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life Cycle Support). Ключевым принципом CALS-технологий является отображение реальных бизнес-процессов на виртуальную информационную среду, где эти процессы реализуются в виде компьютерных систем, а информация существует только в электронном виде.

Доказавшие свою эффективность CALS-технологии начали активно применяться в промышленности, строительстве, транспорте и других отраслях экономики, расширяясь и охватывая все этапы жизненного цикла продукта – от маркетинга до утилизации. Однако производители такой наукоемкой продукции как медицинская техника до настоящего времени не в полной мере используют достижения передовых в этом отношении стран и предприятий. Можно отметить некоторые положительные тенденции развития CAD/CAE/CAM-систем в медицине, – например, использование современных возможностей компьютерного моделирования в стоматологии [1]. CAE/CAD/CAM-системы являются характерными примерами комплексных САПР в составе CALS-технологий [2].

Рассмотрим использование современных компьютерных технологий в производстве конструкций для травматологии.

### **Этапы разработки фиксирующих устройств с помощью CAD, CAM и CAE-технологий**

Рассмотрим этапы разработки конструкций фиксирующих устройств для травматологических отделений с применением функциональной модели на основе методологии IDEF0. Диаграмма концептуальной модели, применяемой CAD/CAE/CAM-технологии, – на рис. 1.

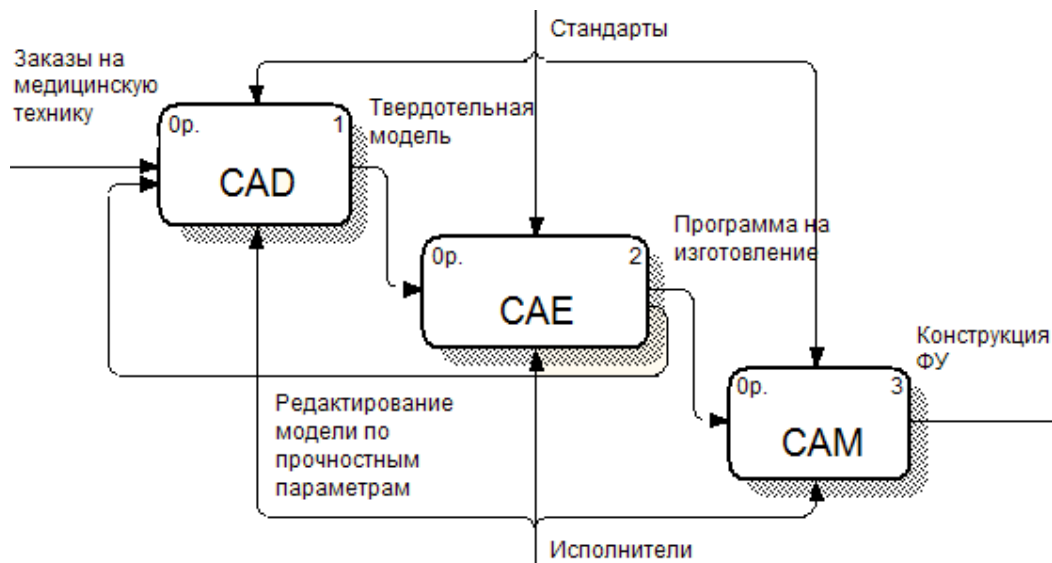


Рис. 1. Этапы разработки медицинской техники.

В требованиях врача-травматолога на изготовление фиксирующего устройства указывается, в какие точки кости должны быть введены фиксирующие стержни или спицы и какое смещение отломков относительно друг друга допустимо. Инженер-разработчик конструкций фиксирующих устройств обязан рассчитать, какую нагрузку должна выдерживать проектируемая конструкция без нарушения требований при ее минимальных размерах и весе.

На *первом* этапе инженер (разработчик) делает множество вариантов конструкции, прежде чем придет к тому, который будет одобрен заказчиком.

На *втором* этапе производится определение размеров фиксирующего устройства. Его габариты должны быть выбраны таким образом, чтобы была возможность установки на конкретного больного, имеющего индивидуальные антропологические особенности. Кроме того, размеры конструкции должны соответствовать виду перелома по выбранной классификации переломов. Значит, необходимо получить сведения о размерах больного и типе перелома по классификации. Эти сведения можно взять в базе данных производителей либо поставщиков элементов или конструкций фиксирующих устройств. В этом случае доступ к базе данных осуществляется аналогично доступу к журналам и их содержимому при подключении к электронной библиотеке. Разработчик может скопировать сведения в свою собственную базу данных, если он планирует часто пользоваться ими. Форма и размеры конструкции фиксирующего устройства должны изменяться в соответствии с полученными сведениями.

На *третьем* этапе разработчик выбирает материал, из которого будут изготовлены элементы конструкции. Он может выбрать марку стали или металлический сплав, а также другой материал, учитывая совместимость с живой тканью человека. В связи с тем, что конструкции фиксирующих устройств работают в условиях большой циклической нагрузки, разработчик обязательно должен учитывать физические характеристики и свойства используемых материалов. На этом этапе также полезна база данных, потому что в ней могут быть сохранены свойства множества материалов, используемых в медицинской технике, в том числе и

в травматологии. Можно воспользоваться также имеющейся экспертной системой, которая выберет материал по свойствам, хранящимся в базе данных. Полная информация о выбранном материале также помещается в базу данных.

На всех этапах разработки конструкции фиксирующего устройства разработчик пользуется автоматизированными *CAD*-системами для разработки рабочих чертежей (если задача решается в двух измерениях) или системами геометрического моделирования (в случае трех измерений). Функции *CAD*-систем в машиностроении подразделяют на функции двухмерного (*2D*) и трехмерного (*3D*) проектирования. К функциям *2D* относятся черчение, оформление конструкторской документации; к функциям *3D* – получение трехмерных моделей, метрические расчеты, реалистичная визуализация, взаимное преобразование *2D* и *3D* моделей. В процессе проектирования конструкций фиксирующих устройств можно использовать такие *CAD*-системы среднего уровня как AutoCAD, SolidWorks, Компас. С использованием системы SolidWorks на основе электронных чертежей элементов была построена модель шарнирно-дистракционного ортопедического аппарата Волкова-Оганесяна (рис. 2).

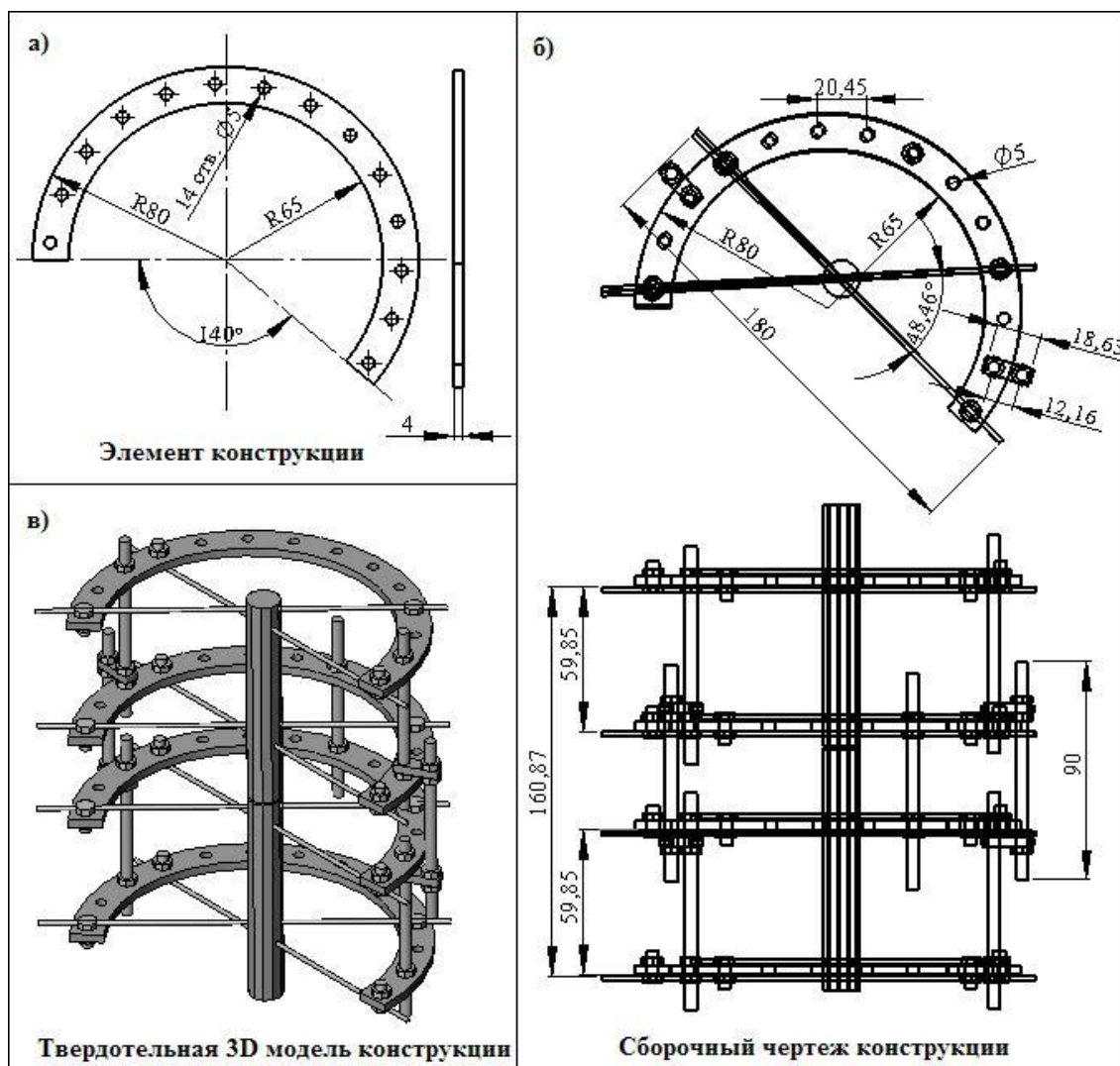


Рис. 2. Взаимное преобразование *2D* и *3D* моделей.

Аппарат представляет собой жесткие каркасные конструкции, состоящие из дуг и стоек, фиксируемых на спицах, проведенных через суставные концы соответствующих костей, снабженные раздвижными дистракторами с шарнирами, обеспечивающими воспроизведение движений в суставе.

Основным элементом конструкции аппарата стал базовый 2D-эскиз, выполненный в технологии ассоциативного конструирования (Associative Design). При его создании, наряду с геометрической параметризацией компонентов эскиза, были установлены двунаправленные ассоциативные связи с расчетной подсистемой, включающей модуль надежностных расчетов, а также справочником материалов и их свойств. В процессе создания 2D-эскиза были решены важные задачи формализации конструктивных характеристик элементов конструкции.

Изменения, выполненные в 2D-эскизе, вызывали запуск поверочных расчетов и построение основных эксплуатационных документов-характеристик жесткости конструкции фиксирующего устройства. Сопоставление полученных данных с требованиями технического задания определило направление дальнейших изменений конструкции устройства. В свою очередь конструктор имеет возможность (за счет ассоциативной связи 2D-эскиза и конструкторской подсистемы) на основе проведенных конструкторских расчетов инициировать изменения в конструкторских элементах фиксирующего устройства.

Полученный на этом этапе концептуальный проект может быть отправлен в отделение травматологии по электронной почте с целью получения отзыва. При выполнении заказов на изготовление конструкций фиксирующих устройств взаимодействие разработчика с заказчиками из отделения травматологии медицинского учреждения может происходить в реальном времени через объединенные в сеть компьютеры. При наличии необходимого для этого оборудования подобное взаимодействие может быть удобным и продуктивным.

Вся информация о готовом концептуальном проекте сохраняется в базе данных. В базу данных попадают сведения о конфигурации всех фиксирующих устройств, которые разрабатывались коллективом. Таким образом, все особенности каждого проекта упорядочиваются и помещаются в базу данных с возможностью считывания и изменения разработчиком в любой момент времени. Декомпозиция модели CAD-системы показана на рис. 3.

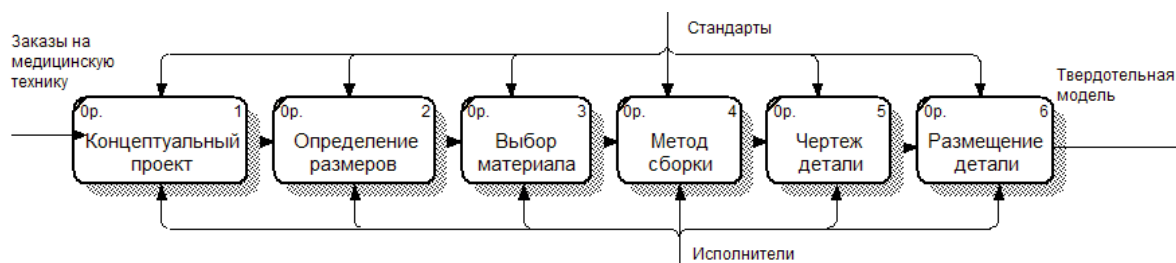


Рис. 3. Декомпозиция CAD-системы.

В механических устройствах высокой точности и структурах рассчитанных на большие нагрузки, каковыми являются фиксирующие устройства, такие параметры как диаметры несущих и врезных стержней, спиц, их количество, толщина пластин, геометрические размеры колец и т.д. должны определяться точным рас-

четом, чтобы избежать деформации и как следствие – смещения костных отломков относительно друг друга. На этом этапе разработки конструкции используются САЕ-системы. Функции САЕ-систем довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений.

Декомпозиция САЕ-системы показана на рис. 4.

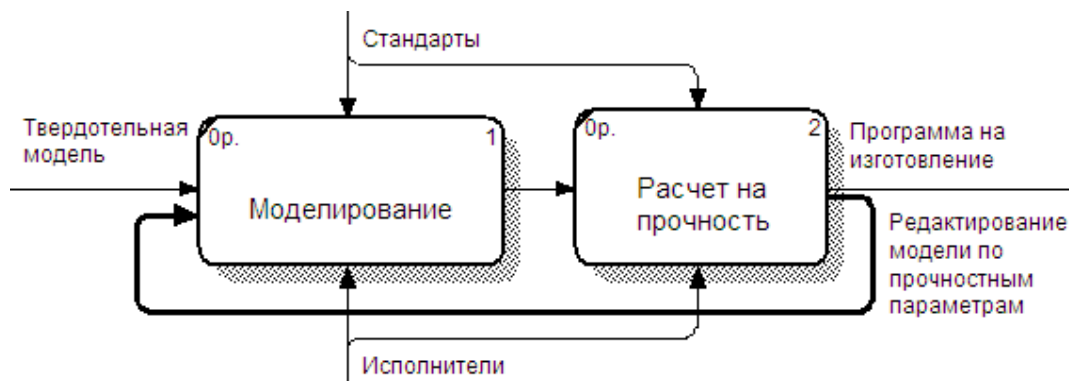


Рис. 4. Декомпозиция САЕ-системы.

Примерами систем моделирования механических конструкций в соответствии с МКЭ являются: Nastran, Ansys, Abaqus, Cosmos, Nisa.

Для расчета напряжений и деформации структур широко используется метод конечных элементов. Этот метод применяется к аналитической модели конструкции фиксирующего устройства. Параметры нагрузки – такие как вес человека, силы мышц для конкретного вида перелома кости – задаются или считываются из базы данных точно так же, как и сведения о компоновке и размерах фиксирующего устройства. Определяя зависимость деформации элементов фиксирующего устройства от их геометрических и физических характеристик, разработчик выбирает подходящие значения этих параметров и сохраняет их в базе данных. Данный процесс автоматизируется путем интеграции метода конечных элементов с процедурой оптимизации.

С целью анализа деформации аппарата Волкова-Оганесяна модель разбиваем на конечные элементы. Дугу, спицы, стойки моделируем гексагональными конечными элементами, а имитатор кости и крепежные изделия – тетраэдральными. При жесткой фиксации одного из имитаторов костей и приложении нагрузки к другому имитатору моделируем деформацию спроектированной конструкции фиксирующего устройства (рис. 5).

Безусловно, невозможно полностью обойтись от натуральных испытаний изделий, они нужны для проверки соответствия изделий требованиям ТЗ, требованиям безопасности, а также для верификации расчетов (проверка расчетных данных результатами экспериментов). Тем не менее, можно сократить количество и снизить объем таких испытаний при использовании современных методов инженерного анализа, позволяющих с достаточной степенью точности создавать электронные модели объектов и прогнозировать на основе расчетов их основные эксплуатационные и ресурсные характеристики.

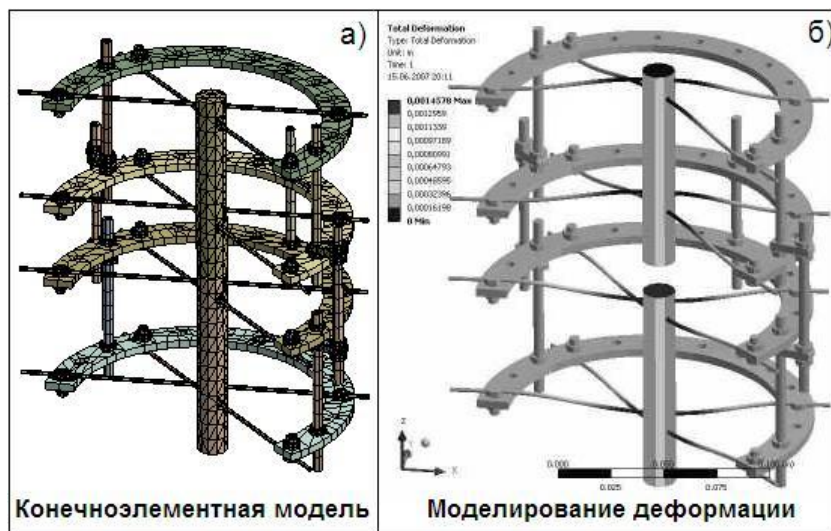


Рис.5. Моделирование конструкции фиксирующего устройства с помощью конечно-элементной системы.

На следующем этапе разработчик выбирает метод сборки фиксирующего устройства. Метод также может быть определен из расчета прочности конструкции в целом или при помощи экспертной системы, имеющей сведения о методах сборки.

После завершения этапов концептуализации проекта, его анализа и оптимизации разработчик переходит к работе над проектной документацией, описывающей конструкцию фиксирующего устройства до мельчайших подробностей. Чертежи отдельных деталей изготавливаются в системе разработки рабочих чертежей. Детальные чертежи помещаются в базу данных для использования в процессе производства.

На следующем этапе происходит изготовление фиксирующего аппарата (рис. 6). Разработчик может испытывать разные варианты размещения на экране компьютера до тех пор, пока не будет найдена конфигурация с минимальным количеством отходов. Компьютерная программа призвана помочь в этой работе, рассчитывая количество отходов для каждой конфигурации.

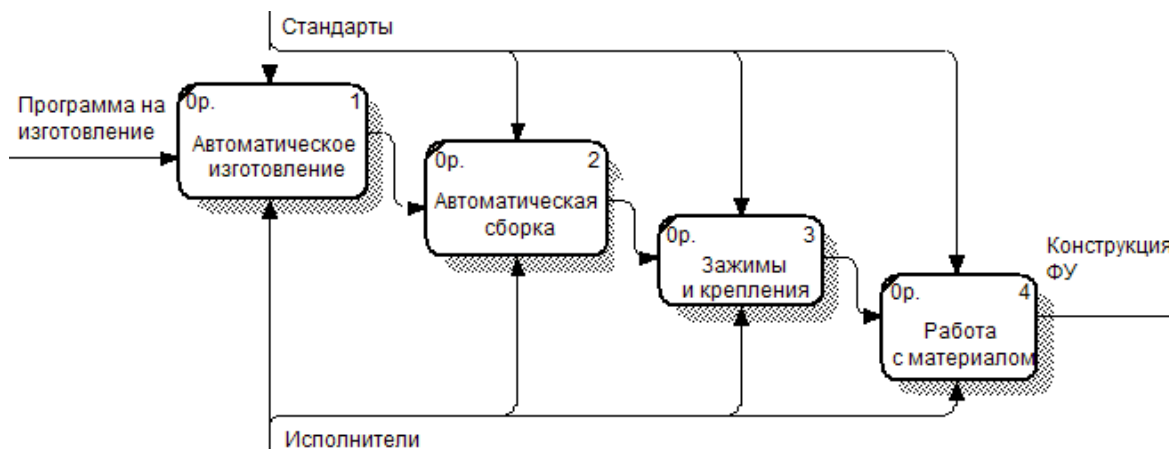


Рис. 6. Декомпозиция САМ-системы.

Программы высокого уровня, имеющие функции оптимизации, могут самостоятельно определить наиболее экономичное размещение деталей конструкции на заготовке. В любом случае конечная конфигурация сохраняется в компьютере и используется для расчета траектории движения инструмента станка с числовым программным управлением. Программные средства позволяют разработать зажимы и крепления, – например, для процедуры высверливания, а также запрограммировать системы передачи материала. Эти системы могут быть как простыми конвейерами, так и сложными роботами, передающими необработанный материал и забирающими готовые детали.

### Заключение

Рассмотрены этапы жизненного цикла конструкций фиксирующих устройств в травматологии. Показано, что стратегия САПР в изготовлении медицинской техники для травматологии включает:

применение современных информационных технологий (использование Интернет-ресурсов);

использование методов "параллельной" разработки (компьютерная разработка конструкторской и технологической подготовки производства);

стандартизацию в области совместного использования данных и электронного обмена информацией в области изготовления медицинской техники.

Компьютерное моделирование, во-первых, позволяет ускорить процесс разработки конструкций фиксирующих устройств, во-вторых, дает возможность экспериментировать с наложением конструкций на виртуальные переломы костей и выбором оптимального варианта применения конструкции, что невозможно в реальных условиях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Щербаков А.С., Уханов М.М., Иванова С.Б., Гришин А.А. CAD/CAM система digiDent – просторы для творчества. <http://www.dental-revue.ru>.
2. Куньву Ли. Основы САПР. – СПб.: Питер, 2004.