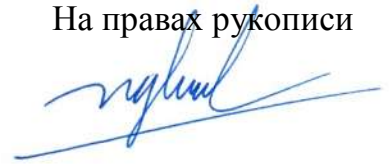


На правах рукописи



Нгуен Нам Минь

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ САПР
БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования
(промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), на кафедре «Системы автоматизированного проектирования (САПР)».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Дмитриевич Геннадий Даниилович, профессор кафедры САПР СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, Лузин Сергей Юрьевич, технический директор и руководитель обособленного подразделения САПР Санкт-Петербургского филиала ООО «Эремекс»

кандидат технических наук, Каменьков Дмитрий Васильевич, руководитель группы разработчиков ООО «Институт географических информационных технологий».

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Защита состоится 30 июня 2015 года в 16 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.238.02 при Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте <http://eltech.ru>.

Автореферат разослан: 29 апреля 2015 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.238.02

к.т.н., доцент



Сафьянников Н.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность исследования

В последнее время в связи с урбанизацией, экологическими проблемами и общим старением населения во всем мире наблюдается неуклонный рост заболеваний органов опорно-двигательной системы, в том числе заболеваний крупных суставов (тазобедренного, коленного, плечевого) и позвоночника. Одним из способов лечения этой патологии являются операции эндопротезирования-замена поврежденного сустава на искусственный. В соответствии с данными регистров эндопротезирования (Шведский, Датский, Норвежский и Финский), примерно 40000 первичных артропластик выполняется ежегодно в странах Северной Европы, в то же время, более миллиона операций в год проводится по всему миру и в последующие два десятилетия ожидается увеличение данного количества вдвое. Вследствие значительного роста операций первичного эндопротезирования неуклонно растет количество выполняемых ревизионных вмешательств в связи с асептическим расшатыванием компонентов, износом вкладышей, рецидивирующим вывихом головки, переломом конструкций, ошибками в технике операций. Врачи вынуждены подбирать пациенту подходящий типоразмер эндопротеза и крепежных изделий из 6-8 доступных по размеру, которые выпускаются серийно. Использование стандартных эндопротезов приводит к нарушению кинематики работы сустава при ходьбе и вызывает разрушение костной ткани. Поэтому проектирование и изготовление эндопротезов для каждого конкретного пациента с учетом анатомических изменений костей служит альтернативой традиционным методикам эндопротезирования. Данное направление получило развитие в единичных центрах мира и не имеет аналогов в российской ортопедии.

В последние годы появились работы по применению математического и физического 3D-моделирования в ортопедии. Эти работы ограничиваются рассмотрением средств визуализации *биомеханических объектов* – систем

«кость-эндопротез», средств коррекции и замещения органов и систем, относящихся к группе протезно-ортопедических изделий. Отечественные биомеханические программные пакеты (БПП) представляют собой системы поддержки принятия решений или сервисные системы, рассматривающие частные задачи в сфере медицинской биомеханики на основе использования набора зарубежных многофункциональных машиностроительных комплексов – Unigraphics, CATIA, AnyBody, Ansys и др. Не рассматриваются и не решаются задачи сквозного проектирования и изготовления индивидуальных ревизионных систем для эндопротезирования тазобедренных суставов.

Указанные обстоятельства определили основные направления выполненных в диссертации исследований, тематика которых тесно связана с планами НИР СПбГЭТУ «ЛЭТИ», научно-технического комплекса «Машиностроительные технологии»(НТК МашТех) СПбПУ и российского научно-исследовательского института травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена (РНИИТО им. Р.Р. Вредена). Таким образом, исследование и разработка инструментальных средств САПР биомеханических объектов является актуальной задачей, имеющей большое социально-экономическое, и практическое значение.

Предметом исследования является научные основы построения САПР биомеханических объектов.

Объектом исследования являются методы, модели, и инструментальные средства САПР биомеханического объекта «кость-индивидуальный_компонент_ревизионной_системы-эндопротез» (Bone-Custom_component-Implant – BCI).

Цель работы и основные задачи исследования

Настоящая диссертация посвящена исследованию методов построения инструментария САПР биомеханических объектов BCI (в первую очередь тазобедренных суставов), и разработке на основе этого исследования методов, моделей и инструментальных средств биомеханической

САПРВСІ. Для достижения поставленной цели надо решить следующие задачи:

1. Разработать технологию автоматизированного проектирования и изготовления индивидуальных имплантатов с применением инструментария пользователя–хирурга САПР биомеханических объектов и современных аддитивных технологий.
2. Разработать архитектуру программного обеспечения биомеханических САПР, обеспечивающих реализацию технологии автоматизированного проектирования и изготовления индивидуальных имплантатов.
3. Разработать инструментарий САПР ВСІ, включая инвариантные и биомеханические инструменты.
4. Разработать компоненты информационного обеспечения САПР биомеханических объектов, в том числе Веб–ориентированные банк моделей и средства доступа к банку моделей
5. Разработать методы и модели для инструментов биомеханической САПР, в том числе инструменты, обеспечивающие конструктивное решение имплантата и способа структурирования его поверхности таким образом, чтобы активировать процессы роста костной ткани, консолидацию ее с материалом имплантата и образование нового анатомического объекта со свойствами, приближенными к физиологическим.

Методы исследования

Для решения поставленных задач, использовались теория баз данных, основы теории проектирования САПР, методы организации информационного и программного обеспечений, методы решения задачи механики деформируемого твердого тела, методы оптимизации.

Новые научные результаты

1. Разработана новая технология автоматизированного проектирования и изготовления индивидуальных имплантатов, отличающаяся от традиционных тем, что, **во первых**, в ее основе лежит

концепция замыкания полного цикла предоперационных проектных-процедур, включая этап изготовления объектов VCI и этап моделирования объектов VCI, **во вторых**, эта технология реализуется не набором зарубежных БПП, а инструментами одной отечественной САПР, **в третьих**, изготовление индивидуальных ацетабулярных компонентов эндопротеза предполагает применение инструментов САПР VCI для формирования STL-моделей, ориентированные на современных и аддитивные технологии;

2. Впервые получены оригинальные архитектурные решения программного обеспечения биомеханических САПР, отличающиеся гибкостью в организации процесса проектирования и открытые для подключения новых объектов VCI и новых инструментов САПР VCI.

3. Впервые разработан инструментарий САПР VCI, отличающийся от известных наличием инвариантных и биомеханических инструментов, обеспечивающих возможность персонализации изготавливаемых конструкций с учетом анатомических изменений костей;

4. Впервые разработаны компоненты информационного обеспечения САПР биомеханических объектов, в том числе Web-ориентированный банк моделей и средства доступа к банку моделей. Разработанные компоненты обеспечивают единое информационное пространство жизненного цикла процесса проектирование и изготовления индивидуальных ацетабулярных компонентов ревизионных систем, а в перспективе и индивидуальных эндопротезов.

5. Разработаны оригинальные методы и модели для инструментов биомеханической САПР. Предложены алгоритмы твердотельного моделирования, отличающих от своих аналогов в машиностроительных САПР тем, что твердые тела формируются путем выдавливания контуров, построения системы контуров и выполнения булевых операций над геометрическими телами.

Достоверность научных результатов подтверждается основными положениями общей теории САПР, корректностью применяемого

математического аппарата и учебной практикой на кафедре САПР СПбГЭТУ, инженерной практикой НТК МашТехСПбПУ, и медицинской практикой РНИИТО им. Р.Р. Вредена.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Технология автоматизированного проектирования и изготовления индивидуальных имплантатов;
2. Архитектура программного обеспечения САПР ВСИ;
3. Инструментарий САПР ВСИ;
4. Компоненты информационного обеспечения САПР биомеханических объектов;
5. Методы и модели для инструментов биомеханической САПР;

Практическая ценность

1. Биомеханическая САПР ВСИ позволяет проектировать и изготавливать компоненты ревизионной системы эндопротезов тазобедренных суставов и определять их влияние на биомеханический объект «кость-индивидуальный компонент - эндопротез» под действием нагрузок.
2. Биомеханическая САПР ВСИ предоставляет хирургу-пользователю инструментарий для проектирования компонентов ревизионной системы тазобедренных суставов.
3. Банк моделей информационного обеспечения САПР ВСИ позволяет экспортировать результаты исследования биомеханических объектов в другие системы.
4. Инструментарий САПР ВСИ позволяет реализовать технологию проектирования и прототипирования имплантатов для операции эндопротезирования тазобедренного сустава эндопротезов методом селективного лазерного сплавления из титанового сплава, с учетом индивидуальных анатомических изменений области протезирования каждого конкретного пациента.

Реализация и внедрение результатов

Инструментальные средства САПР VCI реализованы на базе программной платформы разработки приложений *.NetFramework 4.0* с использованием языка программирования C#. В качестве источника данных выступает файловая встраиваемая реляционная база данных SQLite.

Теоретические и практические результаты диссертационной работы использовались в госбюджетных НИР, проводимых по тематическому плану СПбГЭТУ 2012-2014г по теме «Разработка алгоритмического и программно-аппаратного обеспечения гибридной облачной среды для образовательного процесса».

Результаты диссертации внедрены в медицинскую практику РНИИТО им. Р. Р. Вредена, в инженерную практику НТК МашТехСПбПУ и используются в учебном процессе кафедры САПР СПбГЭТУ для изучения методики построения программного обеспечения систем автоматизированного проектирования при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника», что подтверждается тремя актами о внедрении.

Апробация работы

Основные теоретические результаты диссертационной работы докладывались на конференциях:

1. XVI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2013.
2. XVIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2015.
3. 64, 65-ая научно-технические конференция СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Публикации

Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в четырех печатных работах, в том числе 2 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК, 2 статьи в издании, индексируемом системой *SCOPUS*, одно свидетельство об

официальной регистрации программы для ЭВМ, зарегистрированной в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

Структура и объём работы

Диссертационная работа состоит из введения, четыре главы, заключения, списка сокращенных и условных обозначений, и списка литературы, включающего 67 наименований. Диссертационная работа изложена на 127 страницах, содержит 61 рисунок и 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели исследования, приведен перечень решаемых в работе задач.

В первой главе рассматриваются новая технология проектирования и изготовления индивидуальных эндопротезов. Показано что традиционные технологии, нацелены на решение лишь отдельных частных задач эндопротезирования и не обеспечивает весь процесс подготовки операций и изготовления индивидуальных компонентов ревизионных систем на основании данных компьютерного томографического исследования. Основные недостатки традиционных технологий проектирования и изготовления индивидуальных эндопротезов:

1) Отсутствие полного цикла предоперационных процедур, включая этап изготовления компонент-конструкций при индивидуальном ревизионном эндопротезировании и этап моделирования биомеханических испытаний объектов «кость - индивидуальный компонент - эндопротез» при акцентированном воздействии на центр вращения искусственного сустава.

2) Частные предоперационные процедуры предусматривают совместное взаимодействие разных биомеханических программных пакетов (БПП). Применение таких средств пользователями-хирургами чревато опасностью возникновения неконтролируемых ошибок. Например, конечно-элементная модель кости, созданная в *Mimics*, очень часто открывается в других пакетах

(*Ansys, Siemens NX, CATIA*) с ошибками построения граней. При этом конвертация из формата в формат обуславливает коллизии, исключая программирование данной процедуры с помощью высокоуровневых макросов.

3) Полученные средствами БПП исходные 3D-модели пораженной остеолитом части сустава пациента, на основе данных томографического исследования не выполняет две совместные проектные операции: операцию «очистки» от посторонних материалов (биоцемента, имплантированных ранее конструкций, фоновых изображений тканей, сухожилий); операцию включения 3D скрепов как условие изготовления на 3D-принтере модели, отображающей разделённые части сложного объекта.

4) Не рассматривается возможность изготовления «**МЯГКИХ**» моделей из глины или другого пластичного материала.

В диссертационной работе предлагается новая технология процесса проектирования и производства индивидуальных эндопротезов, блок-схема которой представлена на рисунке 1.

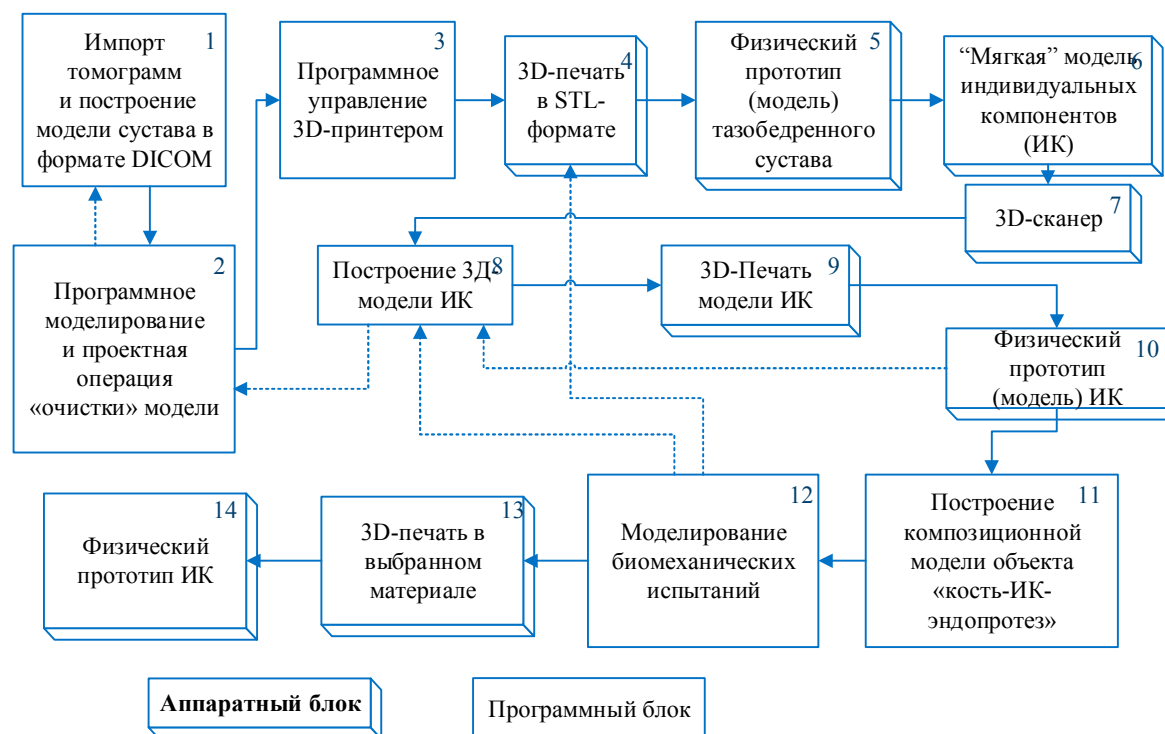


Рисунок 1. Технология проектирования и изготовления индивидуальных эндопротезов.

Основные проектные процедуры рассматриваемой технологии: 1) компьютерное построение иерархии 3D-моделей суставов, обеспечивающее (Блок 2) очистку костной основы от фоновых изображений тканей, сухожилий, сосудов, остатков цемента и т. д.; 2) изготовление анатомически адаптированной "мягкой" модели ИК, учитывающей индивидуальные особенности, геометрию формы, размеры и дефекты костей конкретного пациента (Блок 6); 3) построение композиционная модель объекта «кость - ИК - эндопротез» (*Bone-Custom_component-Implant, BCI*) (Блок 11); 4) моделирование биомеханических испытаний объекта «кость - ИК - эндопротез» в условиях разнонаправленных дестабилизирующих воздействий (Блок 12);

В заключение рассматриваемой главы отмечается, что представленная технология и инструментарий пользователя-хирурга призваны обеспечить сквозной процесс предоперационного планирования; реконструкцию поврежденных костей конкретного пациента; замещение дефекта костной ткани с применением современных биотехнологий; моделирование адаптационных изменений структуры и свойств костной ткани, исследование напряженно-деформированного состояния биомеханического объекта «кость - ИК - эндопротез».

Во второй главе ставится задача реализации оригинальных инструментов, исключающих необходимость адресации к машиностроительным САПР или к их подсистемам.

Предложена архитектура САПР BCI (рисунок 2), которая позволяет реализовать сквозной цикл проектирования и изготовления биомеханического объекта BCI, начиная с построения *STL*-модели по томограмме объекта и заканчивая моделированием биомеханических испытаний сложного композиционного объекта (BCI) в условиях дестабилизирующих воздействий векторных сил в точке ротации искусственного сустава. Биомеханические испытания имитируют жизнедеятельность конкретного пациента.

Инвариантные инструменты — это Управление приложением, Формирование и редактирование 3D-моделей, Твёрдотельное моделирование, Регистрация пациентов и результатов КТ-исследований, Веб-приложение, Визуализация, Банк моделей. *Биомеханические инструменты* - это Анализ и оптимизация параметров эндопротеза, Биомеханические испытания.

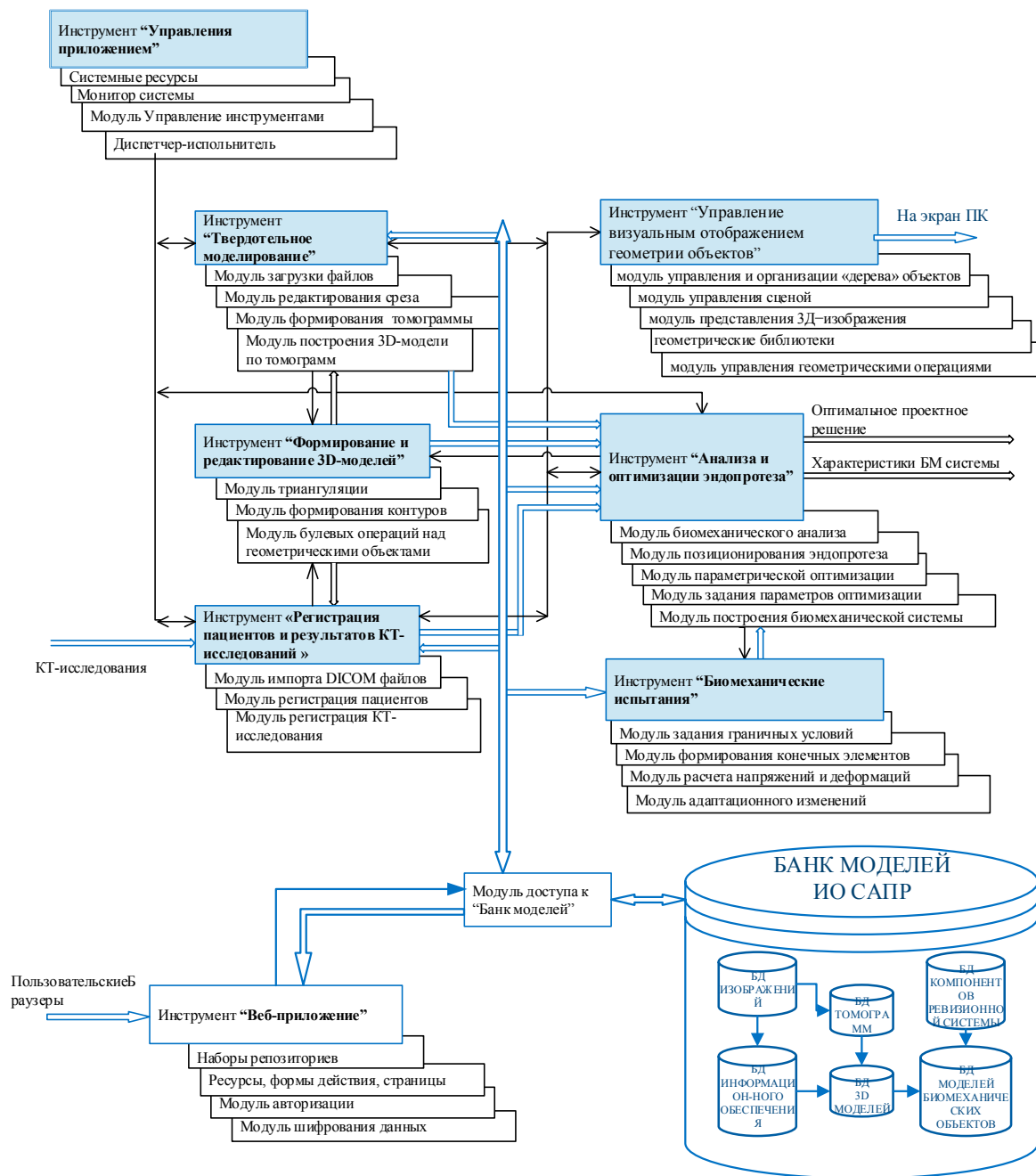


Рисунок 2. Инструментальные средства САПР ВСИ

Инструмент “Управление приложением” выполняет утилитарные и управляющие функции и выступает как посредник между другими инструментами и задает правила и способы взаимодействия отдельных инструментов. Инструмент “Управление приложением” содержит системные журналы, драйверы, системные библиотеки, базы данных системных ресурсов, монитор системы, и управление системы.

Инструмент “Регистрация пациентов и результатов КТ-исследований” служит для загрузки и хранения КТ-изображений. В его состав входят: модуль импорта DICOM файлов, модуль регистрация пациентов, модуль регистрация КТ-исследования.

Инструмент “Твердотельное моделирование” содержит: модуль обработки КТ-изображений, модуль триангуляции, модуль формирования 2D-контуров, модуль формирования томограмм, модуль построения геометрических объектов. Инструмент “Твердотельное моделирование” обеспечивает построение 3D-моделей твердых тел.

Инструмент “Управление визуальным отображением геометрии объектов” включает в себя модуль управления и организации «дерева» объектов, модуль управления сценой и установки их параметры, модуль представления 3D-изображения, геометрические библиотеки, модуль управления геометрическими операциями. Инструмент отвечает за отображение 3D-моделей объекта на экран и предоставляет возможность управления объектами с помощью указателей мыши.

Инструмент Web-приложение предназначен для работы и обмена данными моделей процесса через браузер. Инструмент включает в себя *Web-сервер*, *Web-страницы*, модуль шифрования данных, модуль авторизация пользователей, модуль загрузки-выгрузки моделей данных, модуль управления сеансами, компоненты наборов репозиторий и модуль доступа к банку моделей.

Инструмент “Анализ и оптимизация параметров компонентов ревизионной системы” содержит модули анализа и оптимизации параметров

индивидуальных конструкций эндопротеза, параметрической оптимизации, задание параметров оптимизации, построения биомеханической системы. Инструмент позволяет провести на его основе оптимизацию параметров компонентов ревизионной системы, чтобы улучшить их характеристики, для конкретного пациента

Инструмент “Биомеханические испытания” объектов и конструкцией компонентов ревизионной системы. Инструмент содержит модули задания условий испытания, области неподвижной опоры, значений и направления силы давления. Этот инструмент позволяет выполнить расчеты напряжений, деформации и изменений на конструкциях биомеханических объектов ВСИ.

Третья глава посвящена вопросам разработки инструментальных средств информационного обеспечения САПР. В центре информационного обеспечения САПР стоит централизованный “Банк моделей”, который обеспечивает полное и избыточное хранение проектных данных всех биомеханических объектов, таких как: модель объекта “Пациент”, модель объекта “Изображения”, модель объекта “Исследование”, модель объекта «3Д-Модель», модель объекта «Томограммы», модель объекта «Индивидуальный компонент ревизионной системы», модель объекта «Эндопротезы», модель объекта «Биомеханических объектов», результаты анализа и оптимизация параметров эндопротезов, результаты биомеханических испытаний.

Для реализации инструмента информационного обеспечения была выбрана встраиваемая (файловая) база данных *SQLite*. Одним из самых главных и возможно ключевым преимуществом является то, что для работы *SQLite* не требуется процедура установки самой СУБД, так как физически она встраивается в приложение, как уже отмечалось ранее, являясь библиотекой, статически или динамически подсоединённой к основной программе. Наконец, разработан модуль доступа к банку данных на основе технологии программирования объектно-реляционного отображения (ORM). Модуль доступа к банку данных используется для упрощения

процесса хранения объектов в реляционной базе данных, при этом механизм доступа сам заботится о преобразовании данных между двумя несовместимыми состояниями.

Четвертая глава представляет результат применения в медицинской практике разработанной в диссертационной работе биомеханической САПР ВСІ.

Система реализована в среде программирования Майкрософт Visual Studio 2010 с использованием открытых библиотек, таких как *.NET Framework v4.0*, *OpenGL TAO*, *gdcм DICOM*, *Visualization Toolkit VTK*. Для эффективной работы инструментов САПР ВСІ рекомендуется использовать ПК с 64-разрядным процессором 2 ГГц и выше, ОЗУ не менее 4 Гб. Требуется свободное пространство на диске 256 Мб для установки программы и для каждого КТ-исследования – 1 Гб. Инструментарий САПР ВСІ работает под управлением операционной системой Майкрософт Windows 7, 64 бит.

На конкретном примере (пациент Г.) иллюстрируются отдельные этапы проектирования и изготовления индивидуального ацетабулярного компонента тазобедренного сустава (рисунок 3)

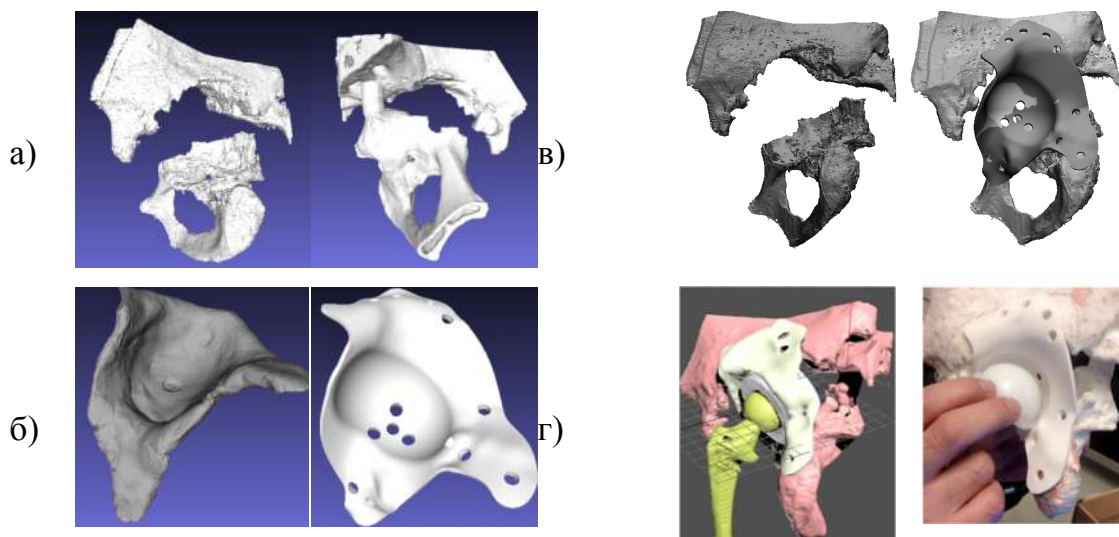


Рисунок 3: Некоторые этапы проектирования и изготовления индивидуальных компонентов для ревизионного эндоротезирования ТБС

Исходная томограмма пациента Г. импортируется в 3Д-модель тазобедренного сустава (ТБС). Инструментами системы VCI реализуется проектная операция «очистки» модели от посторонних материалов (биоцемента, имплантированных ранее конструкций, фоновых изображений тканей, сухожилий), а затем реализуется проектная операция включения 3Д-скрепов как условие изготовления на 3Д-принтере пластиковой модели ТБС, отображающей разделённые части ТБС (рисунок 3-а).

Изготавливается анатомически адаптированная "мягкая" модель индивидуального компонента (ИК), учитывающая персональные особенности, геометрию формы, размеры и дефекты костей конкретного пациента Г. (рисунок 3-б-слева), указывается отверстия для фиксирующих винтов (рисунок 3-б-справа) пластиковой модели, являющейся результатом работы 3Д-принтера. В процессе коррекции физического прототипа ТБС и конструкции ИК выполняются расчеты напряженно-деформированного состояния объекта VCI. На физическом прототипе вместе с оперирующим хирургом устанавливают вариант конструкции «кость-вкладыш-ИК-эндопротез» (рисунки 3-в и 3-г). Наконец, выполняют 3Д-печать ИК в выбранном материале (титановый сплав для пациента Г.). В заключительном разделе главы приведены результаты адаптационного анализа и биомеханических испытаний объекта VCI.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты, полученные на основе проведенных в диссертационной работе исследований.

Основные результаты работы

1) Разработана новая технология автоматизированного проектирования и изготовления индивидуальных имплантатов, отличающаяся от традиционных тем, что, во первых, в ее основе лежит концепция замыкания полного цикла предоперационных проектных-процедур, включая этап изготовления объектов VCI и этап моделирования объектов VCI, во вторых, эта технология реализуется не набором средств а инструментами одной отечественной

САПР, в третьих, изготовление индивидуальных ацетабулярных компонентов эндопротеза предполагает применение инструментов САПР ВСИ для формирования STL-модели ориентированных на современных и аддитивных технологий;

2. Впервые получены оригинальные архитектурные решения программного обеспечения биомеханических САПР, отличающиеся гибкостью в организации процесса проектирования и открытые для подключения новых объектов ВСИ и новых инструментов САПР ВСИ.

3. Впервые разработан инструментарий САПР ВСИ, отличающийся от известных наличием инвариантных и биомеханических инструментов, обеспечивающих возможность персонализации изготавливаемых конструкций с учетом анатомических изменений костей;

4. Впервые разработаны компоненты информационного обеспечения САПР биомеханических объектов, в том числе Web-ориентированный банк моделей и средства доступа к банку моделей. Разработанные компоненты обеспечивают единое информационное пространство жизненного цикла процесса проектирование и изготовления индивидуальных ацетабулярных компонентов ревизионных систем, а в перспективе и индивидуальных эндопротезов.

5. Разработаны оригинальные методы и модели для инструментов биомеханической САПР. Предложены алгоритмы твердотельного моделирования, отличающихся от своих аналогов в машиностроительных САПР тем, что твердые тела формируются путем выдавливания контуров, построения системы контуров, и выполнения булевых операций над геометрическим телом.

6. На основе полученных результатов реализована САПР ВСИ внедренная в учебную практику кафедры САПР СПбГЭТУ «ЛЭТИ», а также инженерную практику НТК МашТехСПбПУ и медицинскую практику РНИИТО им. Р.Р. Вредена.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, и в изданиях, индексируемых системой SCOPUS:

1. Нгуен Н.М. Современный подход к биомеханической оценке эффективности применения эндопротезов / Безгодков Ю.А., Дмитриевич Г.Д., Марков М.В., Аболин А.Б., Нгуен Н.М. // Ученые записки СПбГМУ 2012. вып 4, С.70-81;

2. Nguyen N.M., Biomechanical CAD system in revision arthroplasty [Текст] // Tikhilov R.M., Dmitrevich G.D., Solnitsev R.I., Tsibin A.V., Vopilovsky P.N. // XVIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM 2015), 978-1-4673-6961-9/15 // 2015 IEEE.

3. Nguyen N. M., Tools for biomechanical CAD systems in revision total hip arthroplasty [Текст] // Dmitrevich G. D., Марков М.В. // XVIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM 2015), 978-1-4673-6961-9/15 / 2015 IEEE

4. Дмитриевич Г.Д., Нгуен Н.М., Марков М.В. Оптимизация в САПР биомеханических объектов. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» №5'2015, с72-78.

Свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ:

5. Нгуен Н.М. Графический редактор срезов кости для компьютерной томографии (Slicer), Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014619702 зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.09.2014 / Дмитриевич Г.Д, Платонов С.А.// Федеральной службы по интеллектуальной собственности Роспатент М.: ФИПС, 2014. RU.

Подписано в печать 24.04.2015. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,0
Гарнитура «Times New Roman». Тираж 100 экз. Заказ 89.

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Технолит»
197101, Санкт-Петербург, ул. Кронверкская, д. 12 лит. А, пом. 2н.