

Московский институт электроники и математики
(технический университет)
Институт космических исследований РАН

**Разработка точных и реалистичных
цифровых МКЭ-моделей в задачах
дентальной имплантации**

Докладчик: Полякова Т.В., асп., МИЭМ

Научный руководитель: д.т.н., профессор Чумаченко Е.Н.

Содержание

- Постановка задачи моделирования постоянных и временных зубных протезов с опорой на имплантаты с использованием Mimics, SolidWorks, Nastran/Patran
- Подготовка геометрии моделей при обработке данных по томографическому снимку объекта

Применение временных имплантатов

Одним из способов избежать съёмного протезирования на промежуточном этапе дентальной имплантации является использование временных миниимплантатов. Миниимплантаты применяются для установки временных протезов на этапе остеоинтеграции постоянных имплантатов, занимающем обычно при двухэтапной методике от 3 до 6 месяцев в зависимости от места проведения дентальной имплантации и сложности проводимого хирургического вмешательства, и при последующем имплантологическом лечении, которое может продолжаться до 1,5 – 2 лет. Цель данной работы – подготовка геометрической модели челюсти после установки временного протеза на миниимплантатах на период остеоинтеграции двухэтапных имплантатов для последующего анализа оптимального расположения постоянных и временных имплантатов в зависимости от прочностных характеристик опорных тканей челюсти при функциональных жевательных нагрузках на протез. Рассматривается пример частичного отсутствия зубов в области 8, 7, 6, 5, 4 нижней челюсти, т.е. дефект зубного ряда справа является концевым.

Характеристики миниимплантатов и двухэтапных имплантатов

На сегодняшний день известны системы стоматологических миниимплантов, производимых фирмами Imtec Corp., Dentatus AB., Nobel Biocare, Antogyr, а также применяемые в клинике КДЦ МГМСУ миниимплантаты «ЛИКО» и ИМТЕС. Диаметр миниимплантата 1.8 мм (ИМТЕС) и 2 мм («ЛИКО»), длина внутрикостной части 10, 11.5, 13, 15 мм (ИМТЕС) и 10, 13, 16 мм («ЛИКО»). Для двухэтапных имплантатов под моляр берут диаметр 4.0, 4.8 мм, длина 8, 10, 12 мм, под премоляр обычно берут диаметр 3.3 мм, длина 8, 10, 12 мм.

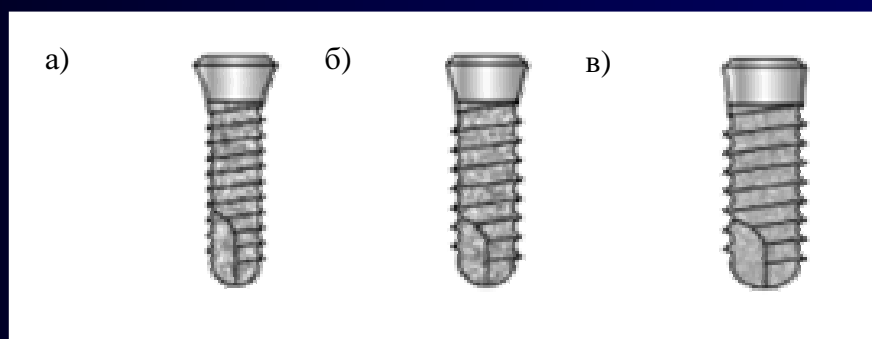


Рисунок 1 – Схема подкостной части двухэтапных имплантатов:

а) под премоляр; б), в) под моляр

Характеристики миниимплантатов

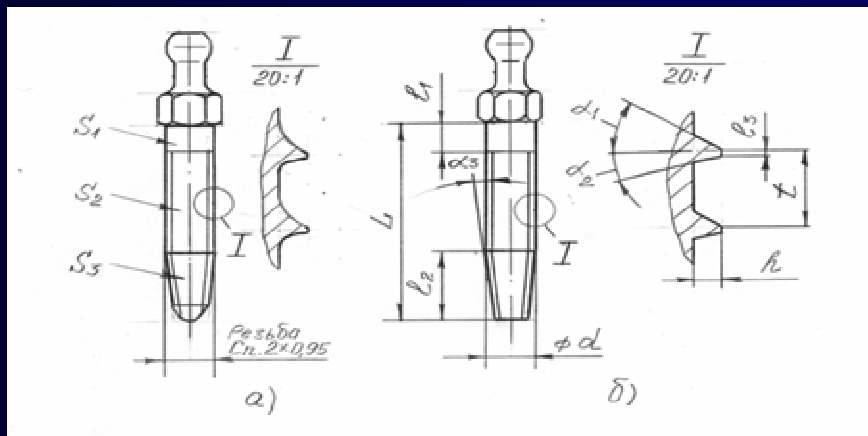


Рисунок 2 – Конфигурация мини-имплантата «ЛИКО»: а) реальная, б) условная (расчётная)

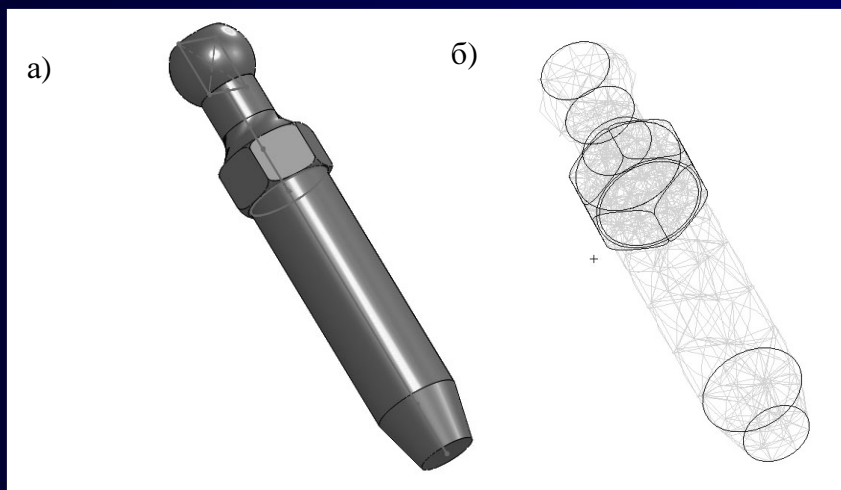


Рисунок 3 – Модель миниимплантата «ЛИКО»: а) модель миниимплантата «ЛИКО», построенная в SolidWorks; б) тетраэдризация модели в Patran

Модели имплантатов, построенные в SolidWorks

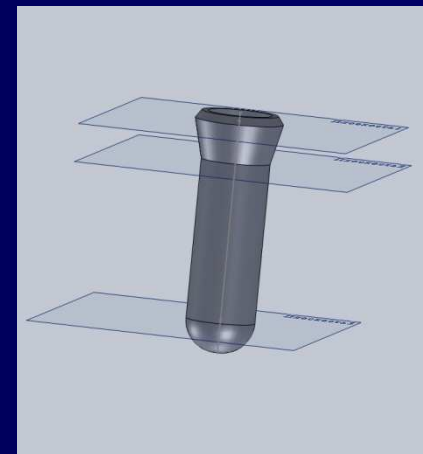
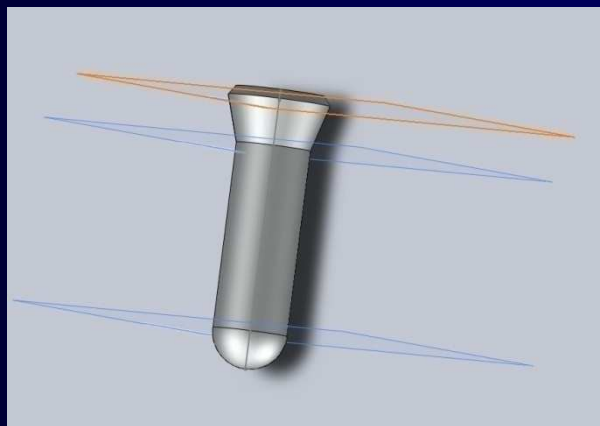
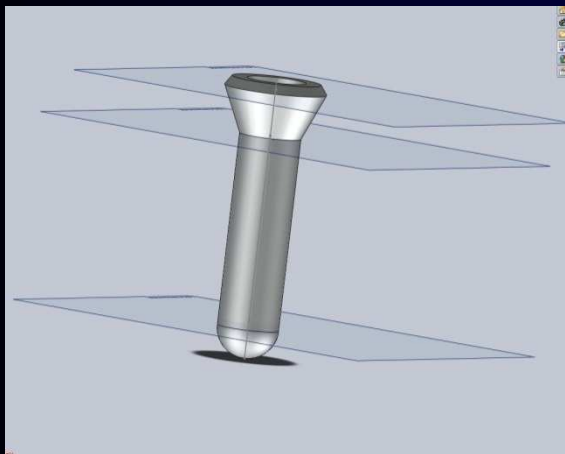


Рисунок 4 – Модели подкостной части двухэтапных имплантатов: а) под премоляр; б),в) под моляр

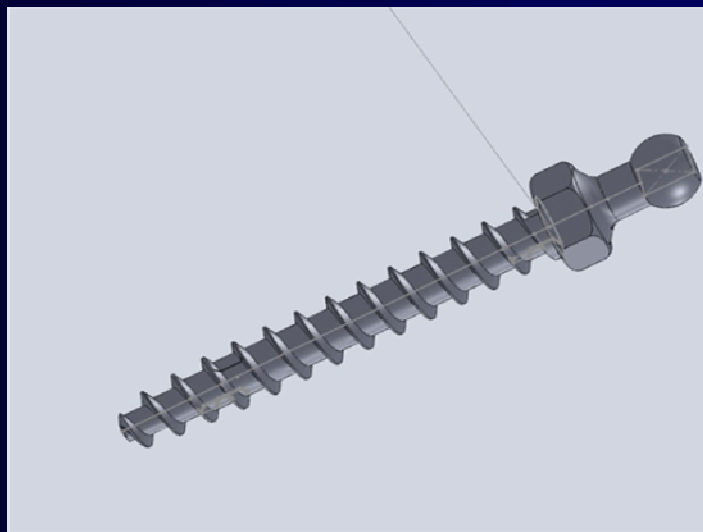


Рисунок 5 – Модель миниимплантата «ЛИКО»

Этапы получения изображения в системе Mimics

При получении трехмерного изображения в программном комплексе Mimics выполняются следующие этапы:

1. Кадрирование изображений.
2. Создание маски сегментации: выбор диапазона сегментации (Thesholding), выделение области (Region Growing).
3. Операции над маской: редактирование (Draw, Erase, Local Theshold), Dinamic Region Growing, изменение «формы» маски (Erode, Dilate, Open, Close), булевы операции, заполнение пустот.
4. Реконструкция модели по маске.
5. Преобразование сети в Remesher.
6. Экспорт полученной модели в формате STL в SolidWorks

Геометрия модели челюсти

В качестве исходных данных использовалось 54 послойных снимка в формате ВМР с шагом сканирования 1 мм. Выполнялось кадрирование и сегментация модели по профильной линии, проходящей через нижнюю челюсть (диапазон сегментации 226-3077 HU).

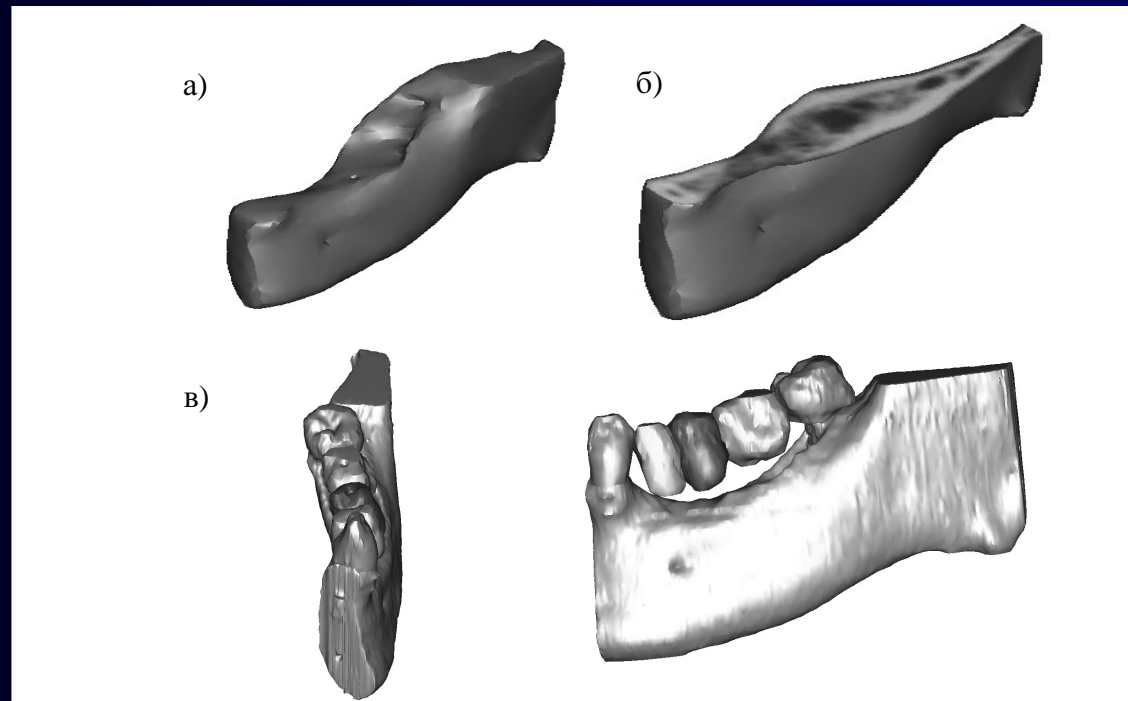


Рисунок 6 – Реконструкция модели челюсти:

- а) трехмерная модель челюсть без имплантатов;
- б) модель челюсти с изображением плотности ткани на томограмме в сечении;
- в) модель с отдельно стоящим клыком и заготовками под временный протез

Кадрирование

Organize Images

Images in project, 55 selected:

Nr	Project	Position	Distance
0		-49.5	
1		-48.5	1.0
2		-47.5	1.0
3		-46.5	1.0
4		-45.5	1.0
5		-44.5	1.0
6		-43.5	1.0
7		-42.5	1.0
8		-41.5	1.0
9		-40.5	1.0
10		-39.5	1.0
11		-38.5	1.0
12		-37.5	1.0
13		-36.5	1.0
14		-35.5	1.0
15		-34.5	1.0
16		-33.5	1.0
17		-32.5	1.0
18		-31.5	1.0
19		-30.5	1.0
20		-29.5	1.0
21		-28.5	1.0
22		-27.5	1.0
23		-26.5	1.0
24		-25.5	1.0
25		-24.5	1.0
26		-23.5	1.0
27		-22.5	1.0
28		-21.5	1.0
29		-20.5	1.0
30		-19.5	1.0
31		-18.5	1.0
32		-17.5	1.0
33		-16.5	1.0
34		-15.5	1.0
35		-14.5	1.0
36		-13.5	1.0
37		-12.5	1.0
38		-11.5	1.0
39		-10.5	1.0
40		-9.5	1.0
41		-8.5	1.0
42		-7.5	1.0
43		-6.5	1.0
44		-5.5	1.0
45		-4.5	1.0
46		-3.5	1.0
47		-2.5	1.0
48		-1.5	1.0
49		-0.5	1.0
50		0.5	1.0
51		1.5	1.0
52		2.5	1.0
53		3.5	1.0
54		4.5	1.0

Select All
Unselect All

Preview

Contrast

Current

CT

MR

Minimum: -824

Maximum: 3071

Delete unselected images

Add
Remove

Preview size: Small Skip images: Custom

OK Cancel Help

Выбор диапазона сегментации (Thesholding)

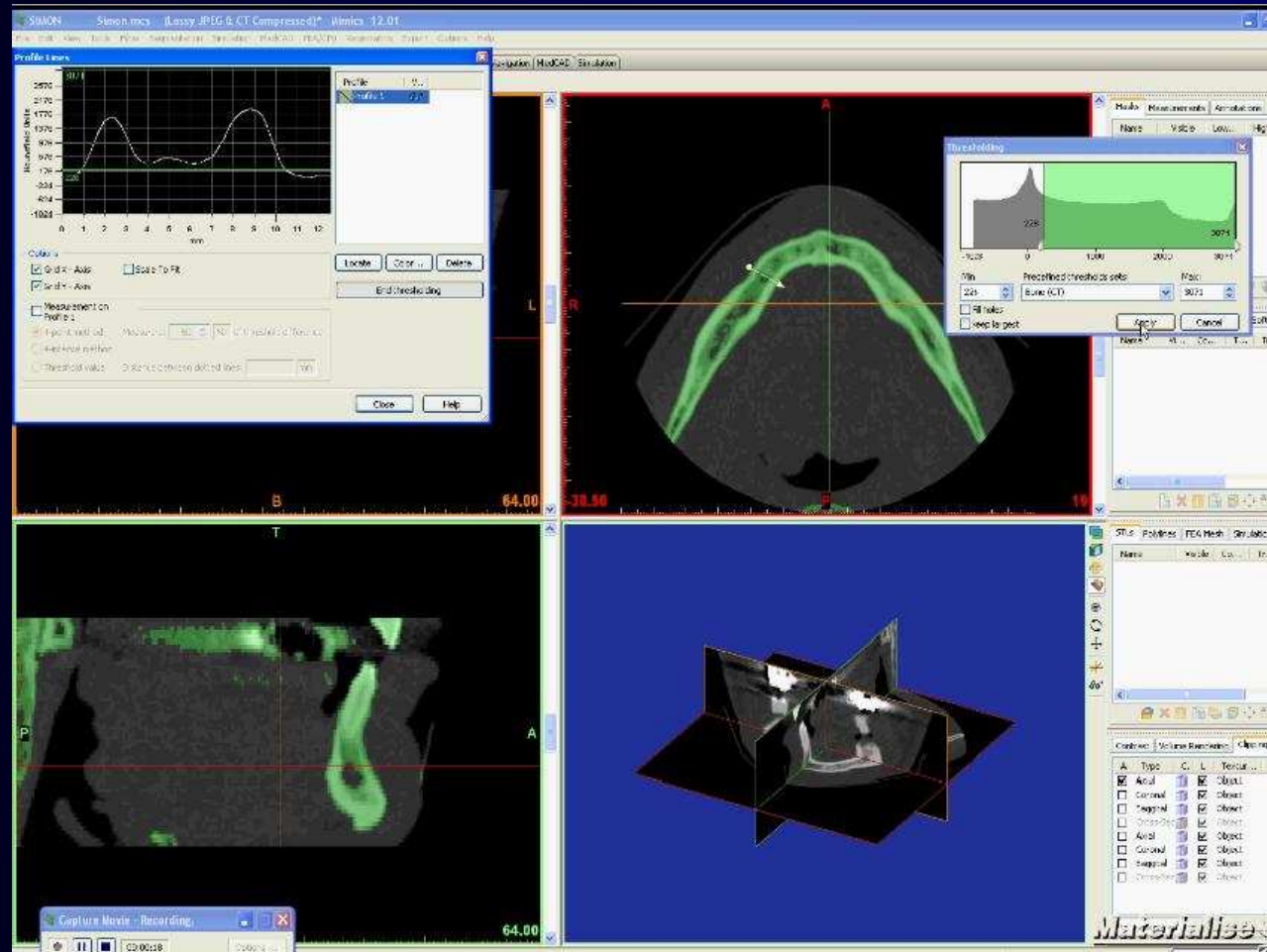
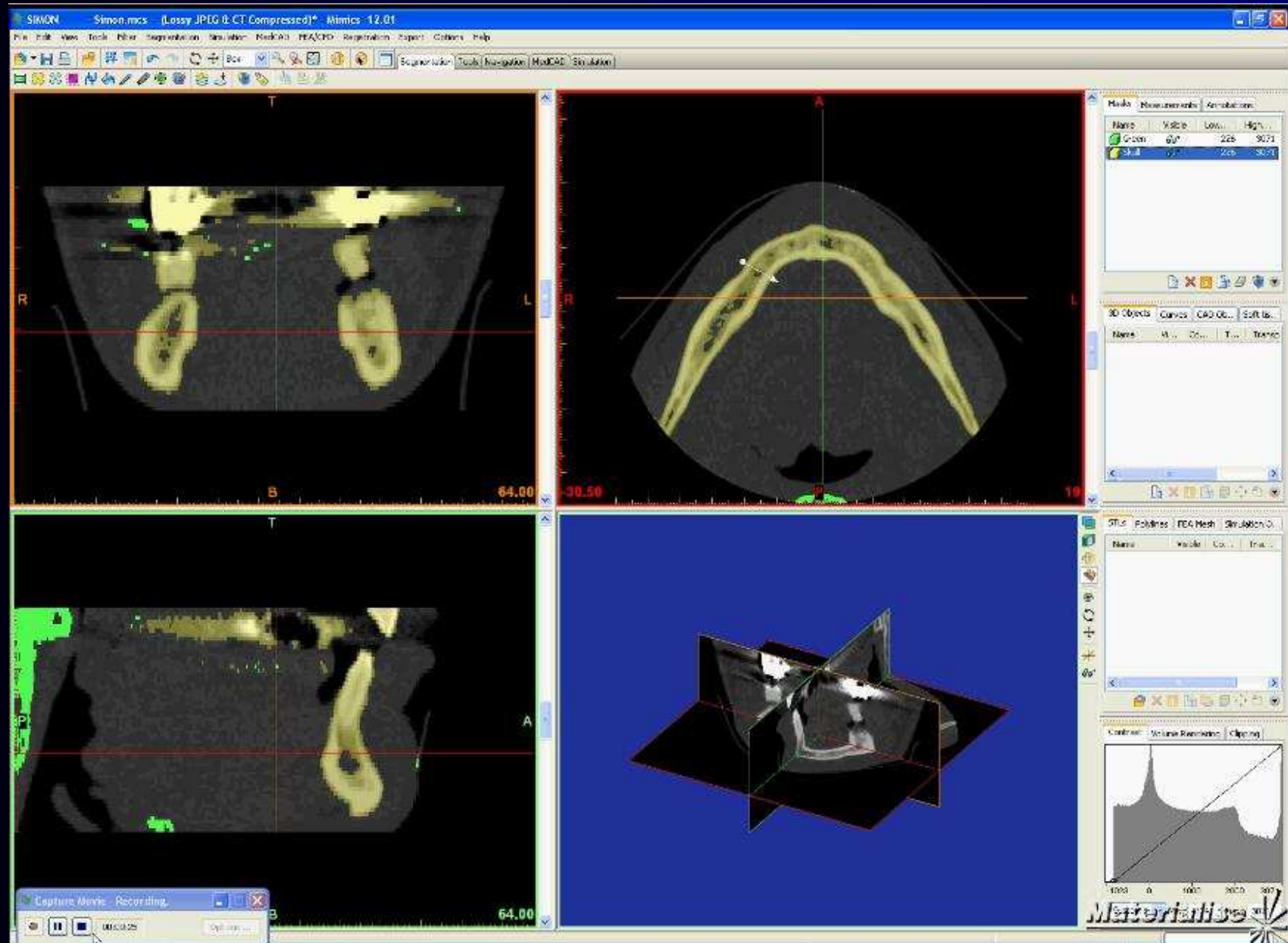


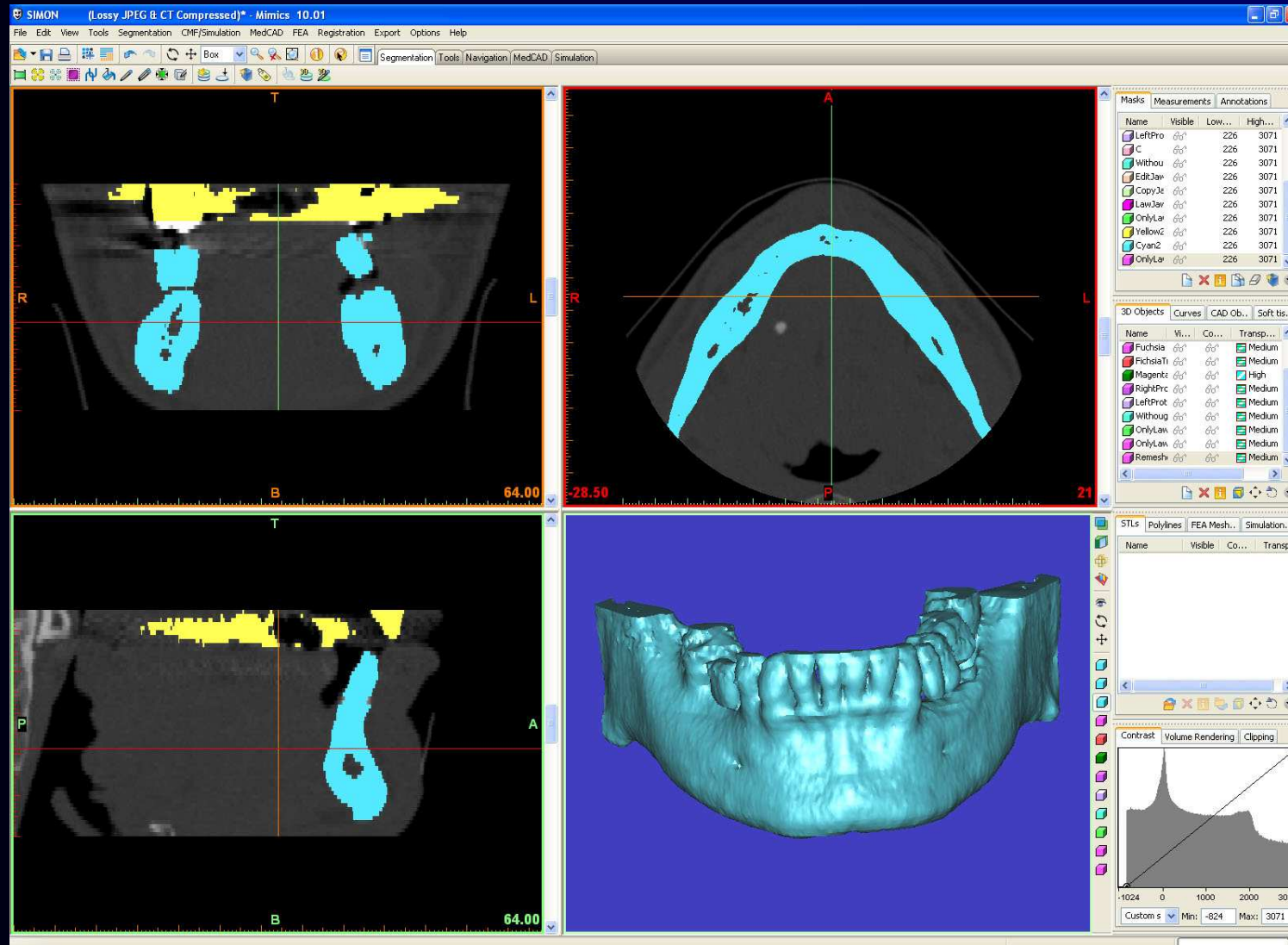
Таблица 1 Диапазон сегментации для различных типов тканей

soft tissue scale	-150 .. 350
bone scale	-1024 .. 1650
narrow scale	-900 .. 1100
wide scale	-1024 .. 2200
MRI scale	-1024 .. -524

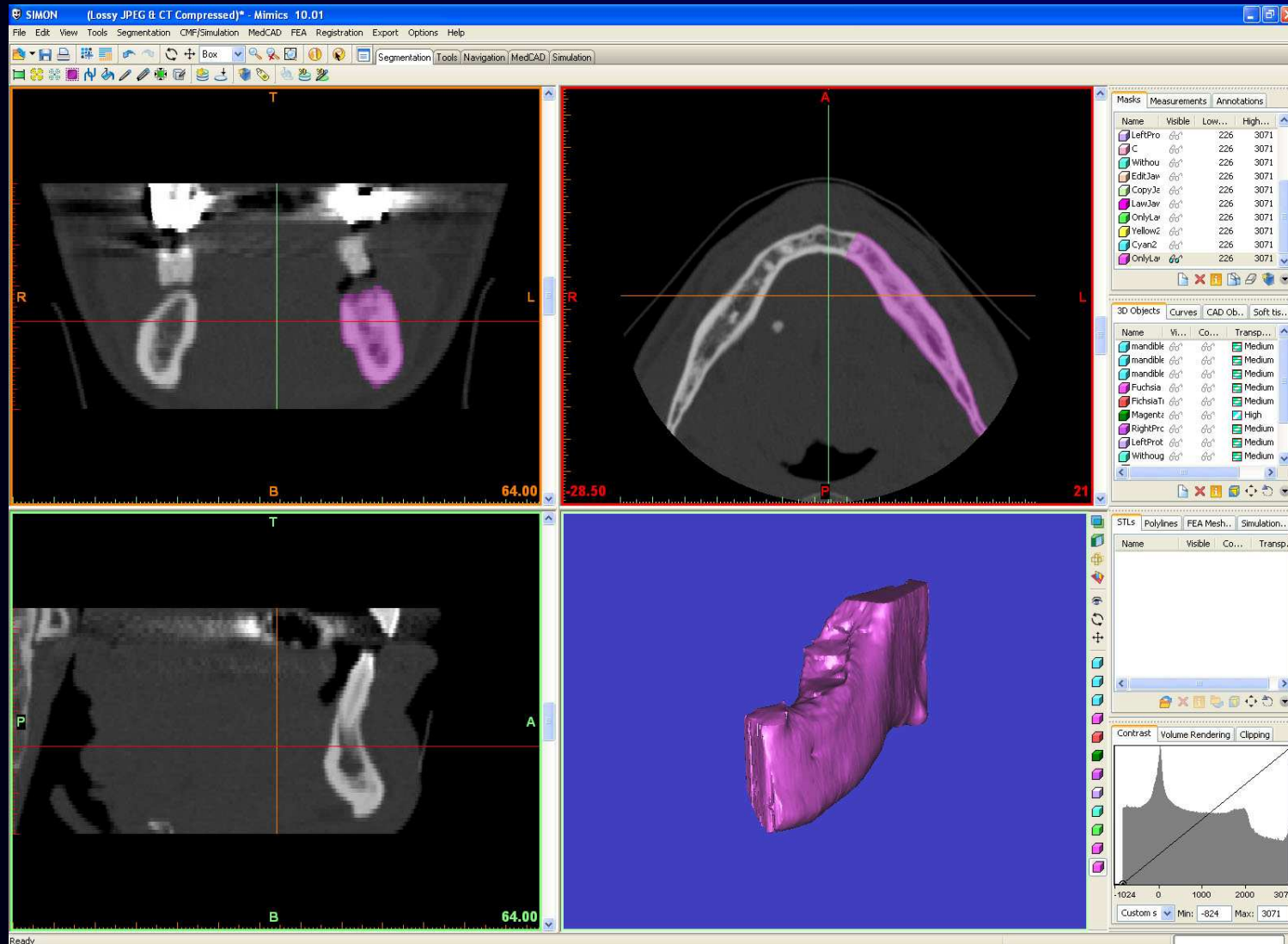
Region Growing



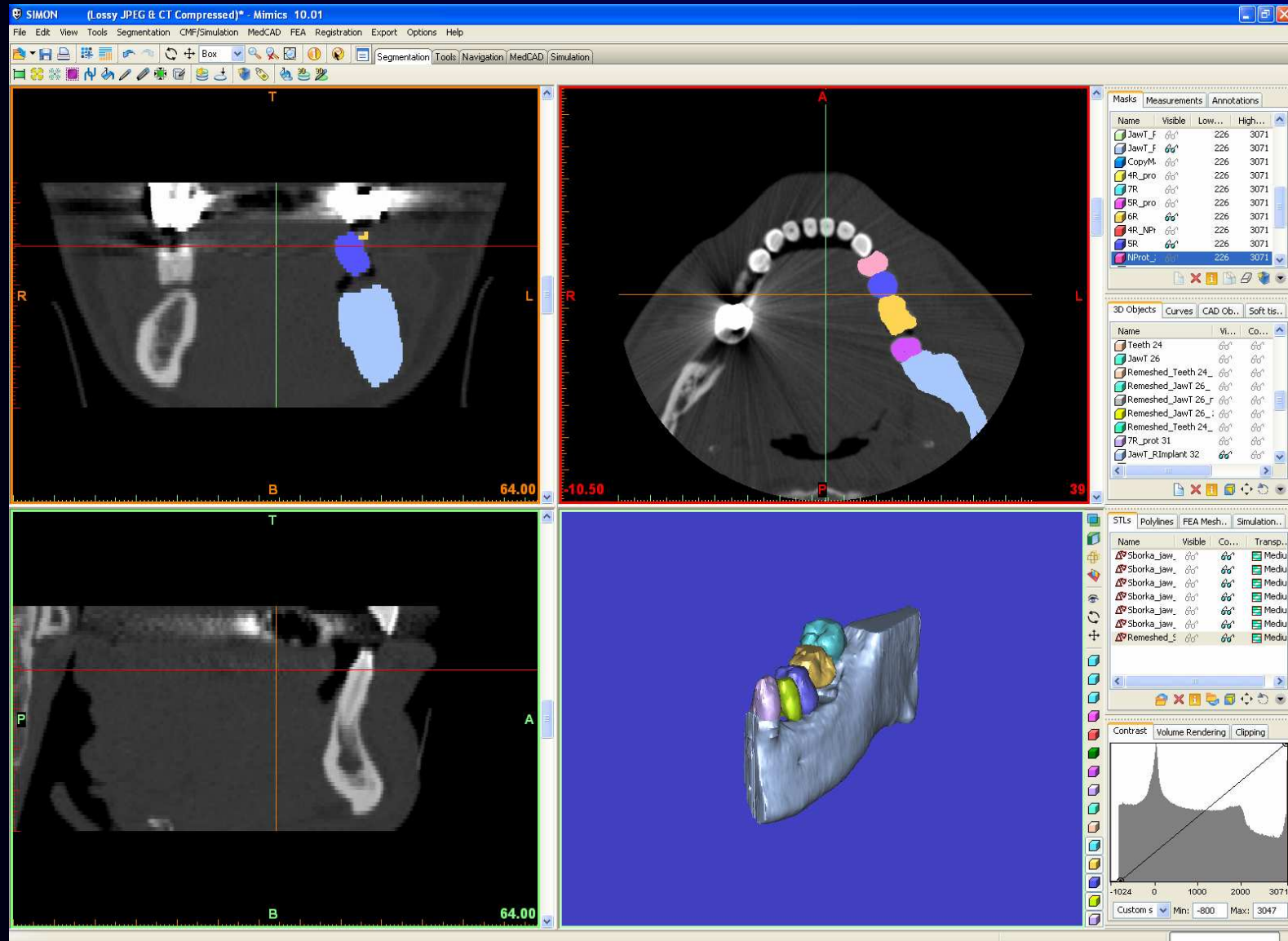
Разделение масок верхней и нижней челюсти и генерация модели нижней челюсти по маске



Получение модели фрагмента челюсти



Получение отдельных масок зубов, челюсти, протеза и генерация трехмерных моделей по маске



Оптимизация поверхностной сетки

Этап 1. Сглаживание (Smooth). Сглаживание глобально; сглаживающий коэффициент: 0,7; число итераций: 3; пропускать плохие ребра; коэффициент сжатия: 0,5. Число треугольников до сглаживания 40788, после 40788.

Этап 2. Редуцирование (Reduce). Метод: ребра; «флип» порогового угла: 15; точность: 0,2; число итераций: 5. Число треугольников до редуцирования 40788, после 13868.

Этап 3. Автоматическая перестройка сетки (Auto Remesh). Порог качества поверхности: 0,4; максимальная геометрическая ошибка: 0,3; сохранять первоначальное качество сетки; число итераций: 4; число итераций перемещения: 1; максимальная длина ребра: 5. Число треугольников до перестройки сетки 13868, после 13960.

Этап 4. Удаление треугольников с сохранением качества (Quality Preserving Reduce Triangles). Метод: ребра; порог качества поверхности: 0,4; максимальная геометрическая ошибка: 0,3; максимальная длина ребра: 5; число итераций: 3; пропускать плохие ребра, удаление треугольников глобально. Число треугольников до удаления сетки 13960, после 10126.

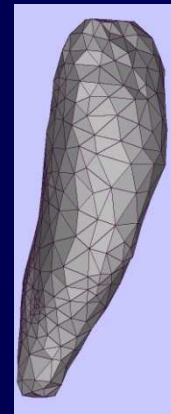
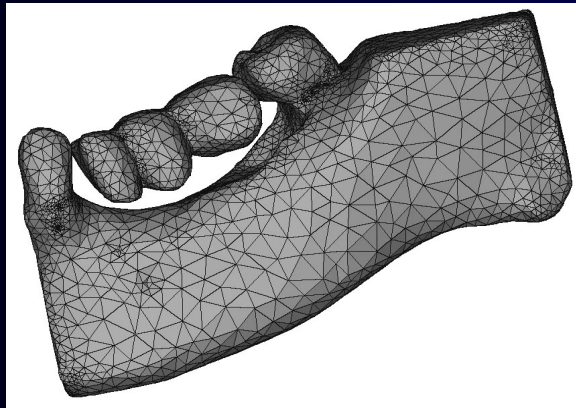
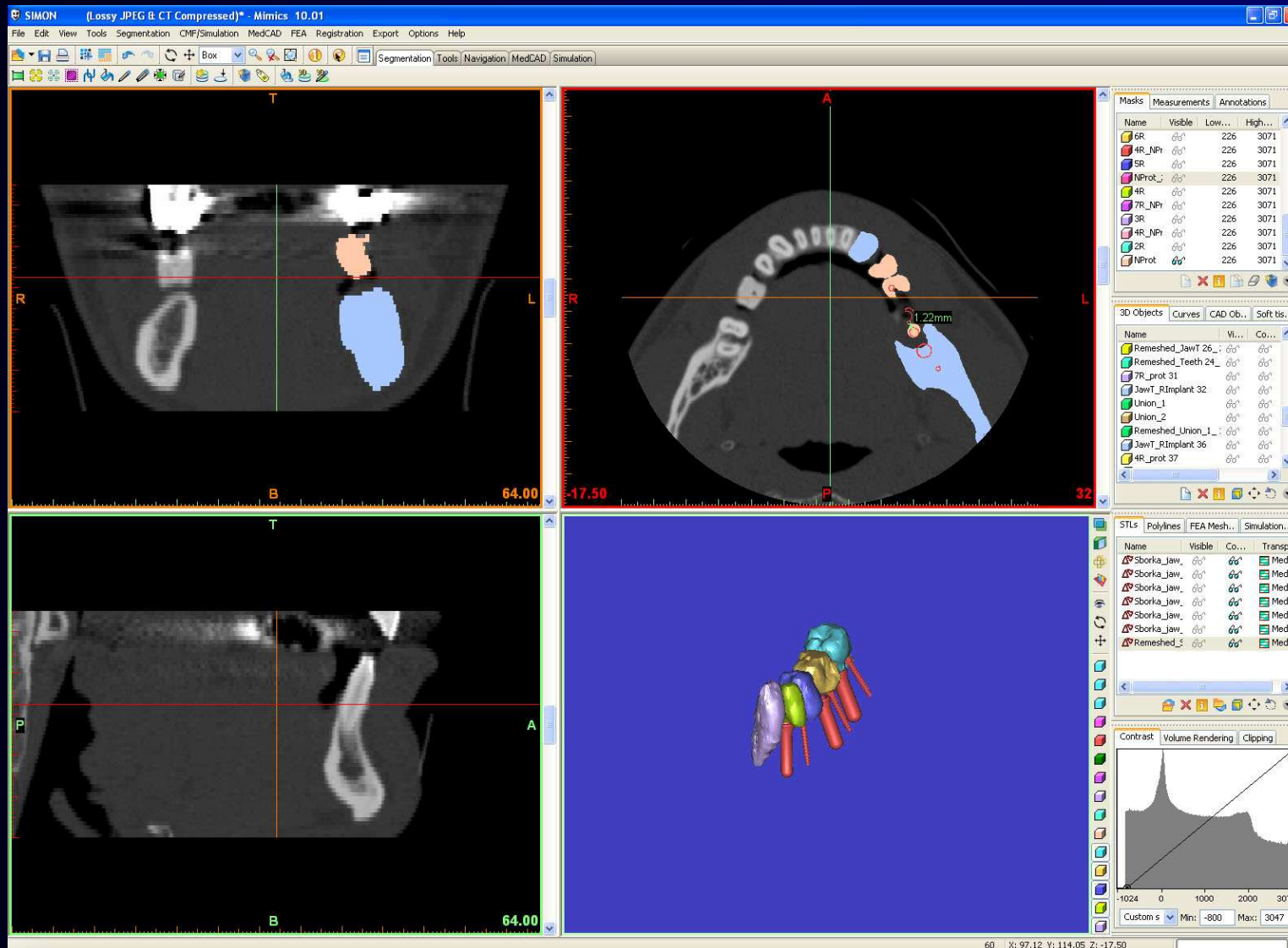
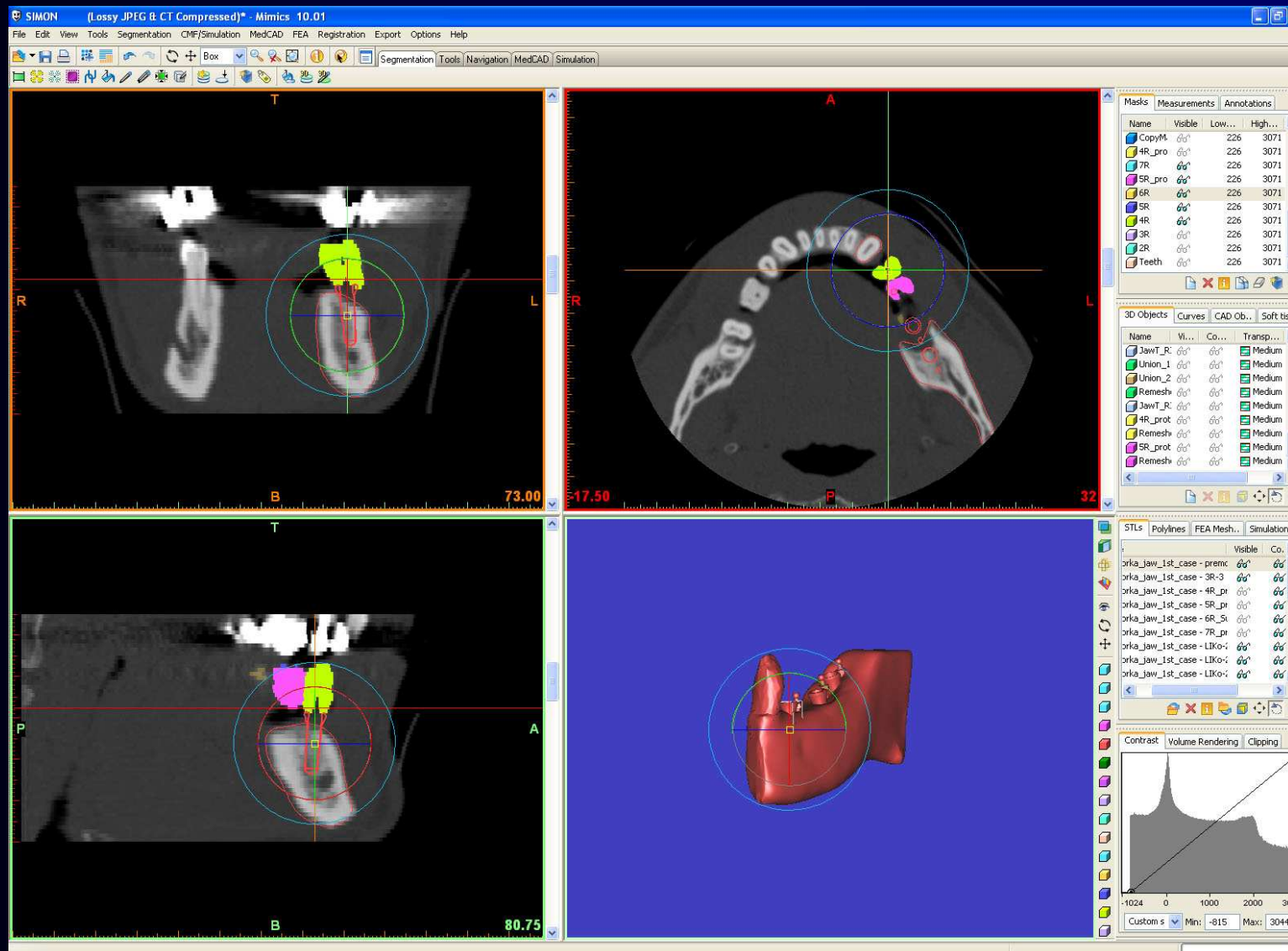


Рисунок 7 – Поверхностная сетка модели после оптимизации: фрагмент челюсти и модель клыка 15

Импортирование имплантатов в формате STL и размещение их в челюсти



Импортирование имплантатов в формате STL из Solid Works и размещение их в челюсти



Получение модели протеза

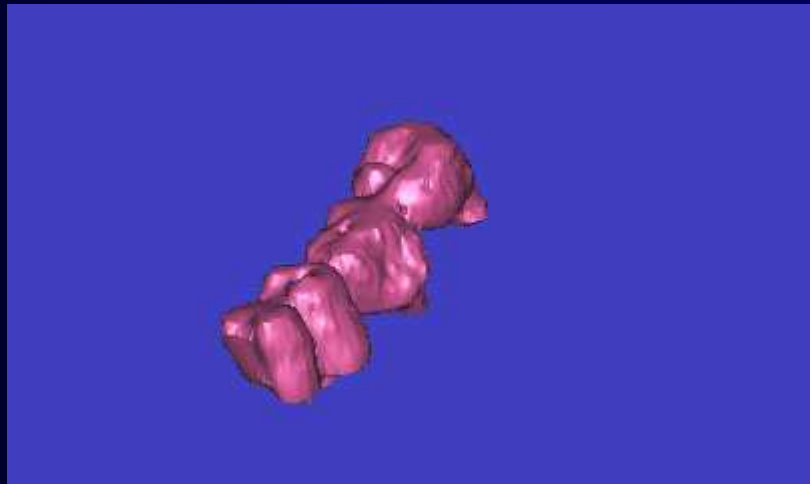


Рисунок 8 – Генерация модели по маске (после объединения масок зубов)

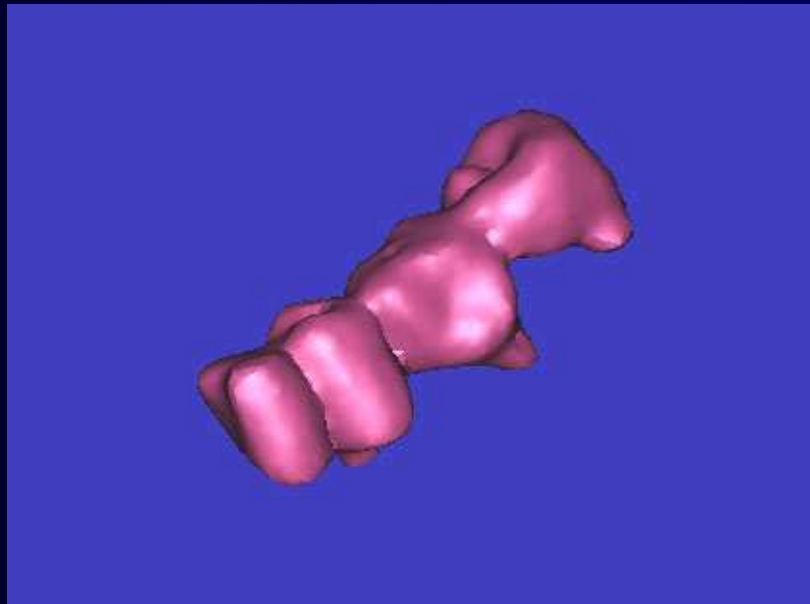
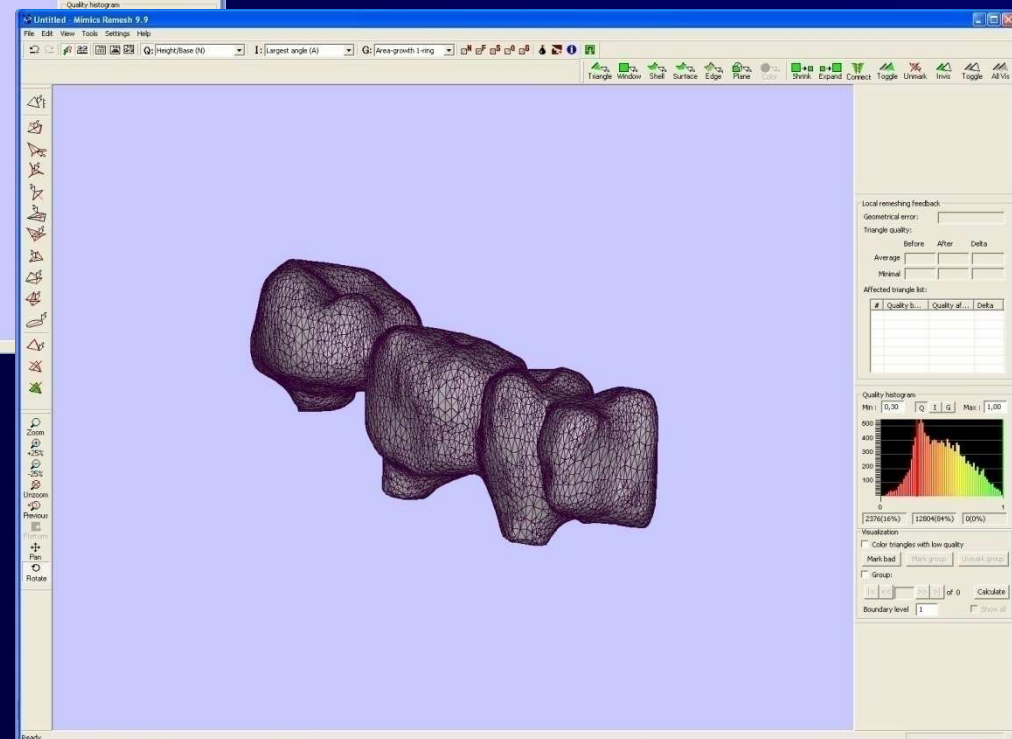
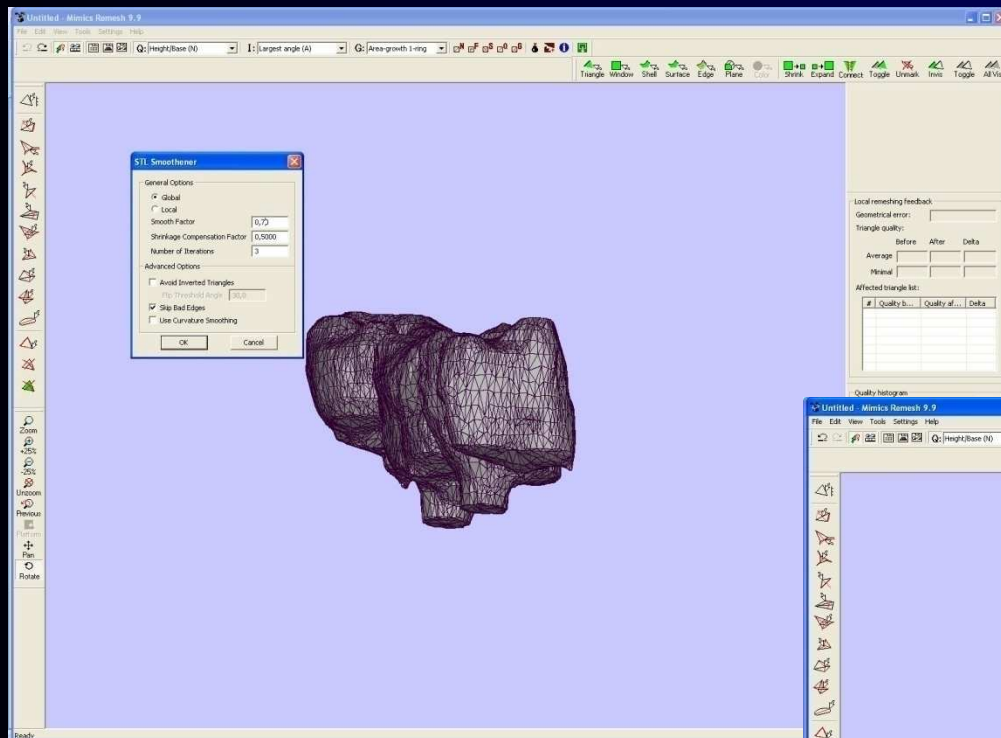
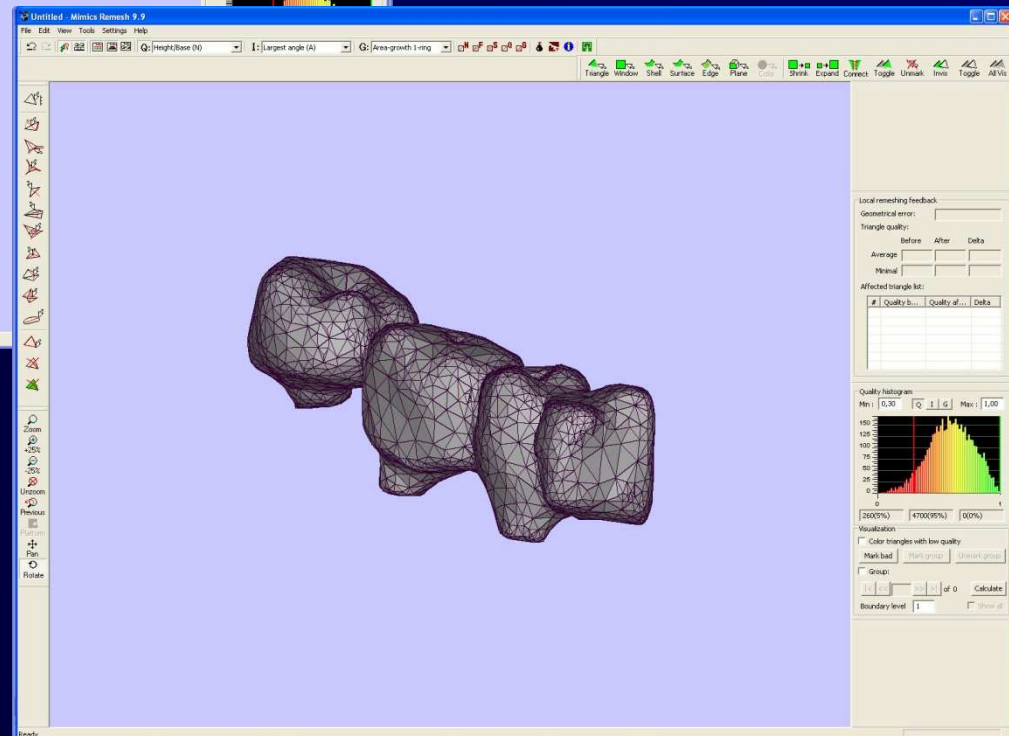
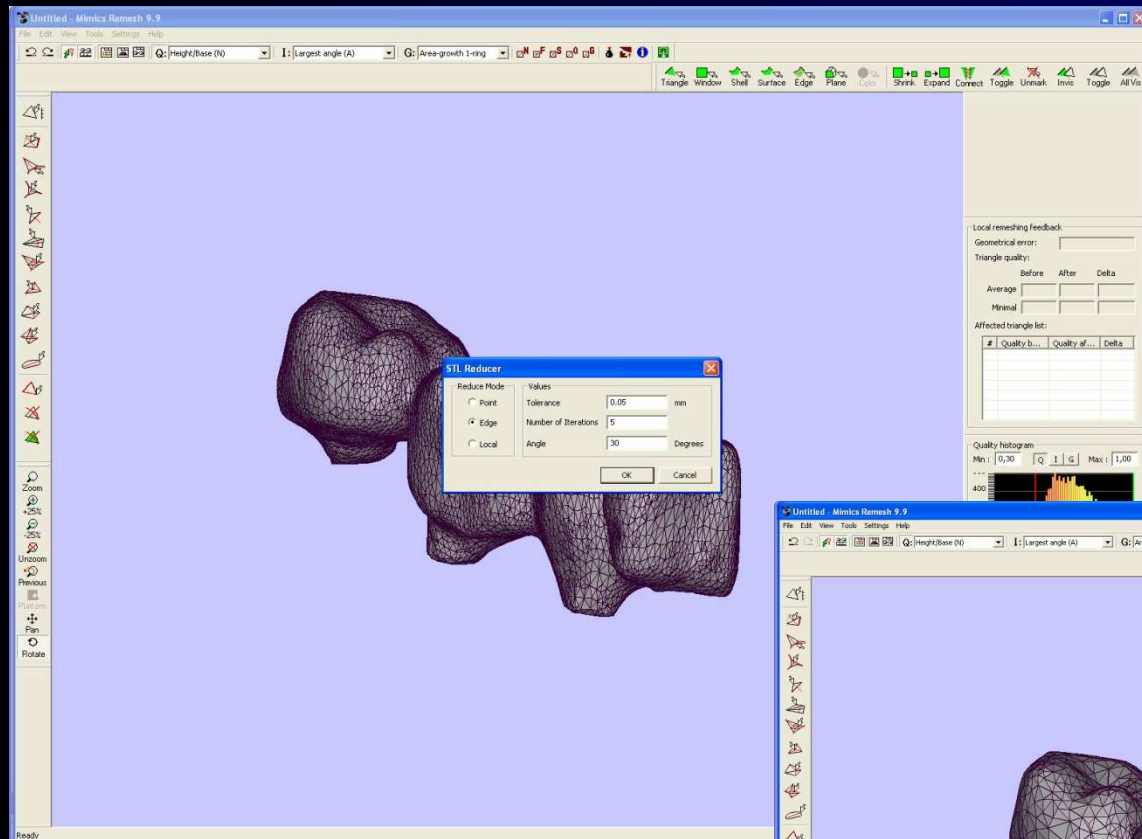


Рисунок 9 – Модель протеза после оптимизации сетки

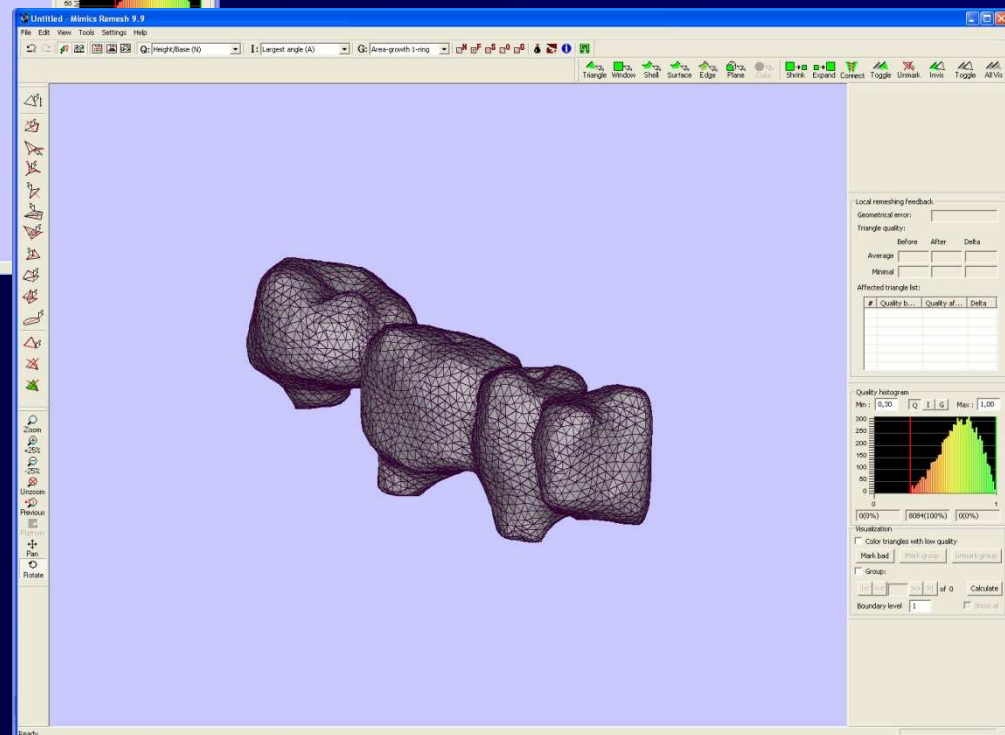
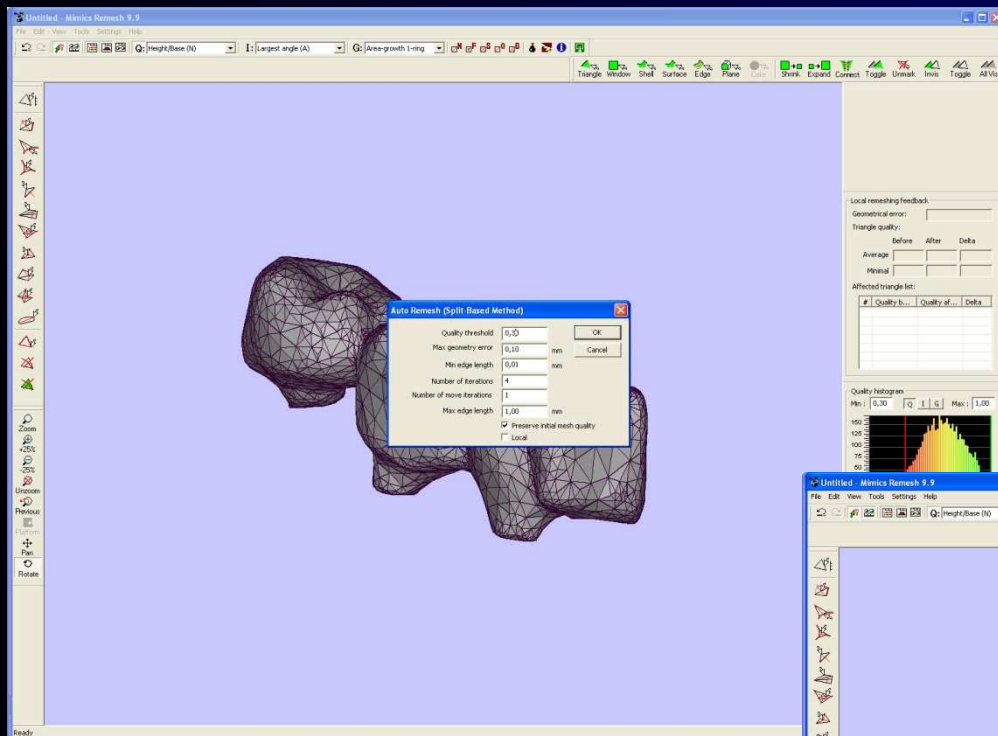
Сглаживание поверхностной сетки протеза



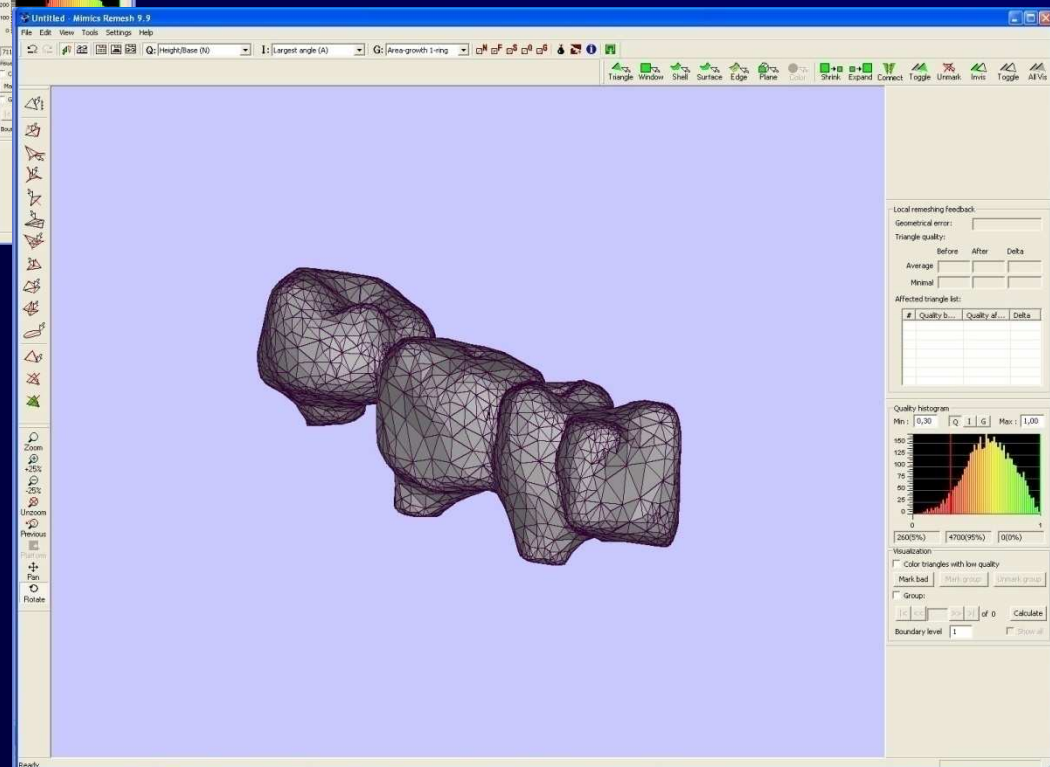
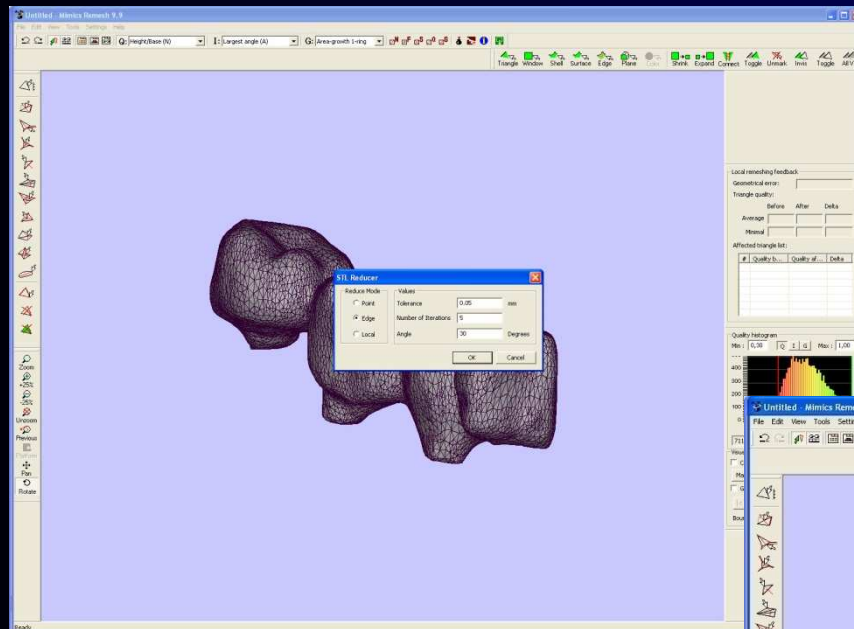
Редуцирование



Перестройка сетки (ремешинг)



Редуцирование треугольников с сохранением качества сетки



Автоматическое восстановление поверхности модели в SolidWorks

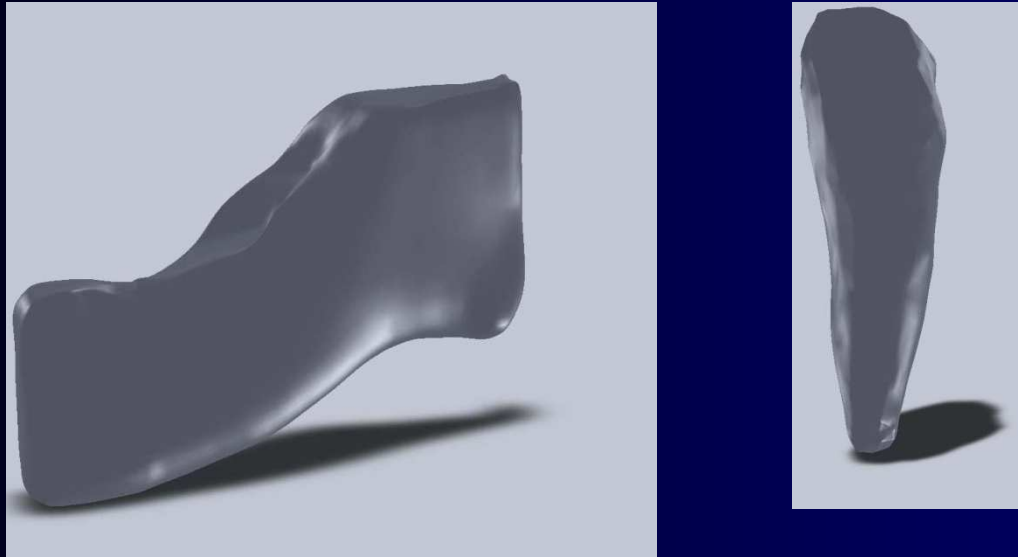


Рисунок 10 – Полученные модели челюсти и клыка

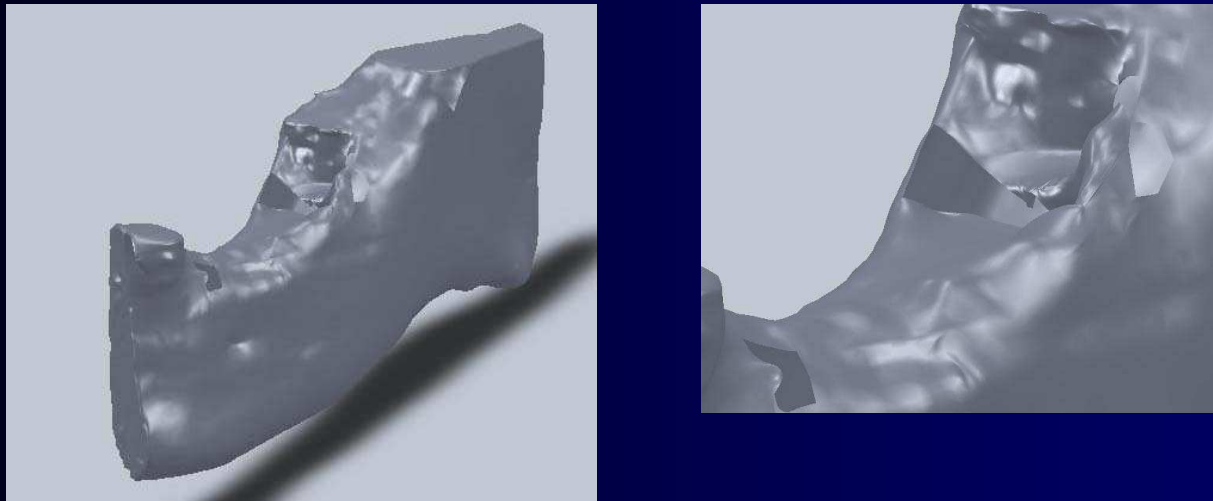
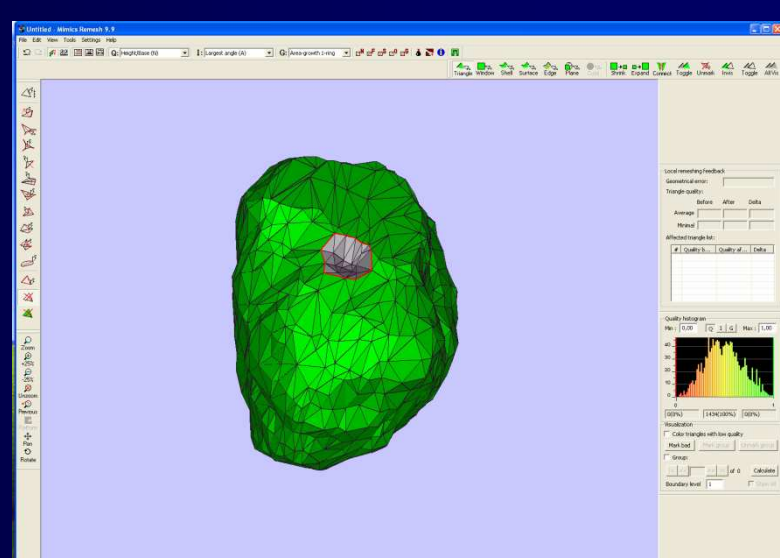
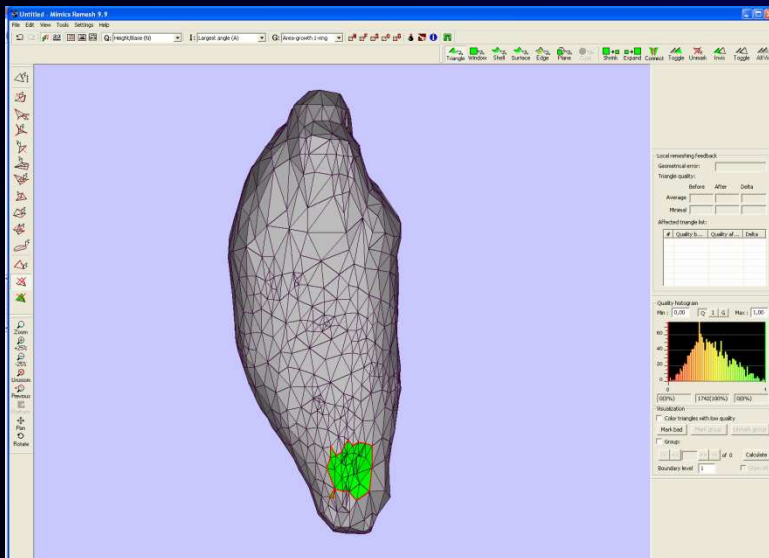
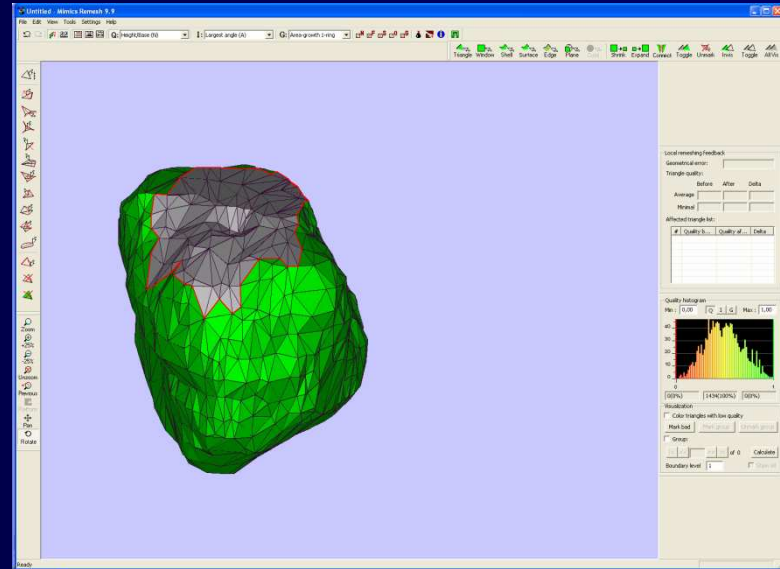
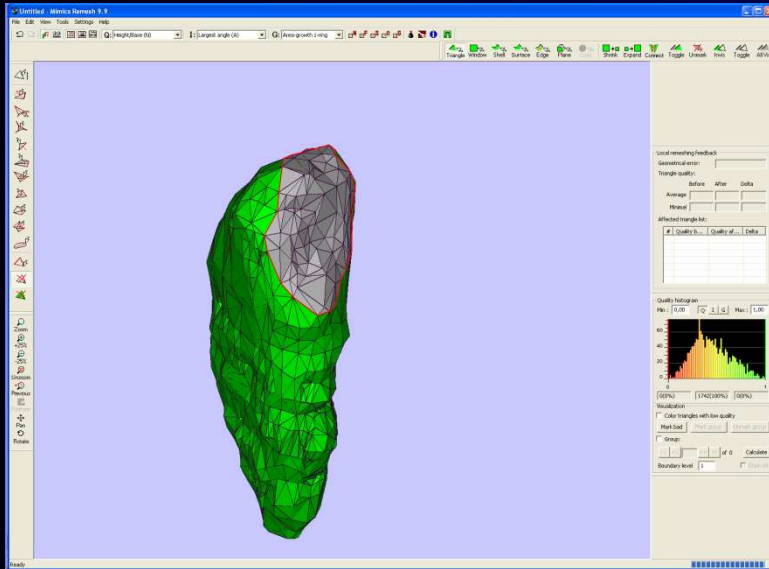
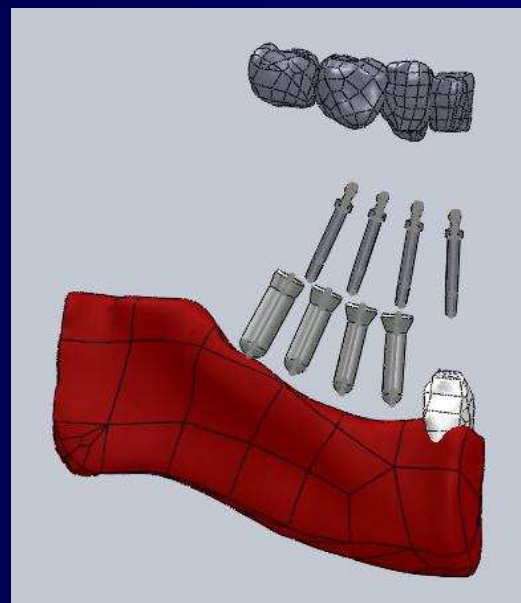
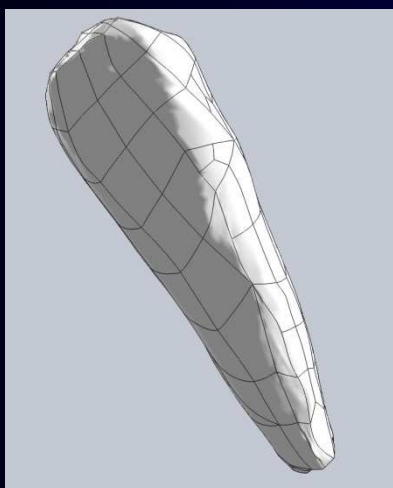
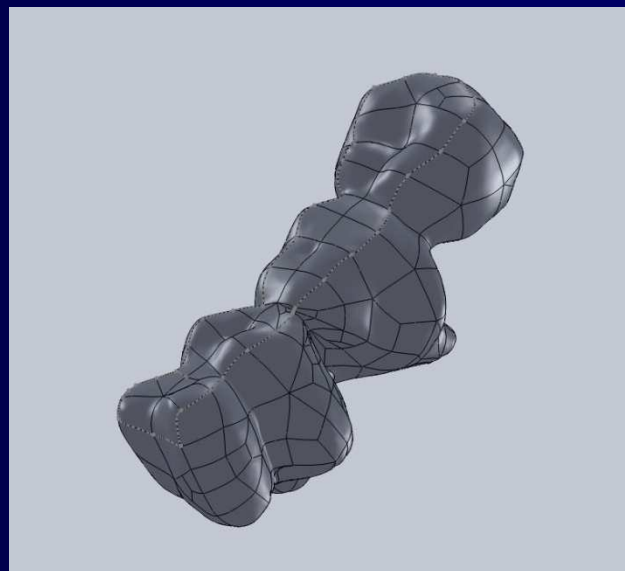
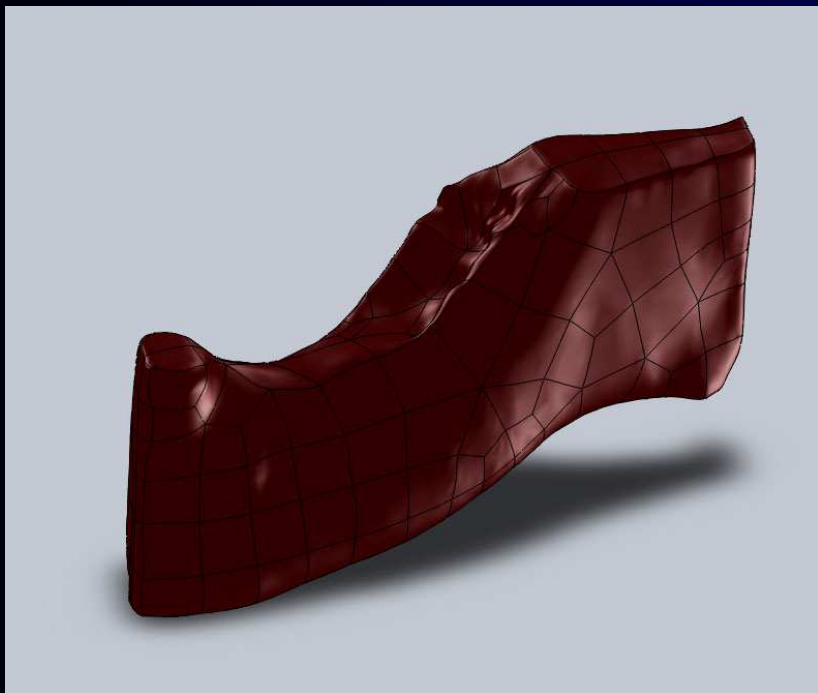


Рисунок 11 – Проблемы восстановления поверхности: «дырки» при восстановлении вследствие некорректной сетки при импорте

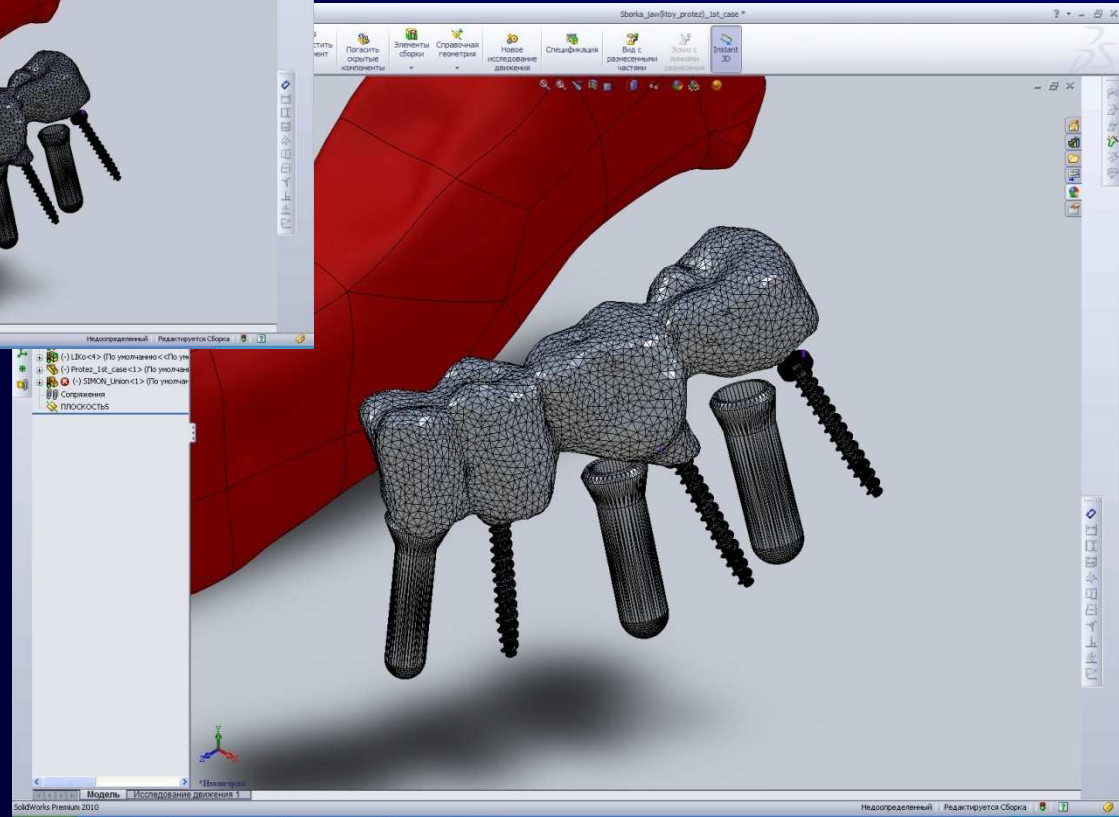
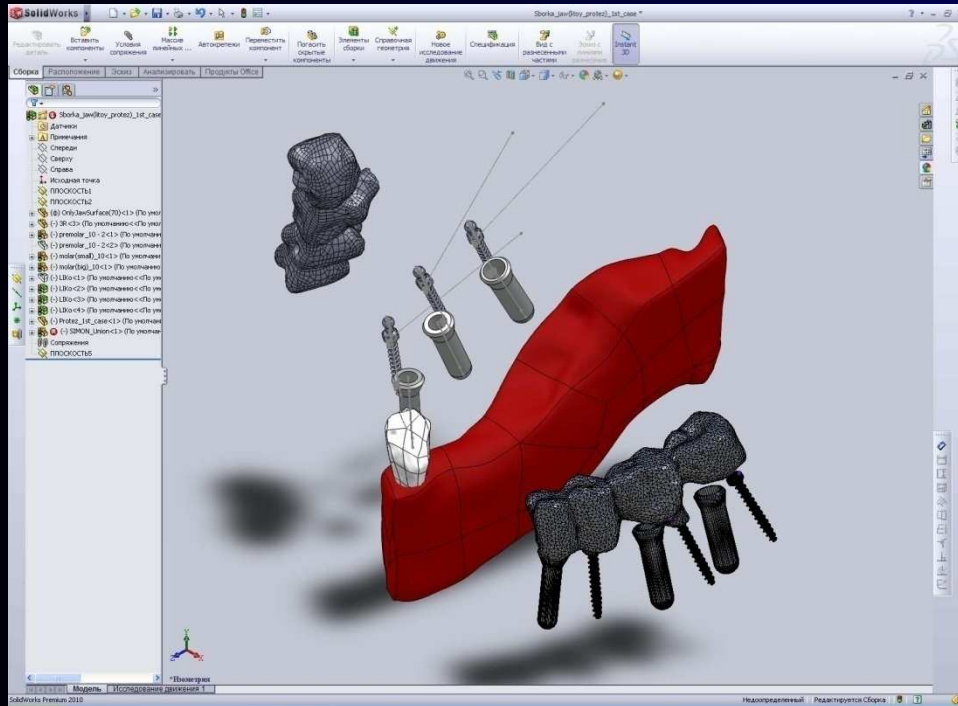
Локальная перестройка сетки в Mimics: локальное сглаживание, удаление ненужных треугольников «в ручную», локальная перестройка сетки



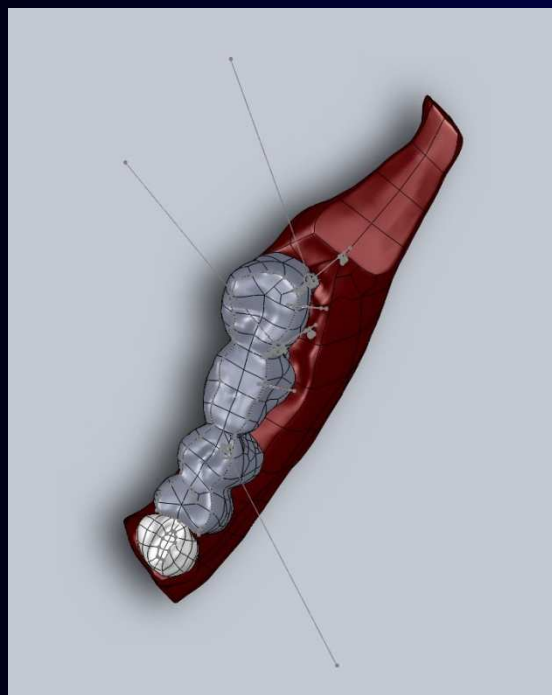
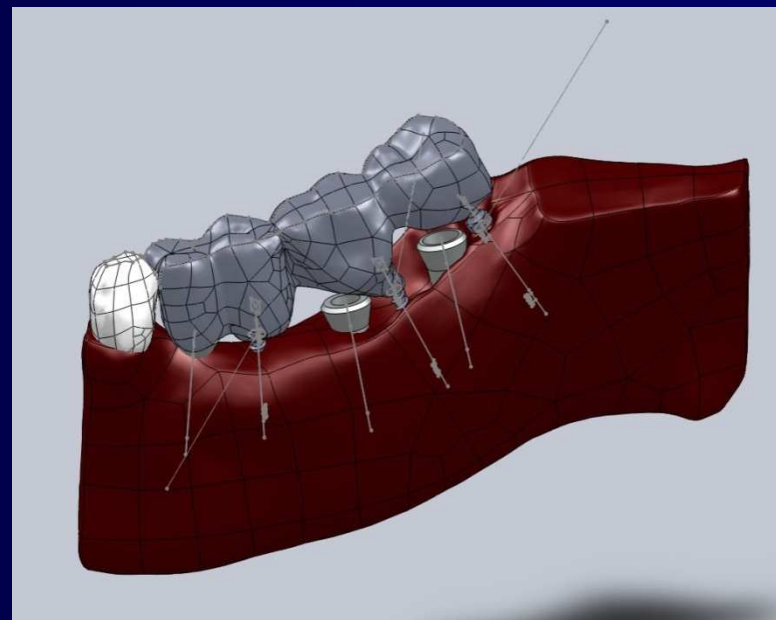
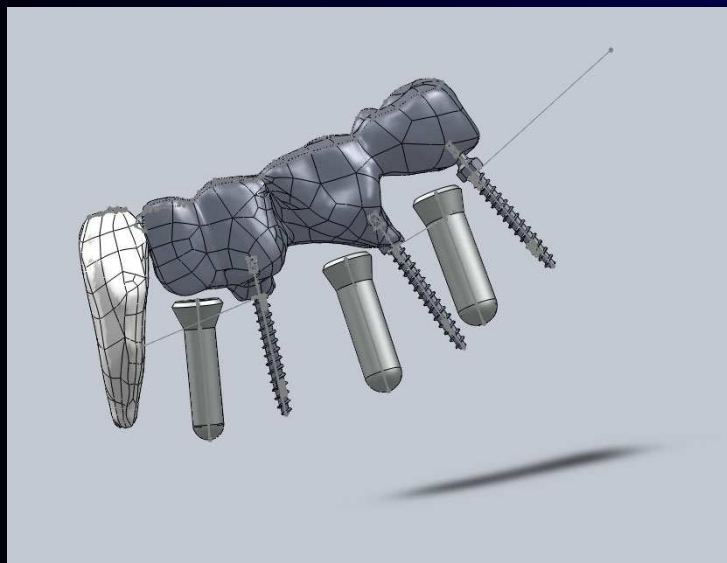
Модели после распознавания формы поверхности по треугольной сетке



Сборка модели в SolidWorks



Готовая модель после установки временных протезов и имплантатов



Сборка модели челюсти в SolidWorks

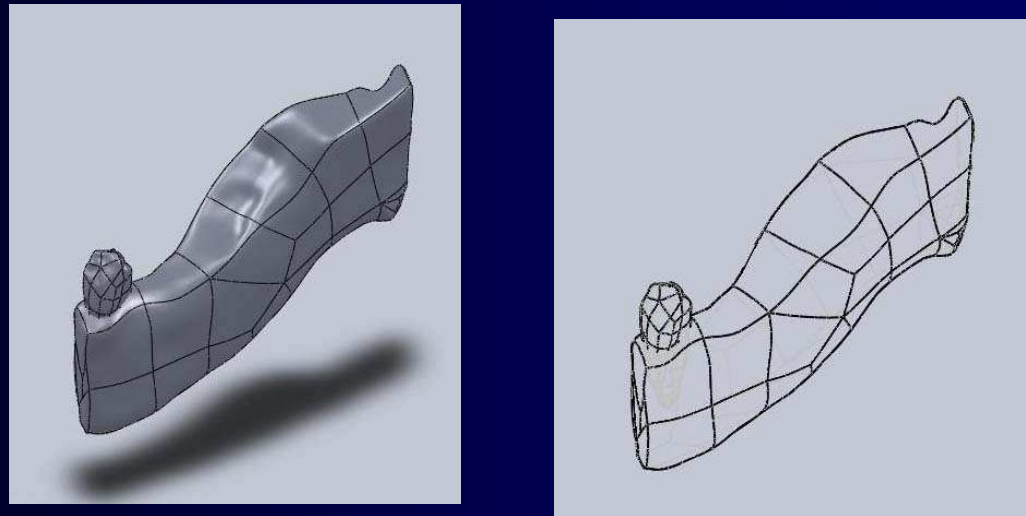


Рисунок 12 – Внешний вид челюсти до лечения

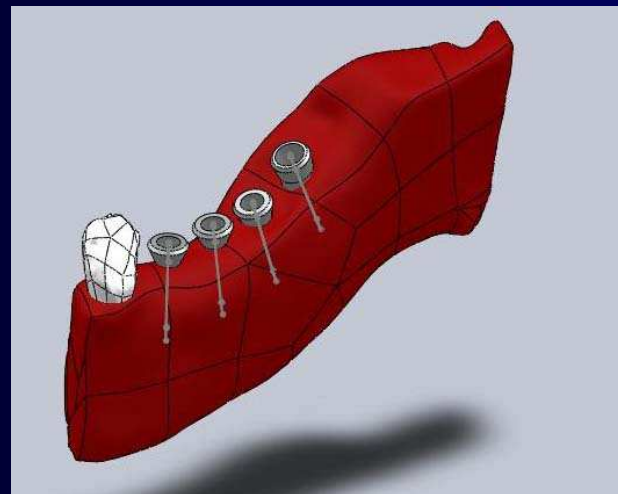


Рисунок 13 – Модель после установки постоянных имплантатов

Варианты расстановки постоянных и временных имплантатов

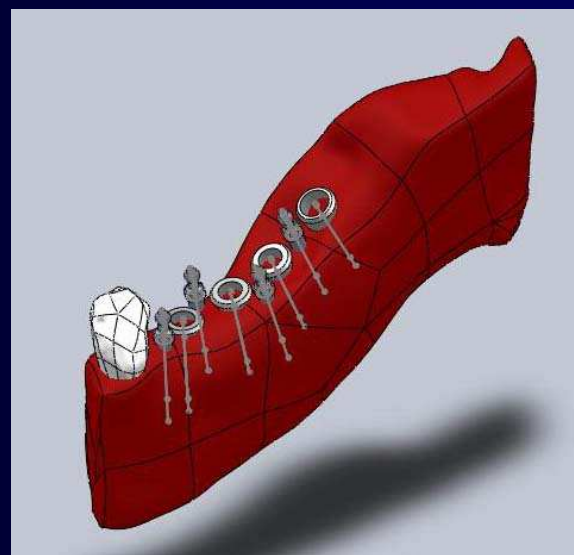
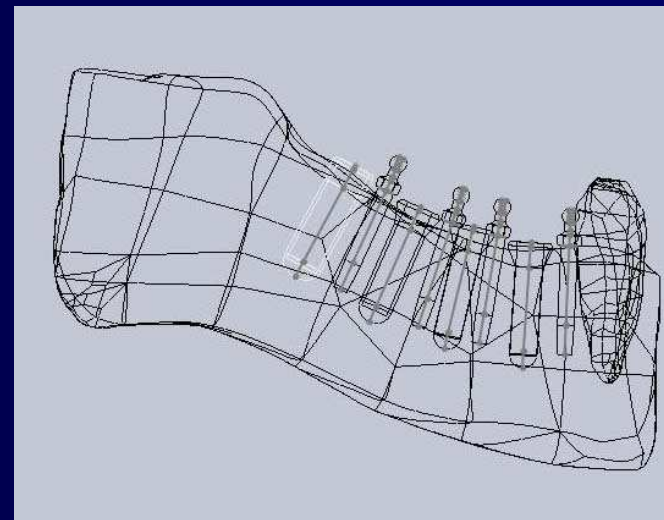
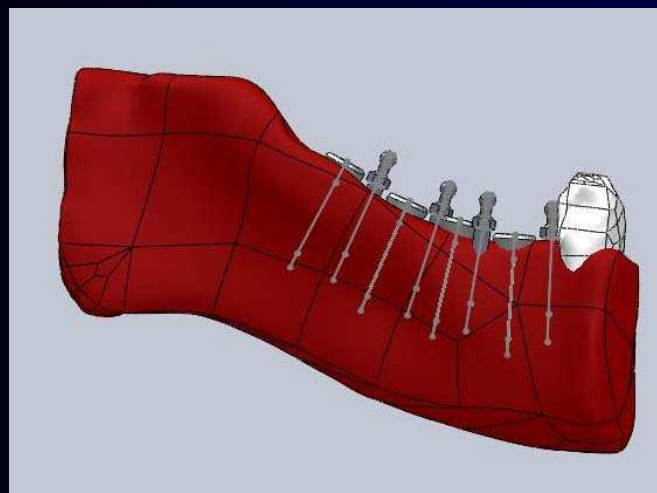


Рисунок 14 – Модель после установки 4-х постоянных имплантатов и 4-х временных

Варианты расстановки постоянных и временных имплантатов

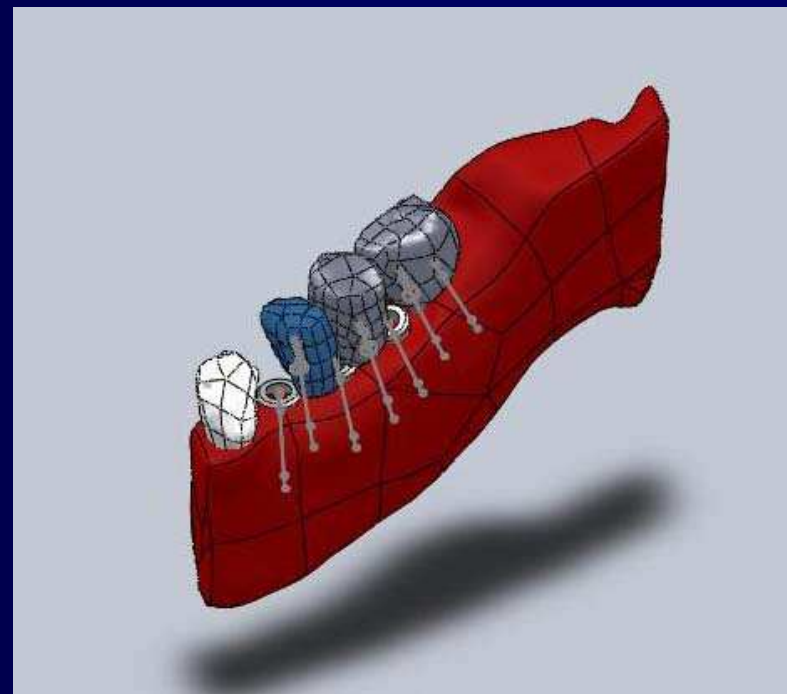
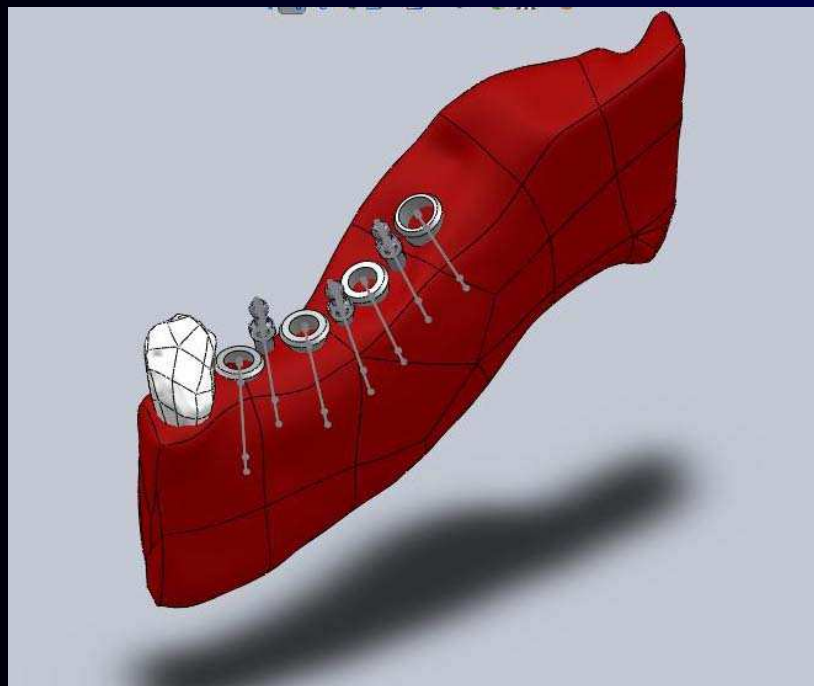


Рисунок 15 – Модель после установки 4-х постоянных и 3-х временных имплантатов

Варианты расстановки постоянных и временных имплантатов

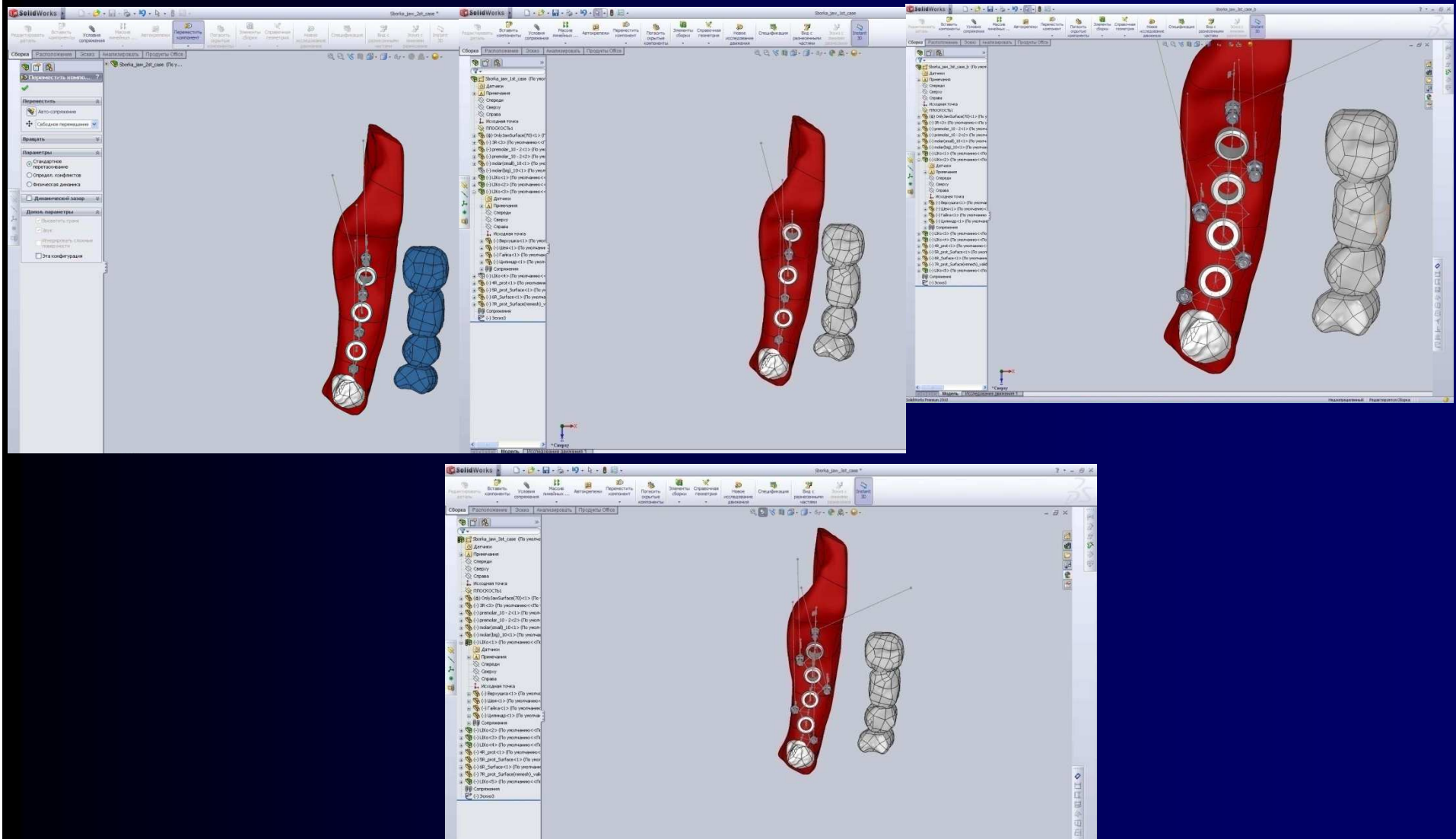


Рисунок 16 – Модель после установки имплантатов: а) 3-х постоянных и 4-х временных; б) 3-х постоянных и 3-х временных; в) 4-х постоянных и 4-х временных (по диагонали); г) 4-х постоянных и 5-ти временных (по диагонали)

Заключение

- Получены геометрические модели лечения концевых дефектов зубного ряда на этапе временного протезирования и имплантации, восстановленные по данным томографических снимков
- Модели предполагается использовать для расчета оптимального расположения постоянных и временных имплантатов в челюсти при оценке прочности конструкции с учетом действия на протез жевательных нагрузок в системе Nastran

Спасибо за внимание!