

УДК 62-408.7+61-617

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФРОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕННОГО ЗУБА С ПОМОЩЬЮ 3 – D ТЕХНОЛОГИЙ

© 2011 С.Р. Абульханов¹, Д.С. Горянинов¹, Н.В. Носов¹, Ю.С. Стрелков²

¹ Самарский государственный технический университет

² Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 10.03.2011

В данной статье рассмотрена возможность построения цифровой модели поверхности трехмерного объекта по его фотографии с помощью современных САМ – систем.

Ключевые слова: математическая модель, поверхность трёхмерного объекта, САМ – система.

В современной технике появился ряд задач, в которых требуется восстановить поверхность трёхмерного объекта по его плоскостным проекциям или по его растровым или векторным проекциям на различные плоскости [1].

В последнее время появился ряд задач в стоматологии, в которых проекции трехмерного объекта задаётся в виде фотографий, выполненных с различных ракурсов. В этом случае плоский снимок содержит информацию об “объёме” детали в виде полутона и цветовой глубины. Глубина объекта в этом случае может быть измерена только в пикселях. В качестве плоских полутонаовых фотографий (проекций) могут выступать фотографии, рентгенограммы, результаты ультразвуковых исследований и т. д.

Восстановление трехмерного объекта по его тоновым проекциям на различные плоскости востребовано в челюстно – лицевой хирургии, в эстетической хирургии и в стоматологии, а также в металлообработке (ювелирное дело) и многих других отраслях экономики России.

Изготовление стоматологических коронок, которые функционально и эстетично размещаются на беззубом участке альвеолярного гребня сразу после первой примерки, возможно только с помощью современных 3 – D технологий. Регенерация утраченной или травмированной костной ткани заданных размеров, формы и ориентации относительно здоровых (нетравмированных) участков кости (в челюстно – лицевой хирургии, в эстетической хирургии) возможно также при

Абульханов Станислав Рафаэлевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и станочные комплексы». E-mail: <http://ask@smagtu.ru>

Горянинов Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». E-mail: tms@smagtu.ru

Носов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения». E-mail: tms@smagtu.ru

Стрелков Юрий Станиславович, студент.

условии создания трехмерной цифровой модели объектов утраченных участков кости, например, по фотографии или рентгенограмме.

Следует отметить, что восстановление цифрового 3–D объекта зуба по его фотографии, не требует точного соблюдения геометрических размеров формы утраченного зуба [2]. В этом случае может быть критичной «ширина» 3 – D объекта, т. е. расстояние между поверхностями зубов, соседствующих с беззубом участком альвеолярного гребня. Допуск на «ширину» цифровой модели зуба может составлять 1 мм, при этом верхняя и нижняя границы отклонений «ширины» должны быть отрицательными. Это означает, что величина «ширины» не может быть не только больше, но и равной расстоянию между зубами, граничащими с беззубым участком [2, 3]. Последнее обстоятельство объясняется тем, что в случае, например, совпадения величин «ширины» коронки зуба и «длины» беззубого участка будет иметь место трение между эмалью здорового зуба и протезом, созданным на основе цифровой 3 – D модели, в результате чего эмаль ближайших зубов будет разрушаться. Величина нижней границы допуска на линейные размеры коронки (протеза), изготовленной с помощью цифровых методов (по фотографии), определена эстетикой результатов протезирования. Это означает, что величина зазора между поверхностью коронки и поверхностями соседних здоровых зубов ограничена только эстетическим восприятием протеза (коронки), т. е. величина зазора в этом случае не должна быть заметна визуально.

Необходимо отметить, что при создании трехмерной цифровой модели поверхности утраченного или больного зуба по его фотографии, максимально возможная точность воспроизведения поверхности зуба целесообразна по эстетическим соображениям со стороны зуба, обращенной наружу, т. е. с той стороны, которая доступна визуальному наблюдению. Та сторона зуба,



Рис. 1. Фрагменты беззубого участка альвеолярного гребня с приживленным в нём имплантатом и установленным в нём абатментом

которая обращена к гортани, недоступна визуальному восприятию, поэтому требования к точности её воспроизведения в цифровой модели менее критичны (рис. 1).

Указанные обстоятельства существенно облегчают задачу воссоздания трехмерной цифровой модели поверхности утраченного зуба, а впоследствии коронки.

Если разрушенный зуб протезируется (восстанавливается) методом имплантации, то его следует сфотографировать после установки и приживления в костной ткани альвеолярного гребня имплантата с установленным в нём абатментом (рис. 1).

Это необходимо по следующим причинам. Конусная наружная поверхность абатмента является технологической базой, относительно которой устанавливается протез – коронка. В случае если коронка закрепляется на абатмент раствором цемента, то коронка зуба ориентируется относительно соседних зубов необходимым образом руками техника до отвердения раствора цемента. В случае, если коронка зуба выполняется из цельной заготовки, выполненной, например, из оксида циркония, то в этой заготовке предварительно выполняют коническое отверстие, поверхность которого впоследствии сопрягается с конической поверхностью абатмента. По этой причине у технико-стоматолога и ортопеда стоматолога не будет возможности скорректировать пространственную ориентацию коронки относительно соседних зубов. Именно поэтому необходима фотография соседних зубов с установленным на беззубом участке альвеолярного гребня абатментом (рис. 1), поверхность которого будет технологической базой для выполняемой, например, из карбida циркония коронки – протеза. Кроме этого после установки и приживления имплантата соседние зубы могут сомкнуться или разомкнуться. Фотография соседних зубов с установленным в приживленный имп-

лантат абатментом позволит воссоздать поверхность коронки – протеза максимально приближенной по своей форме к разрушенному, утраченному зубу с учетом положения соседних здоровых зубов. Вместе с этим синтезированная поверхность коронки – протеза будет иметь размеры, которые позволят коронке касаться в соседних зубов без разрушающих последствий для эмали здоровых зубов.

Предпочтительно устанавливать коронку на абатмент не жёстко путем сопряжения наружной конической поверхности абатмента, установленного в имплантат, и внутренней конической поверхности отверстия в коронке, а путём установки коронки на раствор отвердевающего вещества (цемент). В последнем случае энергия деформации сжатия и изгиба зуба, имеющая место при жевании, рассеивается путём деформирования сопряжений коронка-цемент-абатмент-имплантат-костная ткань альвеолярного гребня. В случае, если имеет место жесткая посадка коронки на абатмент, из цепи диссипации энергии деформирования исключается пара коронка–цемент. Это в перспективе неизбежно приведёт к увеличению величины деформаций в паре костная ткань – имплантат, что станет причиной появления микротрещин и впоследствии костяной мозоли. Увеличение деформаций в паре костная ткань – имплантат происходит потому, что пара костная ткань – имплантат имеет наименьшую жесткость в сравнении с парами: имплантат – абатмент и абатмент – коронка.

После снятия слепков зуба, ортопед в зуботехнической лаборатории изготавливает из пластмассы аналог каркаса будущего мостовидного протеза, который далее сканируется лазерной установкой [4] и конвертируется в цифровое изображение моделируемого каркаса. Цифровая модель поверхности мостовидного протеза позволяет генерировать управляющую программу, позволяющую изготовить на станках с ЧПУ кар-

кас будущего мостовидного протеза с точностью недоступной природе. Таким образом, можно изготовить как одиночные коронки, так и мостовидные протезы любой протяженности. При этом материал каркаса будущего мостовидного протеза не имеет значения. Это может быть титан, оксид циркония и т. д. Материал для снятия слепков – это резиноподобная субстанция (обычно силиконовая масса), которая легко снимается с разрушенного зуба и вынимается изо рта даже после её отвердения, поэтому дискомфорт от этой процедуры у пациента минимальный.

Лазерное сканирование поверхности реплики слепка зуба позволяет перевести форму поверхности утраченного зуба в цифровой вид, что в дальнейшем позволяет не только генерировать управляющую программу для ЧПУ, но и воссоздать утраченные фрагменты зуба. Однако использование лазерного сканера требует удаления разрушенного зуба, кроме того процедура сканирования длительная дорогостоящая процедура, требующая квалифицированного обслуживающего персонала. Целесообразнее использовать восстановление трехмерного объекта по его фотографии. Тем более, что форма зуба обращенная к гортани с эстетической точки зрения не существенна, поскольку она недоступна для визуального восприятия.

Существуют САМ (computer-aided manufacturing – компьютерная поддержка изготовления) – системы, позволяющие с необходимой точностью аппроксимировать каноническими поверхностями некоторую фасонную поверхность детали. В рассматриваемом случае – это поверхность зуба (в первую очередь фронтальный вид). Однако для работы таких САМ – систем необходимо иметь предварительно построенную трехмерную модель объекта в виде чертежей, выполненных в определенном формате, в виде таблиц или в аналитическом виде.

Сложность восстановления утраченного зуба путём использования САМ – пакета 3D Max состоит в том, что программная среда 3D Max не

имеет размерной метрики, т. е. нет возможности указать размеры воссозданного объекта. Такая метрика необходима для того, чтобы модель трёхмерного объекта в виде файла с расширением .max при переформатировании в форматы, например, IGES, STEP, STL и другие, имеющие размерную метрику, располагал некоторой гранью, окружностью или другим объектом, размеры которых были бы известны заранее. Возможны измерения с помощью штангеля или рейсмуса, например расстояния между соседними зубами, а также «высоты» зуба, как это показано на рис. 2.

Учитывая то обстоятельство, что зуб имеет сложную несимметричную поверхность, которая не позволяет выбрать технологическую базу для измерений, невозможно точно определить и тем более измерить «ширину» и «высоту» зуба. По этой причине при восстановлении утраченного зуба в качестве трехмерного объекта имеющего размер, который можно предварительно измерить, был выбран латунный диск диаметром 4 мм и толщиной 1.2 мм. С помощью воска диск приклеивался к поверхности здорового зуба таким образом, чтобы поверхность диска была обращена к оптической оси объектива фотоаппарата по возможности перпендикулярно к оптической оси его объектива (рис. 3).

Большой точности при выставлении диска относительно фотоаппарата не требуется, поскольку единственное существенное требование к фронтальной поверхности восстановленной поверхности утраченного зуба есть эстетическое восприятие. Наличие диска на фотографии, а затем на трехмерном объекте в программной среде 3D Max, и впоследствии присутствие диска в файле трехмерной модели с расширением .iges, .step или .stl позволит привязать цифровую трехмерную модель поверхности зуба к размерам в выбранной системе координат. Следует отметить, что, поскольку диск устанавливают на поверхности зуба по возможности перпендикулярно оптической оси объектива фотоаппарата, то третья координата, характеризующая «толщи-

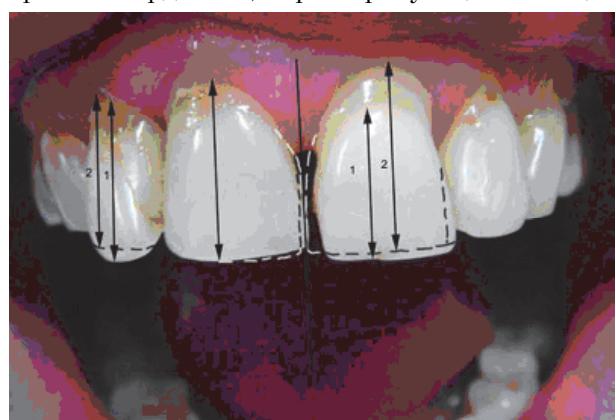
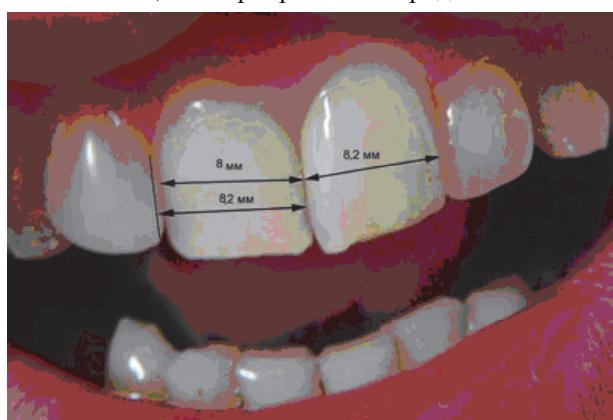


Рис. 2. Измерения «ширины» и «высоты» зуба

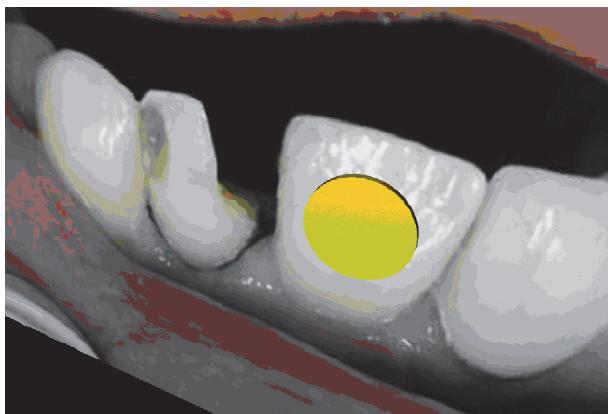


Рис. 3. Фрагмент разрушенного зуба с укрепленным на соседнем здоровом зубе латунным диском известного диаметра

ну» зуба не может определена с помощью диска. «Толщину» трехмерной модели утраченного зуба можно либо назначить, исходя из опыта стоматолога, либо привести в соответствие с «толщиной» соседних здоровых зубов, предварительно измерив её штангелем или рейсмусом. Файлы трехмерной модели в форматах, имеющих размерную метрику, можно использовать в программных средах Solid Works [5], Mastercam [6], и других CAD/CAM системах для генерирования управляющих программ станков с ЧПУ. Использование такой управляющей программы позволит изготовить на станках с ЧПУ коронку или мост, фронтальная поверхность которого будет соответствовать поверхности утраченного или частично разрушенного зуба.

Повысить достоверность трехмерной модели поверхности разрушенного зуба, как на рис. 3, возможно, если иметь фотографии разрушенного зуба, выполненные с разных ракурсов, но с присутствием на фотографии предметов, имеющих известные геометрические размеры [79]. В этом случае созданная трехмерная модель зуба будет иметь поверхность идентичную поверхности разрушенного зуба со всех ракурсов, включая вид со стороны горлани.

На рис. 4 представлены этапы восстановления утраченной поверхности разрушенного зуба по его фотографии с использованием программной среды Autodesk 3ds Max [10].

На рис. 4а видно, что зубы, соседствующие с беззубым участком альвеолярного гребня имеют на своей фронтальной поверхности вертикальные бороздки, придающие зубу индивидуальность и фактуру натуральности. В настоящее время бороздки фронтальной поверхности зуба выполняют при полировке поверхности после механической обработки коронки (рис. 5).

На поверхности трехмерной модели утраченного или частично разрушенного зуба, полученной в программной среде 3D Max [10], можно

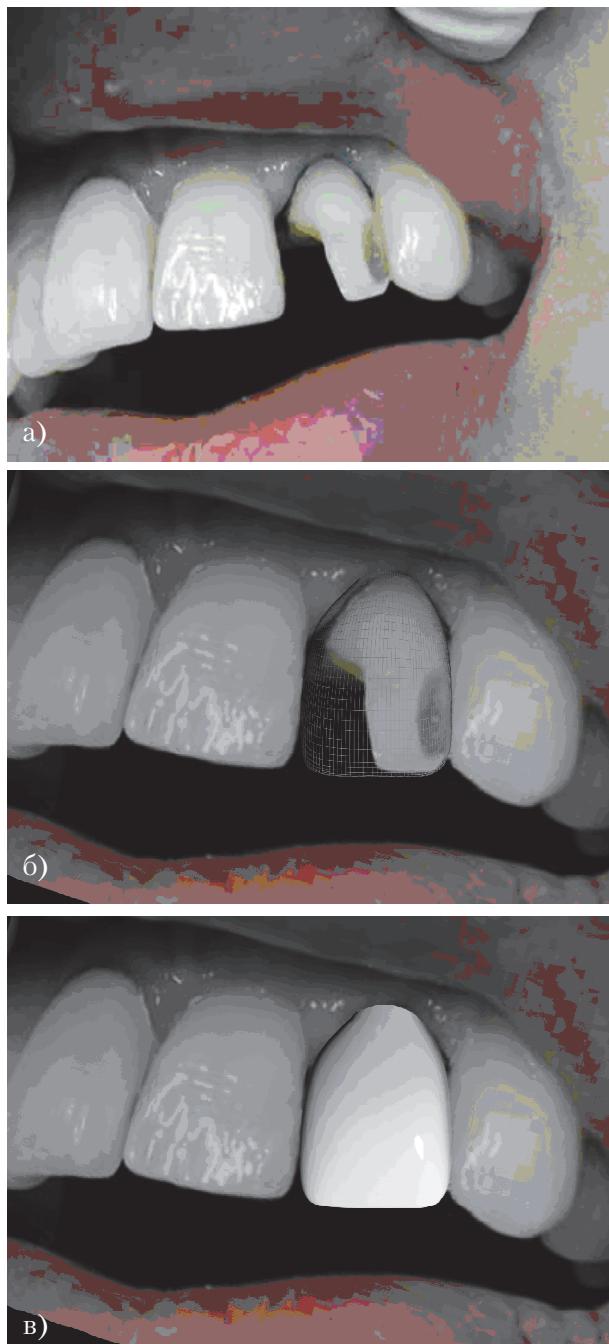


Рис. 4. Этапы восстановления поверхности разрушенного зуба:

а – разрушенный зуб; б – восстановление фрагмента утраченной поверхности зуба с помощью полигональной модели; в – воссозданная поверхность разрушенного зуба

выполнить бороздки любой формы, периодичности, направленности, глубины и т. д. Современное развитие САМ – систем и станочного оборудования с ЧПУ позволяют без существенного увеличения трудоёмкости обработать поверхность практически любой трехмерной модели и получать поверхность коронки с любым макрорельефом (рис. 6).

По этим причинам представляется целесообразным выполнять бороздки на фронтальной поверхно-

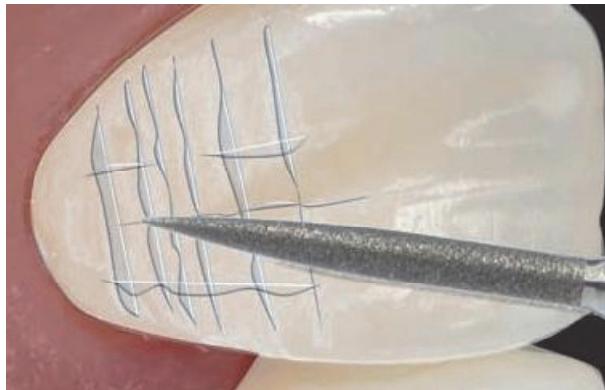


Рис. 5. Изготовление макрорельефа на поверхности коронки с помощью ручного инструмента

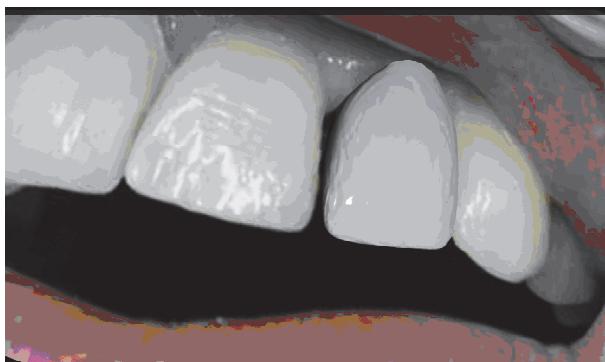


Рис. 6. Поверхность коронки с воссозданным макрорельефом поверхности утраченного зуба

сти коронки во время её мехобработки на станке с ЧПУ, а затем осуществить полировку поверхности.

На рис. 7 показан вид сверху зуба, значительная часть которого разрушена кариесом. Остатки от них не позволяют восстановить поверхность утраченных зубов. Утраченные фрагменты поверхности разрушенного зуба могут быть воссозданы путем использования не пораженных кариесом участков поверхности разрушенного зуба и поверхности соседнего с разрушенным зубом.

Использование программной среды 3D Max [10] в этом случае поможет воссоздать модель трехмерной поверхности, которая не будет идентичной поверхности утраченного зуба, но с точки зрения эстетического восприятия трехмерная модель зуба будет приемлемой (рис. 8).

На рис. 8 показан первый этап воссоздания поверхности зуба, не разрушенной кариесом, затем отсутствующие фрагменты поверхности разрушенного зуба воссоздаются таким образом, чтобы новые поверхности максимально соответствовали стилю соседних и утраченного зуба. Рядом с воссозданной трехмерной моделью разрушенного зуба показана прозрачная поверхность, представленная в виде полигонов, являющихся инструментом пользователя программным пакетом 3D Max [10] при изменении формы



Рис. 7. Вид сверху зуба, поверхность которого разрушена кариесом

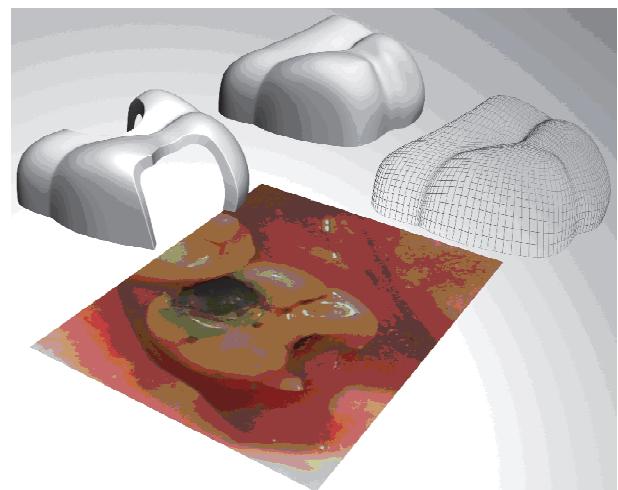


Рис. 8. Этапы создания трехмерной модели поверхности разрушенного зуба по его фотографии

трехмерной модели зуба.

Воссоздать трёхмерную модель поверхности утраченного зуба по фотографии возможно не только в программной среде Autodesk 3ds Max [10], но также в программных средах, имеющих различную степень дружелюбности интерфейса по отношению к пользователю, среди которых можно указать Strata Foto 3D [7], ZBrush [8], Sculpturer [9], Maya [11] и многие другие. Некоторые из указанных пакетов программ, например ZBrush [8], Sculpturer [9], предоставляют возможность моделирования поверхности утраченного зуба на планшете с помощью «стило». В этом случае экономится время на разработку трехмерной модели, а также не требуется высокая квалификация оператора стоматолога.

В связи с этим следует также отметить, что воссоздание трехмерной модели поверхности разрушенного зуба можно провести также в средах программного продукта фирмы АСКОН [12], а также Solid Works [5]. Восстановление трёхмерной модели поверхности разрушенного зуба осуществляется в этом случае с помощью сплайнов. Работа с данным математическим аппаратом требует определенной математической квалифика-

ции оператора, работающего с подобными программными пакетами [5, 12].

ВЫВОДЫ

1. Использование программных средств при воссоздании поверхностей частично или полностью разрушенных зубов позволяет существенно уменьшить время изготовления коронок зубов, а также существенно повысить точность изготовления протезов зубов.

2. Существует большое количество программных средств, с помощью которых можно воссоздавать поверхности по одной фотографии трёхмерного объекта или по его фотографиям, выполненным с разных ракурсов.

3. Существуют программные продукты, позволяющие не только воссоздавать трехмерную модель поверхности по его проекциям, но и редактировать форму поверхности модели оператору, не имеющему высокий уровень подготовки.

4. Программные продукты, воссоздающие поверхности трехмерных объектов по их фотографии, в сочетании с современными CAD – системами обеспечивают изготовление стоматологических протезов (коронок, мостов и т. д.) с точностью, не доступной природе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вежневец В. Задача восстановления формы объекта по закраске (shape from shading) // Компьютерная графика и мультимедиа. 2004. Вып. № 2 (1). URL: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/59> (дата обращения 14.02.2011).
2. Ряховский А.Н. Цифровая стоматология. М.: ООО

- "Авантис", 2010. 282 с.: ил.
3. Verum medi. Стоматология. Методы планирования и моделирования оперативных вмешательств и прогнозирование полученных результатов. URL: <http://headstudia.com/?p=19> (дата обращения 15.02.2011).
4. Бойер Ф., Райнер Л., Шмидт. Техника CAD/CAM [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dentalmechanic.ru> (дата обращения 10.02.2011).
5. Официальный сайт Solid Works. URL: <http://www.Solidworks.ru> (дата обращения 10.02.2011).
6. Официальный сайт Mastercam URL: <http://www.Mastercam.ru> (дата обращения 12.02.2011).
7. Конвертация статичных фотографических изображений в высококачественные, текстурированные трехмерные объекты (Strata Foto 3D) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.strata.com/> (дата обращения 12.02.2011).
8. Создание цифровой модели сложного трехмерного объекта по его фотографии при помощи специальных настраиваемых кистей, которыми сканируют по фотографии и ее изображение сразу же переносится на нужную модель (Pixologic ZBrush 3.1) [Электронный ресурс]. URL: <http://cibersoft.ru/graphics/3dschedule/205pixologiczbrush31.html>; www.Zbrush.ru (дата обращения 14.02.2011).
9. Создание 3D объектов по фотографиям без автоматической подгонки изображений в 3D пространстве (Image Sculpturer) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.digitalatelier.net/?gclid=CK35rvHm6YCFUQI3wodcnXpQ> (дата обращения 14.02.2011).
10. Мощный движок генерации 3–D объектов (Autodesk 3ds Max 11 2009 Rus) [Электронный ресурс]. URL: <http://cibersoft.ru/graphics/3dschedule/207autodesk3dsmax112009rusklyuch.html> (дата обращения 10.02.2011).
11. Официальный сайт Maya. URL: <http://www.maya.ru>. (дата обращения 14.02.2011).
12. Официальный сайт АСКОН. URL: <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/items/?prcid=6&prpid=7> (дата обращения 14.02.2011).

RECONSTRUCTION OF THE FRONT SURFACE OF A DECAYED TOOTH USING 3–D TECHNOLOGIES

© 2011 S.P. Abulkhanov¹, D.S. Goryainov¹, N.V. Nosov¹, Yu.S. Strelkov²

¹ Samara State Technical University

² Samara State Aerospace University

We show that based on a photographic image of the decayed tooth it is possible to reconstruct a 3D model of the original tooth surface using the state-of-the-art computer-modelling systems.

Key words: mathematical model, 3D object surface, stomatology, computer-modelling systems.

Stanislav Abulkhanov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Motor Vehicles and Machine Complexes Department. E-mail: ask@samgtu.ru

Dmitry Goryainov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Mechanical-Engineering Technology Department. E-mail: tms@smagtu.ru

Nikolay Nosov, Doctor of Technics, Professor, Head at the of Mechanical-Engineering Technology Department.

E-mail: tms@smagtu.ru

Yuri Strelkov, Student.