

УДК 62-408.7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПОВ С ПОМОЩЬЮ 3 – D ТЕХНОЛОГИЙ

© 2011 С. Р. Абульханов¹, А.Ф. Денисенко¹, Д. Л. Скуратов¹, С. Д. Шапошников¹, 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.

Развитие вычислительной техники и появление станков с числовым программным управлением (далее ЧПУ), имеющие три и более синхронно управляемых осей, привело к развитию новых технологий получения прототипов произвольных трёхмерных объектов. Современный токарный или фрезерный центр способен обработать деталь произвольной выпуклой формы и произвольной кривизны. Единственное ограничение для трёхмерных объектов, изготавливаемых на таком станочном оборудовании, является их выпуклость, но и это ограничение может быть преодолено представлением невыпуклого трехмерного объекта объединением двух или более выпуклых объектов. Таким образом, технологической проблемы, связанной с механической обработкой абсолютного большинства разнообразных трёхмерных объектов, не существует. САМ – системы (обеспечение) формируют управляющие программы для скоординированной работы исполнительных органов станочного оборудования, позволяющие получить с заданной точностью требуемую поверхность трехмерной детали в результате механической обработки заготовки. Большинство современных деталей имеют формы, не соответствующие хорошо известным каноническим поверхностям, таким как плоскость, сфера, цилиндр или конус, а также их объединениям. Известны САМ – системы, позволяющие с необходимой точностью

аппроксимировать каноническими поверхностями некоторую фасонную поверхность детали. 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. В последнее время появился ряд задач, в которых форма трехмерного объекта задается в виде фотографий, выполненных с различных ракурсов. В этом случае плоский снимок содержит информацию об «объёме» детали в виде полутонов и цветовой глубины. Глубина объекта может быть измерена на плоском фотоснимке с точностью до пикселя. В качестве плоских полутоновых фотографий (проекции) могут выступать фотографии, рентгенограммы, результаты ультразвуковых исследований и т. д.

В качестве примера рассмотрим один из возможных способов построения 3–D объекта по фотографии. На рис. 1 показана фотография венгерского пряника.

Существует достаточное большое количество программного обеспечения и технических средств, позволяющих с различной точностью воспроизводить в цифровом виде трехмерные объекты. К наиболее известным из таких программных продуктов можно отнести Strata Foto 3D, Pixologic ZBrush 3.1, Image Sculpturer, Autodesk 3ds Max [1, 2, 3, 4, 5] и многие другие.

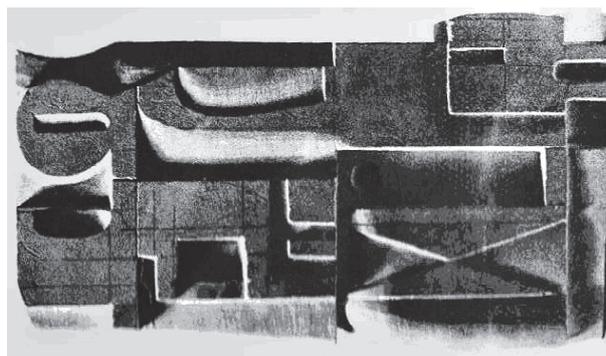


Рис. 1. Венгерский пряник «Пастух и овца»

Абульханов Станислав Рафаелевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и станочные комплексы». E-mail: ask@samgtu.ru

Денисенко Александр Фёдорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и станочные комплексы». E-mail: ask@samgtu.ru

Скуратов Дмитрий Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальные системы и сервис автомобилей». E-mail: issa@samgtu.ru

Шапошников Сергей Дмитриевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производства и управление транспортными системами». E-mail: apiut@samgtu.ru

Стрелков Юрий Станиславович, студент.

Рассмотрим применение программной среды Autodesk 3ds Max [5] для восстановления 3-D объекта в формате приемлемом для использования САД-системой Компас-3D V10 [6]. Выбор среды Autodesk 3ds Max был обусловлен тем обстоятельством, что это программное обеспечение наиболее широко распространено, многофункционально и совместимо с большинством программных пакетов, поэтому существует достаточно большой практический опыт его использования.

Цифровая 3-D модель пряника не требует большой точности воспроизведения исходного трехмерного объекта. Кроме того, может возникнуть ситуация, когда будет необходимо скорректировать форму модели (пряника): масштабировать одну из осей пряника, изменить кривизну какого-либо фрагмента поверхности пряника и т. д. Все эти технические возможности предоставляет программная среда Autodesk 3ds Max.

Прежде всего, необходимо по фотографии построить трехмерную модель объекта, используя один из способов, предоставляемых Autodesk 3ds Max, например, полигональная модель, моделирование по сетки или моделирование методом наложения. На рис. 2 показана трехмерная полигональная модель поверхности объекта (пряника) по его фотографии, полученная методом выдавливания по интенсивности освещенности поверхности (Displacement) [5]. При этом коррекция формы восстановленного трехмерного объекта возможна с помощью булевых операций путём объединения, пересечения, инверсии и т. д. канонических поверхностей (плоскость, сфера, конус, цилиндр). Такая коррекция поверхности трехмерного объекта имеет ряд технологических ограничений, среди которых одно из главных – невозможность заданного (требуемого) деформирования воссозданной поверхности (изгиб, сдвиг, скручивание и т. д.).

Указанные методы воссоздания трехмерного объекта создают высокореалистичную модель, дальнейшая работа с которой связана с исполь-

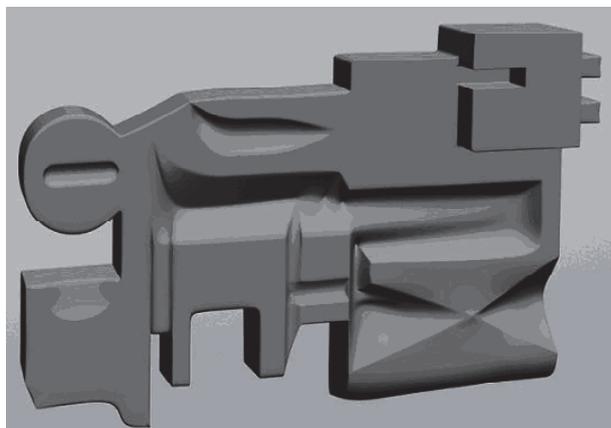


Рис. 2. Высокополигональная модель поверхности пряника

зованием значительного объёма оперативной памяти и вычислительной мощности компьютера. Для устранения этих недостатков необходимо построить трехмерную низкополигональную модель, на поверхность которой в дальнейшем будет наложена определенная текстура, способная придать низкополигональной модели пряника высокореалистичный вид.

Полигон – это есть массив вершин некоторого графа, который описывает трехмерный объект. Количество вершин такого графа определяет степень детализации моделируемой поверхности или, что по сути одно и то же, точность аппроксимации моделируемой поверхности выбранным типом полигона (треугольник или четырехугольник). Считается, что модель трехмерного объекта низкополигональная, если визуально на моделируемой поверхности могут быть различимы полигоны. Если визуально на поверхности модели полигоны не различимы, то в этом случае имеет место высокополигональная модель.

В компьютерной графике для получения высокореалистичного трехмерного объекта используют наложение текстуры на полигональную модель. Текстура – это растровое изображение, представляемое в виде массива цветных точек, образующих изображение, и накладываемое на поверхность полигонов, из которых состоит поверхность 3D-модели. Эта операция необходима для придания практически всегда гладкой поверхности 3-D объектов в виде покрытий полигонами цвета, окраски или иллюзии рельефа [7].

Применительно к моделируемой поверхности пряника текстура не существенна, поскольку пряничная доска (пресс-форма) интересует не как объект компьютерной графики, а как технологическое приспособление, материал, причем характер и уровень шероховатости его поверхности не влияют на качество выпечки.

Задача снижения использования вычислительных мощностей при использовании полигональной моделью объекта для создания с помощью САД-систем управляющих программ, предназначенных для изготовления детали (объекта) на станке с ЧПУ, например, пресс-формы пряника, может быть решена путем снижения полигональности модели, т. е. использования низкополигональных моделей (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что снижение полигональности модели приводит к заметным искажениям начальной формы модели, что может быть критичным даже для размеров и формы кулинарной выпечки. Таким образом, снижение использования вычислительных мощностей за счет уменьшения полигональности модели объекта применительно к деталям, обрабатываемых на станках с ЧПУ, нежелателен.

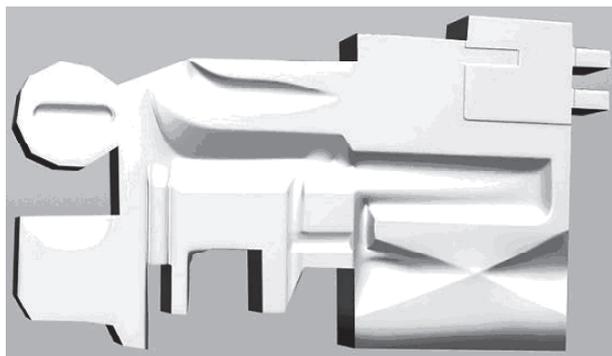


Рис. 3. Низкополигональная модель поверхности пряника

Объём оперативной памяти, используемый для работы с полигональной моделью объекта, может быть уменьшен с помощью аппроксимации поверхностей пряника фрагментами поверхностей, представимыми полиномиальными зависимостями. В этом случае аппроксимированная поверхность может быть представлена не массивом координат точек поверхности объекта, а коэффициентами полиномиальных зависимостей.

Такую возможность предоставляет программный продукт фирмы Del Cam [8] программа Core Cad PRO 8080 [9]. Задача покрытия поверхности пряника фрагментами полиномиальных поверхностей осложняется тем, что программный продукт Core Cad PRO 8080 не позволяет покрывать полиномиальными поверхностями фрагмент поверхности модели произвольной формы (рис. 4).

Это обстоятельство приводит к тому, что аппроксимируемая поверхность модели объекта покрывается фрагментами полиномиальных поверхностей с зазором, т. е. существуют небольшие участки аппроксимируемой поверхности модели объекта, которые не покрыты фрагментами полиномиальных поверхностей (рис. 5).

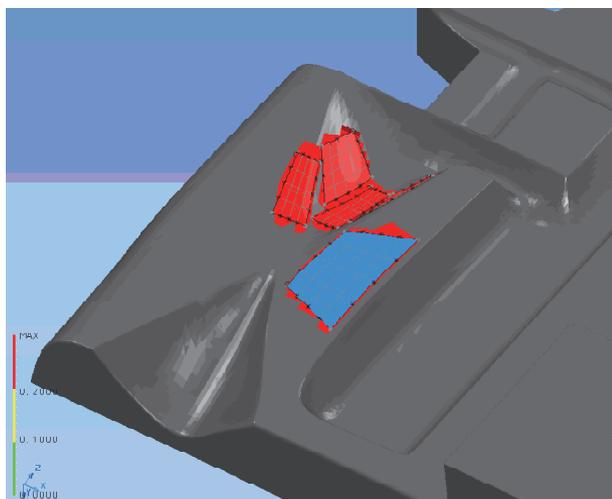


Рис. 4. Участок полигональной модели поверхности пряника, покрытая фрагментами полиномиальных поверхностей

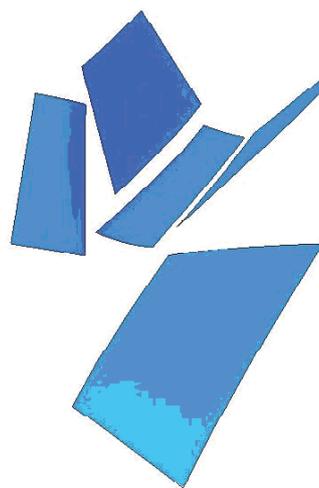


Рис. 5. Фрагменты полиномиальных поверхностей, покрывающие поверхность трехмерной модели объекта (пряника)

Обычно это области поверхности полигональной модели, имеющие знакопеременную кривизну. Такие зазоры между фрагментами полиномиальных поверхностей “сшиваются” с помощью специальных опций, которые предоставляются программными средами Компас-3D V10, Solid Works [10] и многими другими. Следует отметить, что при назначении границ фрагмента полиномиальной поверхности, имеющей большую площадь, происходит сглаживание макрорельефа поверхности модели. Это явление искажает поверхность модели объекта. Помимо этого, следует отметить, что генерирование управляющей программы для ЧПУ по заданной поверхности модели с помощью одной из известных САМ-систем приводит к тому, что сама САМ-система по своей, не всегда очевидной логике аппроксимирует поверхность модели. Это приводит к дополнительному сглаживанию поверхности детали или к дополнительному искажению поверхности модели объекта. По этой причине, чем точнее воспроизведение макрорельефа поверхности детали объекта, тем точнее поверхность изготовленной детали будет воспроизводить поверхность модели, хотя искажений формы избежать не удастся.

Рассмотренная технология снижения использованной оперативной памяти при работе с полигональной моделью объекта, позволяет существенно уменьшить используемые вычислительные мощности. При этом ощутимо возрастает трудоемкость работы программиста (оператора), который должен в этом случае, используя программный продукт Core Cad PRO 8080 [9], покрыть аппроксимируемую поверхность модели объекта полиномиальными фрагментами и в дальнейшем их “сшить”. Использование программного продукта фирмы Del Cam (программ

Corel Cad PRO 8080) для конвертации файла, полученного с помощью программного обеспечения Autodesk 3ds Max, в форматы, приемлемые для открытия в программной среде Компас–3D V10, Solid Works целесообразен только в том случае, если при изготовлении прототипа на станке с ЧПУ фактор трудоёмкости несущественен и если необходимо особо точное воспроизведение в прототипе индивидуальных черт исходного трехмерного объекта.

Наиболее приемлемым способом аппроксимации поверхности трехмерной модели объекта с точки зрения минимизации вычислительных мощностей является приближение фрагментов поверхности, например, трёхмерной модели пряника с помощью канонических геометрических объектов (плоскостью, конусом, сферой, цилиндром и их комбинациями). Целесообразность такой аппроксимации может быть объяснена тем обстоятельством, что воспроизводимая по фотографии трехмерная модель объекта содержит на своей поверхности избыточную информацию, обусловленную полиграфическим браком фотографии на рис. 1, погрешностью механической обработки пряничной доски (пресс–формы) (рис. 1), погрешностями формы, определяемыми искажением перспективы, и т. д. Технически все эти дефекты могут быть преодолены программными средствами. Тогда трехмерная цифровая модель поверхность пряника может содержать информацию, придающую ему индивидуальность. Речь идет о том, что на рис. 1 имеем поверхность выпечки, которая деформировалась по отношению к поверхности формы пряника (пряничной доски) во время выпекания. В этом случае канонические поверхности формы пряничной доски (плоскость, сфера, цилиндр и конус), наиболее часто присущие механической обработке, были искажены. Поскольку можно считать, что геометрические размеры объединения и пересечения поверхностей плоскостей, цилиндров, сфер и конусов, определяющих поверхность исходной пряничной доски, имеют свободный допуск, то имеет смысл приближения (аппроксимации) поверхности трехмерной модели пряника, созданной по фотографии, к каноническим поверхностям методом наложения. В этом случае на фрагмент поверхности модели пряника, субъективно близкой, например, к сфере накладывается сфера, у которой радиус и координаты центра выбираются таким образом, чтобы аппроксимируемый фрагмент поверхности пряника минимально отличался от поверхности выбранной сферы. В качестве критерия близости двух поверхностей может быть выбрана, например, величина $|x_{ki} - y_{kj}| \leq \varepsilon$, где $x_{ki} \in \Omega$ и $y_{kj} \in S$. Здесь Ω – фрагмент апп-

роксимируемой поверхности, S – соответствующий фрагмент аппроксимирующей, например, сферы. В соответствии с заявлениями на официальных сайтах и в соответствии с меню такая аппроксимация возможна в программных средах Компас–3D V10, Solid Works. Для этого файл с трехмерной моделью пряника, полученный с помощью программной среды Autodesk 3ds Max, имеющий расширение .max, необходимо переформатировать в приемлемый формат для программной среды, например, Компас–3D V10. Внутренний конвертер Компас–3D V10 не предусматривает конвертацию файлов с расширением .max в форматы, приемлемые для программного продукта фирмы АСКОН. По этой причине был использован программный конвертер форматов файлов OBJECT CONVERTER [11]. Практика показала, что программная среда Компас–3D V10, а также Компас–3D V12 открывают файл после переформатирования его с помощью конвертера OBJECT CONVERTER в формат DWG. Особенностью открытия файла с расширением .dwg было то, что в среде Компас–3D V10 и V12 был получен не трёхмерный объект, а проекция трехмерной высокополигональной модели пряника на некоторую плоскость (рис. 6).

Такая конвертация формата .max в формат .dwg в среде Компас–3D V10 или V12 не может быть применима для построения управляющей программы с целью изготовления поверхности пряника на станке с ЧПУ.

Имея цифровую модель поверхности пряника в формате IGES, возможно построение управляющей программы для высокотехнологичного станочного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) с помощью программных средств, таких как GeMMA - 3D [12], Тетран–3D [13], ADEM [14], Master CAM [15], Power Mill [16] или, например, Sprut CAM [17] и многие другие. В этом случае станок с ЧПУ изготовит поверхность пряника, которая будет

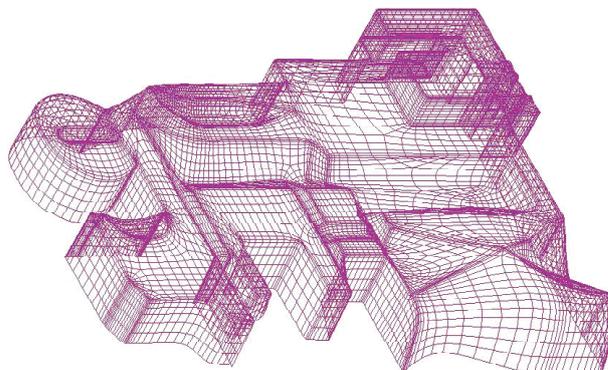


Рис. 6. Скелетная проекция трехмерной высокополигональной модели поверхности пряника, выполненная в программной среде Компас –3D V10 в формате .dwg



Рис. 7. Низкополигональная трёхмерная модель поверхности пряничной доски, полученная с применением программных средств Solid Works в формате .stl

отличаться от оригинала в пределах, назначенного допуска изготовления.

Внутренний конвертер программной среды Компас–3D V12 показывал, что имеет возможность открывать файлы с расширением .iges. Преобразованный файл трёхмерной модели пряника с помощью конвертера OBJECT CONVERTER в формат IGES не открылся в программной среде Компас–3D V10 и V12. В связи с этим следует отметить, что использование программного продукта фирмы АСКОН [6] для аппроксимации поверхности модели, например, пряника каноническими поверхностями (плоскость, сфера, цилиндр и конус) нецелесообразно.

Внутренний конвертер программной среды Autodesk 3ds Max позволяет сохранить модель трёхмерного объекта в формате STL. Если используемая версия Autodesk 3ds Max не имеет такого внутреннего конвертера то, файл с расширением .max может быть конвертирован с помощью конвертера OBJECT CONVERTER в формат STL. Особенностью файла с расширением .stl в программной среде Solid Works является то, что исходная поверхность пряника, созданная в программной среде Autodesk 3ds Max, после экспорта в программную среду Solid Works с расширением .stl аппроксимируется триангулированными полигонами (треугольниками). Поверхность пряника, представленная в виде покрытия трёхугольными полигонами (рис. 7), не может быть скорректирована в программной среде Solid Works. Это обстоятельство снижает ценность экспорта поверхностей трёхмерных объектов в программную среду Solid Works с расширением .stl. Корректировка поверхности трёхмерного объекта после экспорта из среды Autodesk 3ds Max возможна в программной среде Solid Works, если файл с моделью трёхмер-

ного объекта будет иметь расширение .iges. Используемый пакет программной среды Solid Works не имел лицензионного права на работу с файлами в формате IGES.

Использование трёхмерной модели на рис. 5, позволяет оптимально выбрать инструмент для обработки поверхности пряничной доски и оптимально с точки зрения затрат машинного времени составить управляющую программу для ЧПУ станка, обрабатывающего поверхность пряника.

Среди многочисленных технических и программных средств восстановления трёхмерного рельефа по фотографии объекта [1, 2, 3, 4, 5] широко известен программный продукт фирмы Del Cam математическое обеспечение Art Cam [18], которое позволяет с высокой степенью детализации восстанавливать поверхность объекта по информации об “объёме” детали в виде полутонов и цветовой глубины. Применение программного продукта Art Cam особенно эффективно при воссоздании барельефов, медалей и других деталей, рельеф которых имеет небольшую глубину. В этом случае с высокой точностью воспроизводится характер макрорельефа поверхности объекта. Если глубина рельефа может быть соизмеримой с габаритными размерами детали, то воссоздание поверхности модели объекта в программной среде Art Cam сталкивается с трудностями. Как показала практика программный продукт Art Cam не позволяет воспроизводить небольшие углы поднутрения ($\approx 1 - 8^\circ$) боковых поверхностей (стенок) макрорельефа модели деталей (рис. 8).

Среди опций программы Art Cam есть такие, которые позволяют корректировать вертикальные стенки создаваемого рельефа трёхмерной модели детали, однако их использование связано со значительными затратами времени пользователя (оператора) программной среды Art Cam. Следует отметить, что внутренний конвертер Art Cam позволяет сохранять воссозданный и скорректированный макрорельеф детали в форматах STL, IGES и многих других. Это обстоятельство позволяет без проблем сгенерировать управляющую программу для изготовления пресс-формы (пряничной доски) на станке с ЧПУ. Программа Art Cam позволяет в первую очередь моделировать макрорельеф на модели, предназначенной для изготовления на станке с ЧПУ методом гравирования.

В заключение следует отметить, что оптимизация объёма используемой оперативной памяти и других используемых вычислительных мощностей не приводит к существенному уменьшению машинного времени станка с ЧПУ. Как показала практика экономия машинного време-

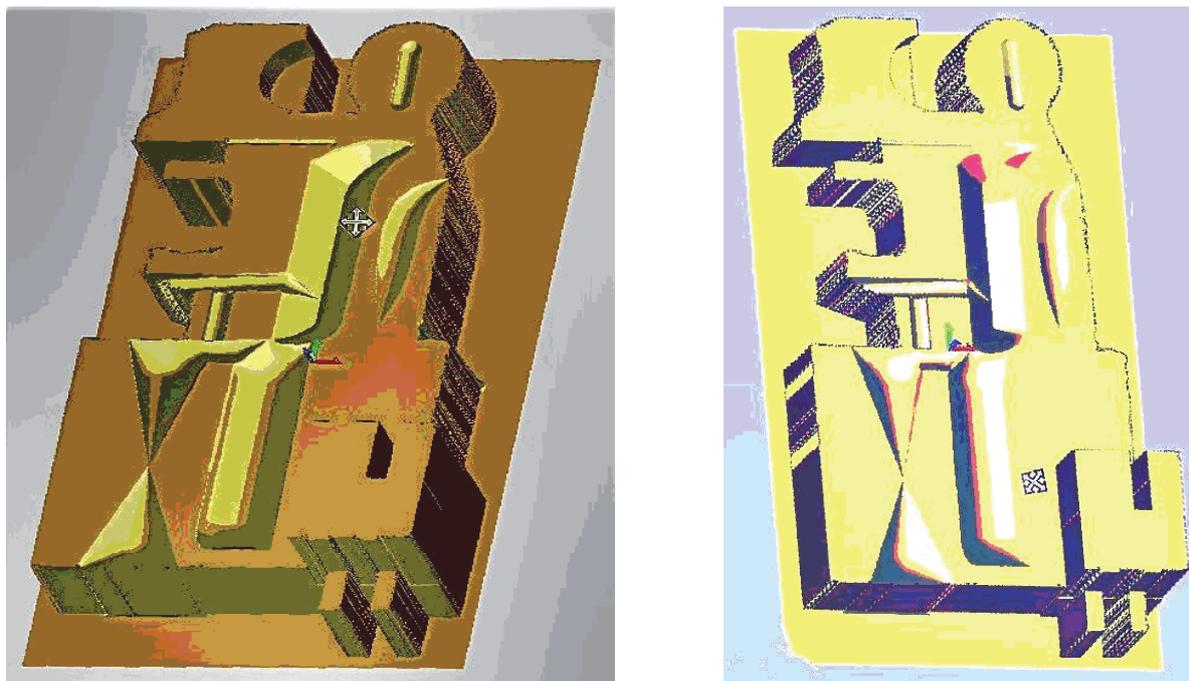


Рис. 8. Трёхмерная модель поверхности пряничной доски, полученная с применением программной среды Art Cam

ни при изготовлении детали (пресс-формы пряника) после оптимизации вычислительных мощностей составляет несколько десятков секунд. В связи с этим при создании трехмерной поверхности модели объекта следует добиваться максимальной точности воспроизведения поверхности, например, пряника без учёта используемых при этом вычислительных мощностей.

ВЫВОДЫ

1. Использование программной среды Autodesk 3ds Max позволяет создать трехмерный объект по его фотографии, имеющей высокую степень детализации макронеровностей поверхности. При этом имеют место значительные трудозатраты.

2. Программное обеспечение Solid Works позволяет для модели объекта в формате STL построить оптимальную с точки зрения машинного времени управляющую программу для изготовления пряничной доски, а также выбрать оптимально используемый инструмент, но не позволяет корректировать менять форму пряника.

3. Использование программной среды Art Cam позволяет воссоздать трехмерный объект по его фотографии. Трудозатраты при этом в сравнении с программной средой Autodesk 3ds Max минимальны, но степень детализации сформированной поверхности не позволяет сформировать макрорельеф модели, глубина которого соизмерима с габаритными размерами детали.

4. Использование программной среды Компас-

3D V12 не позволяет создать трехмерный объект по фотографии ни самостоятельно, ни с привлечением программной среды Autodesk 3ds Max.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конвертация статичных фотографических изображений в высококачественные, текстурированные трехмерные объекты (Strata Foto 3D) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.strata.com/> (дата обращения 02.02.2011).
2. Создание цифровой модели сложного трехмерного объекта по его фотографии при помощи специальных настраиваемых кистей, которыми сканируют по фотографии и ее изображение сразу же перенесется на нужную модель (Pixologic ZBrush 3.1) [Электронный ресурс]. URL: <http://cibersoft.ru/graphics/3d-schedule/205-pixologic-zbrush-31.html> (дата обращения 12.02.2011).
3. Image Sculpturer [Электронный ресурс]. URL: <http://www.digitalatelier.net/?gclid=CK35rv-Nm6YCFUQI3wodcnuXpQ>
4. Вежнев В.А. Задача восстановления формы объекта по записке (shape from shading) // On-line журнал «Компьютерная графика и мультимедиа». 2004. Вып. 1. №2: сайт. URL: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/59> (дата обращения 12.02.2011).
5. URL: <http://cibersoft.ru/graphics/3d-schedule/207-autodesk-3ds-max-11-2009-rus-klyuch.html> (дата обращения 12.02.2011).
6. URL: <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/items/?prcid=6&prpid=7> (дата обращения 12.02.2011).
7. Computer graphics – principles and practice / James D. Foley [etc] // Addison-Wesley Publishing Company. 1990
8. URL: <http://www.delcam.ru/index.html> (дата обращения 21.02.2011).

9. URL: <http://www.copucad.com/> (дата обращения 21.02.2011).
10. URL: <http://www.solidworks.ru/> (дата обращения 11.02.2011).
11. URL: <http://www.brothersoft.com/3d-object-converter-68774.html> (дата обращения 11.02.2011)
12. URL: <http://www.gemma-st.ru/> (дата обращения 11.02.2011).
13. URL: <http://www.tehtran.com> (дата обращения 24.02.2011).
14. URL: <http://www.adem.ru> (дата обращения 20.02.2011).
15. URL: <http://www.mastercam.ru/> (дата обращения 15.02.2011).
16. URL: <http://www.delcam.ru> (дата обращения 15.02.2011).
17. URL: <http://www.sprut.ru> (дата обращения 05.02.2011).
18. URL: <http://www.artcam.com/> (дата обращения 02.02.2011).

PROTOTYPE DESIGN USING 3-D TECHNOLOGIES

© 2011 S.R. Abulkhanov¹, A.F. Denisenko¹, D.L. Skuratov¹, S.D. Shaposhnikov¹, Yu.S. Strelkov²

¹Samara State Technical University

²Samara State Aerospace University

We show that a digital model of the three-dimensional object surface can be constructed on the basis of its photograph using advanced computer-modeling systems.

Key words: mathematical model, three-dimensional object surface, computer-modeling system.

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

Alexander Denisenko, Doctor of Technics, Professor, Head at the Motor Vehicles and Machine Complexes Department. E-mail: ask@samgtu.ru

Dmitry Skuratov, Doctor of Technics, Professor at the Instrument Systems and Car Servicing Department. E-mail: issa@samgtu.ru

Sergei Shaposhnikov, Candidate of Technics, Professor at the Manufacturing Automation and Transportation System Management Department. E-mail: apiut@samgtu.ru

Yuri Strelkov, Student.