

В.В. АЛЕКСАНДРОВА, А.А. ЗАЙЦЕВА  
**3D МОДЕЛИРОВАНИЕ И 3D ПРОТОТИПИРОВАНИЕ  
СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФОРМ В РАМКАХ  
ТЕХНОЛОГИИ КОГНИТИВНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

---

*Александрова В.В., Зайцева А.А. 3D моделирование и 3D прототипирование сложных пространственных форм в рамках технологии когнитивного программирования.*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема согласования процесса 3D моделирования и 3D прототипирования сложных пространственных форм в рамках технологии когнитивного программирования. Предложены пути ее решения на примере среды 3D Studio MAX.

**Ключевые слова:** 3D моделирование, скульптинг, быстрое прототипирование, технология когнитивного программирования.

*Alexandrova V.V., Zaytseva A.A. 3D modeling and 3D prototyping of complex space forms in the technology of cognitive programming.*

**Abstract.** The article discusses the problem of matching the processes of the 3D modeling and 3D prototyping of complex space forms in the technology of cognitive programming. The ways to solve this problem are shown on the example of environment 3D Studio MAX.

**Keywords:** 3D modeling, sculpting, fast prototyping, cognitive programming technology.

---

**1. Введение.** Анализ стратегической тенденции развития цифровой программируемой технологии, от математического моделирования физических, биологических и других природных процессов при достижении производственно-элементной базы нано уровня привел к созданию технологии непосредственного воспроизводства трехмерных пространственных объектов сложных форм. Информатика уже не только онтология проектов, но и ее пространственная материализация. Биологические объекты искусственно воспроизводятся на основе технологии когнитивного программирования.

В настоящее время в мире во всех областях знания происходит всплеск цифрового моделирования: через компьютерный инжиниринг и цифровое моделирование проходит практически любое новое изделие. На японских выставках уже производится наглядная демонстрация процесса объемного копирования: на входе производится цифровая съемка объектов, затем обработка в среде 3D моделирования — и в результате можно распечатать копию прототипа [1]. К сожалению, как отмечают эксперты [2], российская промышленность задержалась с переходом к цифровому инжинирингу и к быстрому прототипированию с использованием 3D-принтеров. Но сейчас это наверстывается скорейшими темпами. По данным тех же экспертов, Россия сейчас —

один из самых быстрорастущих рынков специализированного программного обеспечения для проектирования.

Принтер, печатающий детали для самого себя, электромобиль со сменной батареей, гаджеты, самостоятельно общающиеся между собой и отвечающие за комфорт хозяина, — реальность нового цифрового мира, который формируется уже сейчас. Применительно к программируемой технологии инфокоммуникации, важна не пропускная способность канала, а трансформация свойств коммуникации физической природы в свойства биологической природы и социальной потребности.

**2. Когнитивное программирование.** Цифровые 3D технологии и когнитивное программирование открывают уникальные возможности воспроизведения сложнейших пространственных форм, объектов и инженерных конструкций, механизмов. Реализация этих возможностей связана с цифровой технологией управления материальными частицами в объемной среде инструментов 3D технологии, где осуществляется технологический процесс, определяющий свойства воспроизводимого объекта. Инновации индустриальных технологий ведут к слому привычных производственных цепочек и влекут за собой новый этап развития мировой цивилизации [3]. С одной стороны, технология когнитивного программирования является инновационным процессом цифрового творчества, промышленного и художественного производства в рамках цифровой программируемой технологии [4]. С другой стороны, еще до эпохи Возрождения естественной формой отражения окружающего мира и восприятия природы являлись скульптуры, усложняя с развитием цивилизации процесс когнитивного творчества [5].

Также как для систем трехмерного компьютерного моделирования пространственных объектов постоянно обновляется палитра инструментов, для каждого направления 3D оборудования разрабатываются цифровые копии изделия — программные прототипы их производства. Инновации когнитивного программирования ведут к тиражированию сложных пространственных форм, даже тех, которые практически невозможно воссоздать без использования технологий 3D прототипирования [6,7].

Архитектура, неорганические и органические объекты [8], прото-клетки [9] (рис. 1), начиненные электроникой роботы, все это области применения цифровых программируемых технологий быстрого прототипирования.

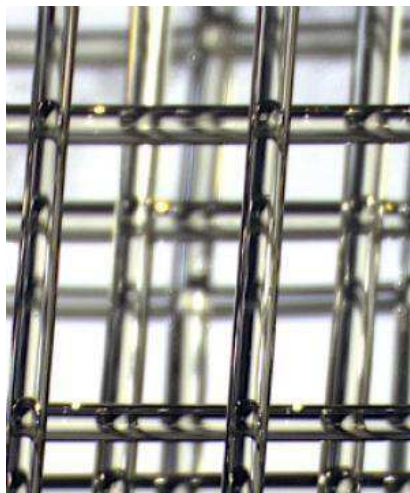


Рис. 1. Полученное с помощью микроскопа изображение «напечатанной» на 3D-принтере сахарной заготовки, предназначенной для создания сосудистой сети в живой ткани [9].

Примеры цифровых копий изделий, реализованных на 3D-принтере, в том числе, в рамках разработки концепции когнитивного программирования [7], приведены на рис. 2. Необходимо отметить, что представленные на рисунке сложные пространственные фигуры трудно воспроизводимы на любом другом оборудовании, кроме 3D-принтера. Данные сложные трехмерные объекты изготовлены на 3D-принтере Connex 500 фирмы Object, использующем фотополимерную технологию PolyJet Matrix [10]. Необходимо отметить, что математическую модель непрерывной недифференцируемой функции Вейерштрасса — заполняющую пространство кривую (ЗПК) возможно визуализировать как материальный (физический) объект только на 3D-принтере.

### **3. Проблема согласования 3D модели и 3D прототипирования.**

Проблема применения 3D прототипирования заключается в том, что 3D-принтер может печатать только тот рельеф, который создан на основе полигонов, то есть представляет собой полигональную сетку. Однако в 3D-графике существуют различные способы создания рельефа на поверхности объекта, особенно если речь идет о мелких деталях сложной трехмерной модели.

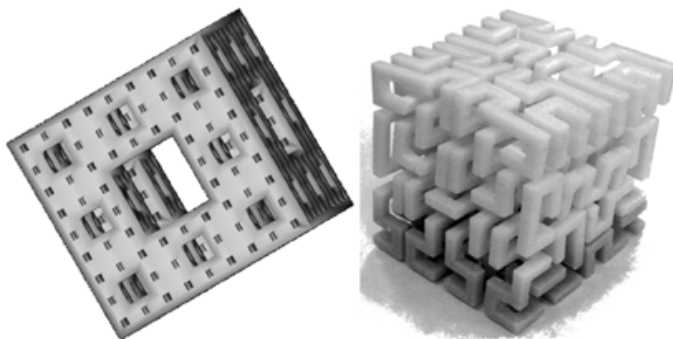


Рис. 2. Примеры реализации сложных пространственных форм по 3D технологии прототипирования: «кубик» Кантора и трехмерная ЗПК.

Например, различные узоры, рисунок чешуи, кожи и т.д. проще создать на основе карт материалов, чем на основе полигонального моделирования [11]. Но карты материалов не вызывают реального сдвига полигональной сетки, то есть создают только изображение, иллюзию объемного рельефа, а не сам рельеф. А 3D-принтер не может печатать рельеф, созданный не полигональной сеткой, а рисунком, имитирующим объем.

3D Studio MAX обладает возможностями моделировать рельефы различными способами. Например, с помощью карт материалов и специальных модификаторов, способных работать с этими картами, таких модификаторов, как модификаторы Noise (Зашумление) и Displace (Смещение), а также каналов редактора материалов Bump (Рельефность) и Displacement (Смещение), карты материала Noise (Зашумление), карты материала Normal Bump (Карта нормалей), а также объемной деформации Displace (Смещение). Принципиальная разница между моделированием рельефов вышеперечисленными способами заключается в том, что ряд методов моделирования, например, модификатор Displace (Смещение) и объемная деформация Displace (Смещение) способны создавать рельеф с помощью использования особых карт материалов, так называемых карт смещения. При этом происходит сдвиг полигональной сетки объекта, поэтому такой способ создания рельефа является одним из вариантов полигонального моделирования без использования самих модификаторов полигонального моделирования. В основе этого метода построения рельефа лежит способность программы выстраивать высоту рельефа в соответствии с града-

цией цвета карты материала — от белого до черного — методом сдвига вершин сетки объекта, выбранного в качестве основы для построения ландшафта. Необходимые для корректной работы карты материалов должны быть черно-белыми. Такой метод построения обеспечивает достаточно большую точность в построении рельефа в соответствии с задуманным видом будущего рельефа. Но при этом объект, к которому применяется любой из вышеназванных способов формирования полигональной сетки, должен быть высокополигональным, иначе рельеф построится некорректно.

Рельеф, построенный любым из вышеперечисленных способов, то есть построенный на основе сдвига полигональной сетки, может быть напечатан на 3D-принтере.

В отличие от вышеперечисленных способов формирования полигонального рельефа, каналы редактора материалов Bump (Рельефность) и Displacement (Смещение), вне зависимости от типа примененных для построения рельефа карт, не вызывают реального сдвига полигональной сетки у полигонального объекта, поэтому построенный таким образом рельеф является всего лишь иллюзией объема и не может быть распечатан на 3D-принтере.

Ландшафт на рис. 3 создан с помощью объемной деформации Displace (Смещение). На фронтальном виде видна полигональная сетка объекта. Именно полигональную сетку и распознает 3D-принтер при печати объекта. В качестве основы выбран стандартный примитив Plane (Плоскость). В качестве карты смещения использована карта материала, изготовленная в программе Adobe Photoshop. На рис. 4 указаны параметры, необходимые для создания рельефа, изображенного на рис. 3.

На рис. 5 изображена одна из карт смещения, созданная в графическом редакторе Adobe Photoshop.

Ландшафт на рис. 6 создан с помощью модификатора Displace (Смещение). На рис. 7 показаны параметры, с помощью которых создан данный ландшафт.

И во всех вышеперечисленных случаях на фронтальных видах можно видеть форму полигональной сетки объекта. Таким образом, можно судить о форме объекта, который будет распечатан 3D-принтером. Однако большой точности при создании рельефа таким способом добиться весьма сложно. Поэтому обычно при создании трехмерных моделей используются модификаторы полигонального моделирования Edit Mesh (Редактирование сетки) и Edit Poly (Редактирование полигонов).

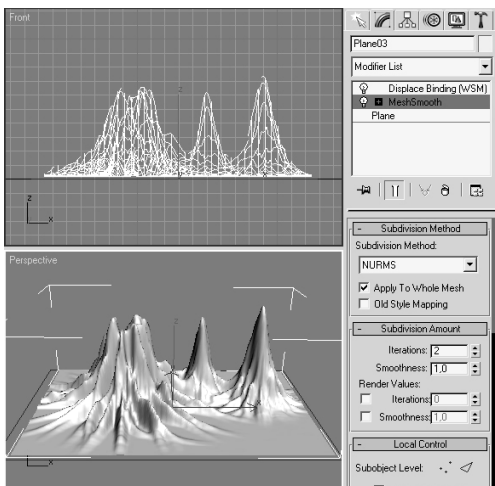


Рис. 3. Вид ландшафта, созданного в 3DS MAX с помощью объемной деформации Displace (Смещение).

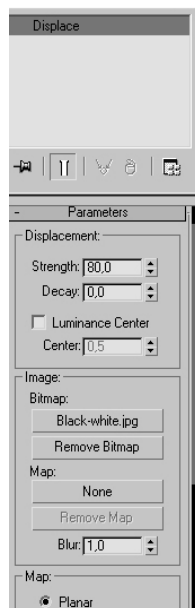


Рис. 4. Параметры, необходимые для создания рельефа на рис. 3.

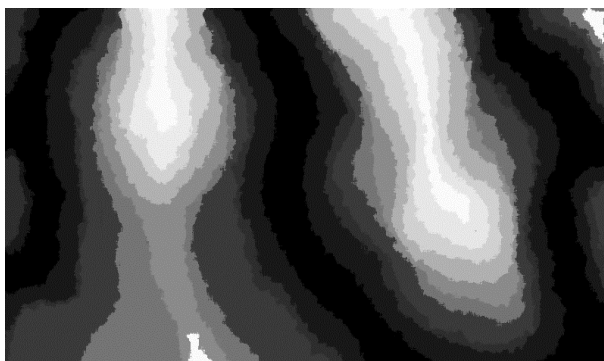


Рис. 5. Карта смещения, созданная в графическом редакторе Adobe Photoshop.

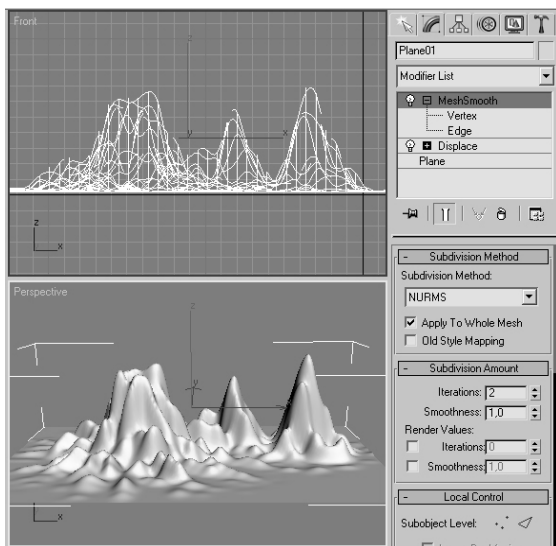


Рис. 6. Вид ландшафта, созданного в 3DS MAX с помощью модификатора Displace (Смещение).

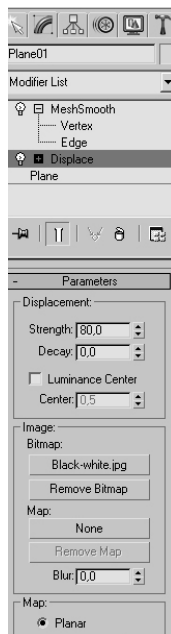


Рис. 7. Параметры, необходимые для создания рельефа на рис. 6.

Какая же принципиальная разница между рельефом, созданным с помощью модификаторов полигонального моделирования и рельефом, созданным с помощью редактора материалов и карт материалов?

На рис. 8 представлены заготовки для трехмерной модели рыбы. Под номером 1 на рис. 8 представлена в тонированном режиме заготовка, на которой чешуя передана с помощью канала редактора материалов Bump (Рельефность) и карты материала Normal Bump (Карта нормалей), имитирующей чешую.

На рис. 9 под номером 1 представлена та же модель, но в виде полигональной сетки. Рельефной чешуи на ней нет. Поэтому 3D-принтер не сможет напечатать рельефную чешую, модель будет гладкой.

В противоположность данной модели, модель, представленная на рис. 8 под номером 2, обладает поверхностью, реально имитирующей рельеф чешуи не только в тонированном режиме.

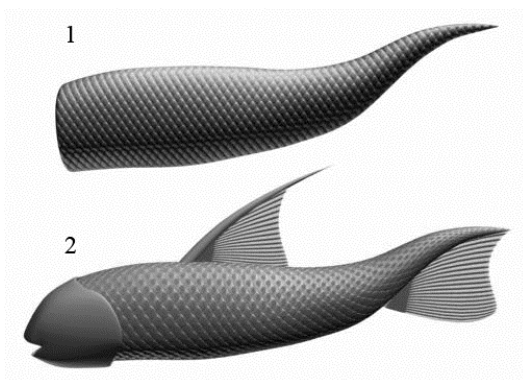


Рис. 8. Заготовки для трехмерной модели рыбы в тонированном режиме.

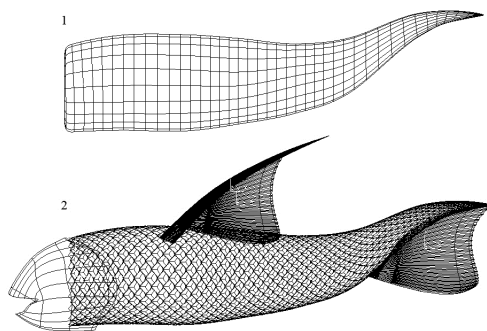


Рис. 9. Заготовки для трехмерной модели рыбы в виде полигональной сетки.

На рис. 9 под номером 2 видна полигональная сетка модели. Рельеф создан на поверхности модели с помощью нескольких последовательно выполненных операций полигонального моделирования. 3D-принтер способен распознать такой полигональный рельеф и напечатать модель с рельефной, а не гладкой, поверхностью.

**4. Заключение.** Развитие цифровых программируемых технологий привело к возможности непосредственной цифровизации трехмерных объектов, компьютерного 3D моделирования и репликации объектов. Для адекватной реализации объектов 3D моделирования по техно-



логии быстрого прототипирования необходимо учитывать описанные выше ограничения. Создаваемый в 3D Studio Max для последующей печати рельеф должен быть выполнен с помощью операций полигонального моделирования, а не с помощью карт материалов.

### Литература

1. *Милославская З.* Человечество прыгнуло в иной мир. [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://www.utro.ru/2013/01/23/articles/internet/>
2. Центр стратегических разработок «Северо-Запад». [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://csr-nw.ru/publications/publication>
3. *Дарьин К.* Новая производственная революция. [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://expert.ru/2012/01/31/novaya-proizvodstvennaya-revolutsiya/>
4. *Александров В.В., Сарычев В.А.* Цифровые программируемые технологии. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. т.8. №11. С. 3–9.
5. *Виппер Б.Р.* Введение в историческое изучение искусства. Изд-во В. Шевчук, 2010. 366 с.
6. *Зленко М.* Технологии быстрого прототипирования – послыйный синтез физической копии на основе 3D-CAD-модели. // CAD/CAM/CAE Observer. 2003. №2 (11). С. 2–9
7. *Александрова В.В., Зайцева А.А.* 3D технология и когнитивное программирование. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т.10. №5. С. 61–64.
8. 10 идей, которые потрясут мир. [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://www.daysite.ru/others/137-potryasut-mir?showall=1>
9. [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://www.infuture.ru/article/6574>
10. Технология PolyJet Matrix. [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://www.2objet.ru>
11. *Александрова В.В.* Компьютерное моделирование и симуляция трехмерных тел, фигур и сцен. Учебное пособие. СПб.: Изд-во «Анатолія», 2008, 132 с.

**Александрова Валерия Викторовна** — канд. пед. наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. Область научных интересов: компьютерное моделирование и симуляция трехмерных тел, фигур и сцен. Число научных публикаций — 50. alexandr@iias.spb.su; РГПУ им. А.И. Герцена, набережная реки Мойки, д.48, Санкт-Петербург, 191186, РФ.

**Alexandrova Valeria Victorovna** — PhD in Ped. Sc., lector of department for informatics and computing in Herzen University. Research interest: computing modeling and simulation of 3D-scenes and figures. The number of publication — 50. alexandr@iias.spb.su, sial.iias.spb.su; Herzen University, 6 Kazanskaya (Plekhanova) st., St. Petersburg, 191186, Russia; office phone +7(812)323-5139.

**Зайцева Александра Алексеевна** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории автоматизации научных исследований СПИИРАН. Область научных интересов: обработка видеоданных, когнитивная 3D технология быстрого прототипирования. Число научных публикаций — 20. cher@iias.spb.su, sial.iias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия В.О., 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; p.t. +7(812)323-5139, факс +7(812)328-4450.

**Zaytseva Alexandra Alexeevna** — PhD in Tech. Sc., Senior researcher, Laboratory of Research Automation, SPIIRAS. Research interest: video data streams processing, 3D rapid prototyping technology. The number of publication — 20. [cher@iias.spb.su](mailto:cher@iias.spb.su), [sial.iias.spb.su](mailto:sial.iias.spb.su); SPIIRAS, 14-th Line V.O., 39, St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)323-5139, fax +7(812)328-4450.

Рекомендовано лабораторией автоматизации научных исследований СПИИРАН.  
Статья поступила в редакцию 12.03.2013

## РЕФЕРАТ

### *Александрова В.В., Зайцева А.А.* **3D моделирование и 3D прототипирование сложных пространственных форм в рамках технологии когнитивного программирования.**

Анализ стратегической тенденции развития цифровой программируемой технологии, от математического моделирования физических, биологических и других природных процессов при достижении производственно-элементной базы нано уровня привел к возможности создания технологии непосредственного воспроизводства трехмерных пространственных объектов сложных форм. Информатика уже не только онтология проектов, но и ее пространственная материализация. Биологические объекты искусственно воспроизводятся на основе технологии когнитивного программирования.

В настоящее время в мире во всех областях знания происходит всплеск цифрового моделирования: через компьютерный инжиниринг и цифровое моделирование проходит практически любое новое изделие.

Цифровые 3D технологии и когнитивное программирование открывают уникальные возможности воспроизведения сложнейших пространственных форм, объектов и инженерных конструкций, механизмов. Реализация этих возможностей связана с цифровой технологией управления материальными частицами в объемной среде инструментов 3D технологии, где осуществляется технологический процесс, определяющий свойства воспроизводимого объекта.

Одна из конкретных проблем применения 3D прототипирования заключается в том, что 3D-принтер может печатать только тот рельеф, который создан на основе полигонов, то есть представляет собой полигональную сетку. Однако в 3D-графике существуют различные способы создания рельефа на поверхности объекта, особенно если речь идет о мелких деталях сложной трехмерной модели. Так, например, карты материалов не вызывают реального сдвига полигональной сетки, то есть создают только изображение, иллюзию объемного рельефа, а не сам рельеф. А 3D-принтер не может печатать рельеф, созданный не полигональной сеткой, а рисунком, имитирующим объем.

Для адекватной реализации объектов 3D моделирования по технологии быстрого прототипирования необходимо учитывать описанные в статье ограничения.

## SUMMARY

### *Alexandrova V.V., Zaytseva A.A.* **3D modeling and 3D prototyping of complex space forms in the technology of cognitive programming.**

The analysis of strategic tendencies of digital programmed technology development from mathematical modeling of physical, biological and other natural processes as soon as technology reached nano-levels resulted in ability to create technology of direct recreation of three-dimensional spatial objects of complex forms. Informatics becomes not only the ontology of projects but its spatial materialization. Biological objects are artificially being recreated by technology of cognitive programming.

Nowadays the rise of computer modeling takes place in every field of knowledge: almost every new product is passing through computer engineering and digital modeling.

Digital 3D technologies and cognitive programming are enabling unique possibilities to recreate complex spatial forms, objects and engineering constructions, mechanisms.

The one of the main problems of 3D prototyping application is that the 3D printer can only print relief created by polygon grid. But in 3D graphics technologies various methods of creating visual relief on object's surface are exist especially for subtle visual nuances recreation. For example material maps do not create real polygonal grid shift, they only create an illusion of volumetric relief. 3D printer cannot print relief created by imitating depth image.

For valid realization 3D modeled objects by fast prototyping technology it is vital to take into account the limitations considered in this paper.