

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Първа научно-приложна конференция с международно участие
„СТОМАНОБЕТОННИ И ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ – ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА“

22 – 23 октомври 2015

22 – 23 October 2015

First Scientific-Applied Conference with International Participation

“REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES – THEORY AND PRACTICE”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

48 ^{ТОМ}
vol.

2015

св. 12 – III
fasc.

ТРИМЕРНО МОДЕЛИРАНЕ ЗА ЦЕЛИТЕ НА 3D ПЕЧАТА НА СГРАДИ

Ст. Иванова¹

Ключови думи: 3D печат, нови технологии, тримерно моделиране

Научна област: съвременни материали и технологии

РЕЗЮМЕ

3D печатът е нова технология за изграждане на тримерни обекти чрез наслагване на материал в последователно разположени във височина пластове. През последната година се увеличи броят на приложенията на тази технология и в строителството за изграждане на малки едноетажни домове и на дву- и повече етажни сгради с посложно разпределение. Множеството предимства на този метод на изграждане водят до увеличаване на броя на реализациите. В основата на този начин на печат на сгради и съоръжения стои тримерното им моделиране в подходящи CAD системи. В тази статия се прави преглед на основните стъпки при тримерното моделиране и отпечатване на сгради и се разглеждат наличните програмни системи.

1. Въведение. История на технологията

3D печатът [2] е сравнително нова технология за изграждане на тримерни обекти чрез наслагване на материал в последователно разположени във височина пластове под контрола на компютър. Той може да се използва за изграждане на обекти с всякаква форма и геометрия на базата на първоначално изграден 3D модел. От своя страна 3D принтерът е вид индустриален робот.

Първите реализации датират от 80-те години на XX век, базирани са на полимери, втвърдяващи се под въздействието на светлината, а процесът е познат под името

¹ Стоянка Иванова, гл. ас. д-р арх., кат. „Автоматизация на инженерния труд”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: solarina@online.bg

стереолитография (stereolithography). Още тогава **Chuck Hull** от **3D Systems Corporation** разработва файловия формат **STL (STereoLithography)**, който и до днес широко се използва в софтуера за 3D печат.

Около 2000 г. популярен става терминът **additive manufacturing** (производство чрез наслагване на материал). Като материал се използват най-вече полимери. Към този момент започва и разработването на нови концепции на металообработване, които се базират не на отнемането на материал от парче метал под компютърен контрол (**subtractive manufacturing**), а на наслагването на метални частици (прах) в последователни слоеве.

В годините около 2010 ентузиазмът в тази област доведе до по-широко разпространение на малоформатни 3D принтери и станаха популярни термините **desktop manufacturing**, **rapid manufacturing**, както и **on-demand manufacturing** (производство по поръчка, като 3D версия на насочения към двумерен печат **on-demand printing**). С напредването на технологията се появиха и разработки, според които 3D печатът може да допринесе за устойчиво развитие в развиващия се свят.

2. Кратко описание на процеса на изработване на обекти чрез 3D печат

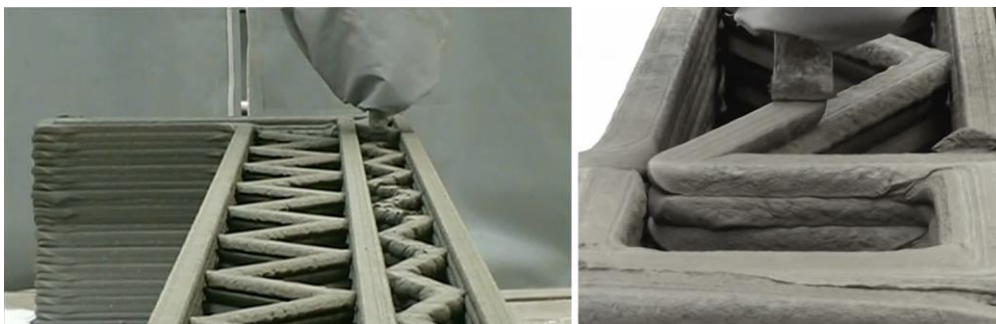
Обектите, изградени чрез 3D печат, минават през следните фази на проектиране и производство [2]:

2.1. Моделиране

3D печатът става на базата на предварително изготвени 3D модели. Те могат да се изготвят чрез а) CAD програми; б) тримерно сканиране; в) дигитални камери, комбинирани с фотограметричен софтуер.

При използването на 3D печат в строителството [3] трябва да се има предвид, че стените на сградите не са съвсем плътно запълнени с материал. Част от техния обем е въздух, с което се постигат по-добри изолационни качества и олекотяване, а пълнежът на стената е със зигзагообразна в план форма (фиг. 1). Това става чрез моделиране в средата на CAD система. В следващия раздел ще се спрем на някои познати и подходящи за целта такива системи.

При всички случаи накрая тримерният модел се конвертира в т.нар. STL или OBJ формат, за да може да бъде обработван от CAM (Computer-Aided Manufacturing) софтуер.

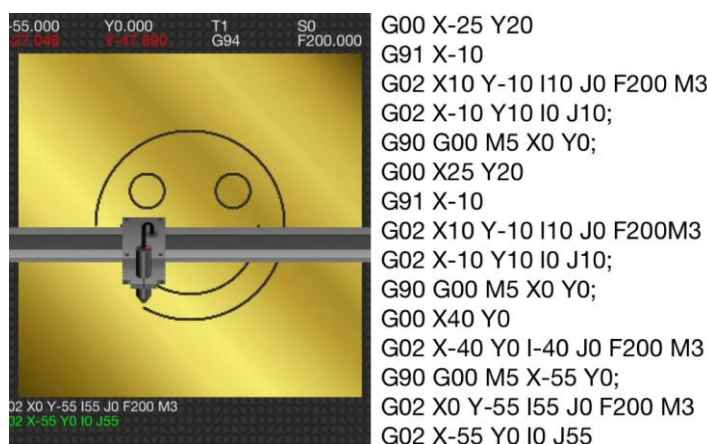


Фиг. 1. Вътрешна структура на стените на сградите на китайската фирма Winsun, 2015 [1]

2.2. Печат

Преди 3D моделът да бъде отпечатан, той трябва да бъде проверен за грешки (напр. незатворени повърхности, нежелани дупки в обема и др.) и те да бъдат коригирани. За това съществуват специални програмни приложения (MeshLab, netfabb, Meshmixer и др.).

След тази проверка се използва програмата **licer**, която конвертира тримерния модел, записан в STL формат, в серия от тънки пластове и произвежда **G-code** файл (фиг. 2), който съдържа инструкции за управление на конкретния вид 3D принтер. Колкото по-тънки са тези пластове, толкова повече нараства техният брой и се удължава общата траектория на печатащата глава. При по-дебели пластове печатът е по-бърз, но крайният резултат е по-груб.



Фиг. 2. Екран от програмата за визуализация на G-code [6]

През януари 2013 г. беше задействана първата работеща версия на 3D принтер за сгради с първоначална работна скорост 2 метра изградена стена за час, по-късно увеличена до 3.5 метра за час, с която една сграда може да бъде завършена за около седмица. Стана ясно, че височината на пласта, както и широчината на отпечатваната ивица зависят основно от характеристиките на бетона, а също така и от желаните характеристики на стената. Скоростта на изтичане на бетона от печатащата глава трябва да бъде съобразена със скоростта ѝ на движение и размерите на полагаения пласт материал. При избора на траектория трябва да се има предвид, че е желателно да се поддържа максимално плавно движение, без големи ускорения, които биха създали неравномерности в полагаения бетон. Всъщност по-коректно е подобно устройство да бъде наречено 3D плотер, понеже печатащата му глава следва векторна траектория, което е характерно за плотерите, а не за принтерите.

В април 2014 година китайската фирма WinSun обяви отпечатването на първите стенни елементи за маломерни едноетажни къщи [1]. При тях се виждат пластове с дебелина около 0.5 инча (фиг. 3). Както е редно е да се очаква, височината на пласта е сравнима или малко по-малка от широчината му (фиг. 1 и 3).

В проекта на американската фирма Contour Crafting [5] личи амбиция да изградят цели сгради, а не отделни сградни елементи. Те предвиждат височината на пласта да е 6 инча, а широчината му – 4 инча. Специални втвърдители се използват, за да се подсигури, че материалът е достатъчно твърд да поддържа следващия пласт, докато роботът обикаля по контура на сградата.

В печата наскоро бяха публикувани данни за спор за интелектуална собственост, възникнал между Contour Crafting и WinSun [4]. Американските специалисти обръщат внимание, че сградите на Winsun не са изцяло отпечатани, а са сглобени от отпечатани стенни елементи. Прави впечатление и еднаквата форма на „пълнежа” на стените, макар че той не се коментира като заимстван. Ако обвинението се окаже вярно, значи работата и на двете фирми се базира на една и съща основна концепция, която принадлежи на проф. Behrokh Khoshnevis, създателят на проекта Contour Crafting.



Фиг. 3. Изгледи от отпечатаните стени на сграда, изградена от Winsun, 2015 [1]

С цел оптимизиране на траекторията на печатащата глава на принтера се използва софтуер, наречен **GCode Viewer**, който визуализира движението ѝ. Потребителят има възможност да промени траекторията с цел пестене на материал или за да се ползва по-малко поддържащ материал, който осигурява равновесието на елемента в момента на отпечатването му. 3D принтерът следва G-code инструкциите за движение и печатащата глава полага работния материал, за да изгради модела и вътрешността му, както се вижда на фиг. 1. Могат да бъдат използвани различни материали: бетон, пластмаса, метал и др. Броят на подходящите за тази технология или адаптирани към нея материали предстои да се увеличава.

В зависимост от големината, сложността и резолюцията (прецизността) на модела, отпечатването му може да продължи часове или дни. Резолюцията на отпечатване се измерва в точки на инч (dots per inch, dpi). Тя е от значение за прецизността на водене на печатащата глава, както и за качеството на получените повърхности в края на печата. При обичайните нестроителни приложения в зависимост от принтера резолюцията може да стига дори до 1600 dpi. За изработване на макети стандартната резолюция е 250 dpi. Няма публикувана информация каква е била резолюцията при изпълнените от Winsun и Contour Crafting строителни обекти.

Стандартните методи за производство могат да бъдат по-евтини и по-бързи за големи производствени серии елементи. Но за малки серии или уникални модели /макети, обекти/ 3D печатът може да бъде по-бърз, по-гъвкав и по-евтин. По този начин 3D принтерите дават нови възможности на дизайнерите и концептуалните разработчици да разработват продукти или концептуални модели, използвайки настолен принтер.

2.3. Завършване

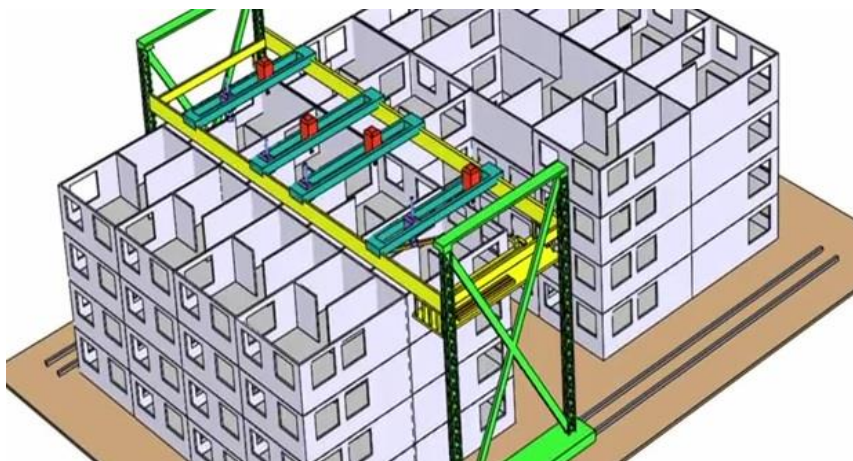
Обикновено резолюцията на печат е достатъчна за доста приложения, но за постигане на още по-голяма прецизност се практикува отпечатването на леко увеличена

версия на желания обект със стандартна резолюция и след това отнемане на излишния материал с повишена резолюция. Някои отпечатани от полимер обекти могат да бъдат допълнително шлифовани. Друга възможност е да се ползват 3D принтери, които работят с няколко материала, или с един и същ материал, но оцветен с различни цветове. Така готовият елемент може да бъде оцветен в няколко цвята още по време на отпечатването му. Понякога по време на печата се изграждат поддържащи структурата и осигуряващи равновесието части, които накрая се премахват.

Видно е от фотографиите на фирмата WinSun (фиг. 1 и 3), че отпечатаните от тях сградни елементи също се нуждаят от довършителни работи по вътрешните и външните повърхности, което всъщност и без друго е нормална практика в строителството. Без съмнение с натрупването на опит в тази технология готовите повърхности ще стават все по-прецизни, което ще намали необходимия допълнителен труд или ще бъдат измислени начини той да се автоматизира, както е в другите области на 3D печата, където се прилага **subtractive manufacturing**.

3. Системи за тримерно моделиране, подходящи за 3D печат за целите на строителството

В момента по-голямото предизвикателство при 3D печата на сгради е производството и управлението на 3D принтера, който по същество е голям индустриален робот. По-лесни за производство са принтери, които печатат отделни сградни елементи. Построяването на голямоформатен принтер, който да е в състояние да печата цели сгради на няколко етажа, е значително по-сериозен концептуален и конструктивен проблем – фиг. 4. От друга страна, счита се, че тримерното моделиране е в голяма степен лесна задача, понеже в света съществуват голямо количество софтуерни продукти, които могат да решават този проблем от години.



Фиг. 4. Проект за голямоформатен 3D принтер на Behrokh Khoshnevis (Contour Crafting) за изграждане на многоетажна жилищна сграда [4]

Системите за тримерно моделиране се делят на три групи: а) **CAD системи**; б) средства за моделиране на свободни форми (**freeform modeling**); в) средства за скулптуриране (**sculpting tools**). Системите от всяка от тези групи са подходящи за генериране на модели, които да бъдат отпечатани чрез 3D печат. CAD системите се

базирано основно на използването на базови геометрични форми. Моделирането на свободни форми позволява повече свобода. Скулптиращите системи позволяват да се работи с нещо като „дигитална глина“, която да се изтегля, притиска и оформя. Въпреки че повечето сгради се проектират най-лесно с CAD програми, съществуват и уникални строителни обекти със сложни форми, които по-лесно могат да се моделират със софтуер за **freeform modeling**.

Част от системите са напълно или частично безплатни, а друга част – платени. Някои от тях са способни да реализират моделиране от трите вида. Пълен списък на всички подходящи програми е даден в [7].

За целите на тримерното моделиране в областта на строителството са добри всички тримерни CAD системи, специализирани за архитектурно и конструктивно моделиране. Такива са продуктите **AutoCAD Architecture**, **AutoCAD Civil 3D**, **Revit Architecture**, **Revit Structure** и др. Удачно е, че фирмата AutoDesk се включи в осигуряването на подходящ софтуер за 3D печат, като вече реализира продукта **123D Design**. Това е едновременно мощно и лесно за работа средство за тримерно моделиране и редактиране. Безплатната версия дава на потребителя достъп до повечето възможности и му позволява да създава и използва 3D модели за некомерсиални приложения.

Продуктът **3ds Max** на AutoDesk също е подходящ за тримерно моделиране на елементи на сградата и обзавеждането. Той се класифицира и като подходящ за моделиране на свободни форми.

В последните години методите за тримерно моделиране се превръщат в стандарт при проектиране и представяне на проектите. От една страна, този начин на моделиране е по-близо до начина на работа и мислене на инженера, който решава проблеми в тримерното пространство, а не в равнината. От друга страна, на базата на тримерен модел на строителната конструкция автоматично могат да се изготвят хоризонтални или вертикални разрези и изгледи. С навлизането на 3D печата на сгради за строителните инженери ще се появи още едно много сериозно основание да преминат към тримерно моделиране на проектираните от тях строителни обекти.

4. Изводи

Свидетели сме на възникването и развитието на една нова обещаваща технология в строителството. Тя изисква ново мислене от проектантите, които трябва да изготвят тримерни модели на сградите, като се съобразяват с особеностите ѝ. Затова очакваме, че тя ще се превърне в предизвикателство към архитектурното и инженерното образование. В още по-голяма степен тя ще изисква сериозни промени и значителна предприемчивост в по-консервативната строителна индустрия у нас.

ЛИТЕРАТУРА

1. 3D printer build a house in 20 hours, видео на интернет адрес: <https://www.youtube.com/watch?v=XFNbbVTNT10>.
2. 3D printing, Wikipedia, интернет адрес: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing.
3. Building printing, Wikipedia, интернет адрес: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_printing.

4. *Krassenstein, B.* Exclusive: How Winsun Stole IP from Contour Crafting and Is “Faking” Their 3D Printed Homes & Apartments, 3D print, 26 April 2015, интернет адрес: <http://3dprint.com/57764/winsun-3d-print-fake/>.

5. *Mearian, L.* 3D printer constructs 10 buildings in one day from recycled materials, ComputerWorld, 2 July 2014, интернет адрес: <http://www.computerworld.com/article/2489664/emerging-technology/3d-printer-constructs-10-buildings-in-one-day-from-recycled-materials.html>.

6. Sample G-codes: #1 Smiley face (circular interpolation basics), видео на интернет адрес: <https://www.youtube.com/watch?v=665o92rU62g>.

7. Software & Tools: 3D Modeling Tools, интернет адрес: <http://3dprintingforbeginners.com/software-tools/>.

3D MODELING FOR 3D PRINTED BUILDINGS

St. Ivanova¹

Keywords: 3D printing, new technologies, three-dimensional modeling

Research area: modern materials and technologies

ABSTRACT

3D printing is a new technology for the construction of three-dimensional objects by superimposing material in consecutive layers in height. This technology is used in a variety of fields. Over the past year the number of applications of this technology increased in the building industry – both for building small one-storey houses, and of two- or more storey buildings with more complex layout. The number of implementations is growing every month. The basis of this method of building printing lies on their 3D modeling in suitable CAD systems. In this paper we review the main steps in such modeling and consider the suitable programs.

¹Stoyanka Ivanova, Chief Asst. Dr. Arch., Dept. “Computer-Aided Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: solaria@online.bg

