

## ПРИЛОЖЕНИЯ НА 3D ПЕЧАТА И ДИГИТАЛНИТЕ ТРАНСФОРМАЦИИ В АЕРОКОСМИЧЕСКОТО ИНЖЕНЕРСТВО И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ

Йоана Иванова

### APPLICATIONS OF 3D PRINTING AND DIGITAL TRANSFORMATION IN AEROSPACE ENGINEERING AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES

Yoana Ivanova

**Резюме:** Целта на разработката е на база на конкретни примери от научно-практическата работа на автора да бъде представен цялостният процес на изграждане на функционални прототипи за целите на аерокосмическото инженерство и телекомуникационните технологии. Научно-приложният принос на изследването се изразява в правилен подбор и сравнителен анализ на съвместими софтуерни продукти и устройства за 3D моделиране, дигитална трансформация и 3D печат на обекти от космическата инфраструктура и в частност на радиотехнически устройства като ключови компоненти на телекомуникационните сателити. Представените практически резултати са във вид на краен продукт, който при изпълнени критерии за прецизно моделиране и избор на подходящ материал за 3D печат, може да удовлетвори критериите за качество на съответния отрасъл, за който е предназначен.

**Ключови думи:** аерокосмическо инженерство, космическа инфраструктура, дигитални трансформации, 3D моделиране, 3D сканиране, 3D печат

**Abstract:** The aim of the development is to present the overall process of building functional prototypes for the purposes of aerospace engineering and telecommunication technologies, based on specific examples from the author's scientific and practical work. The scientific-applied contribution of the research is expressed in the correct selection and comparative analysis of compatible software products and devices for 3D modeling, digital transformation and 3D printing of objects from the space infrastructure and, in particular, of radio technical devices as key components of telecommunication satellites. The presented practical results are in the form of a final product that, if the criteria for precise modeling and the selection of a suitable material for 3D printing are met, can satisfy the quality criteria of the relevant industry for which it is intended.

**Keywords:** aerospace engineering, space infrastructure, digital transformations, 3D modeling, 3D scanning, 3D printing

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

В разработката се акцентира върху възможността за съвместно прилагане на дигиталните трансформации и 3D печата, която разкрива неограничени перспективи за развитие на редица промишлени отрасли. Конкретно по отношение на избраната от автора област на аерокосмическото инженерство, обосновката е свързана с това, че в нея има богато разнообразие от обекти, които могат да бъдат моделирани и отпечатани. Това могат да бъдат сателити и техни ключови компоненти (например антени за телекомуникационни сателити), роботи, превозни средства, съоръжения и основни технически детайли (например зъбни колела).

Освен с роботиката, аерокосмическото инженерство е тясно свързано с други области, сред които попадат авиационната и космическа медицина, като трябва да се отбележи, че технологиите за биопечат на тъкани и органи [1] вече са намерили своето

място в редица медицински направления [2] (ортопедия, дентална медицина, биомедицина и др.). От друга страна познаването на понятието „инфраструктура“ и в частност на секторите на наземната и космическата инфраструктура, между които съществува взаимовръзка, може да ни даде по-широк поглед върху техните активи и респективно да открие нови хоризонти пред изследователите на гореизброените инженерни и научни направления. В случая биха били полезни виртуалните ресурси за изследване на космическото пространство.

Пример може да се даде с българската платформа за изучаване на космическото пространство Spacertop Academy, NASA 3D Resources и NASA's Eyes, които са подходящи за самообучение, тъй като съдържат реалистични 3D визуализации на обекти и/или сцени от космическата инфраструктура в реално време, както и детайлна информация относно съвременните концепции в сателитния дизайн, тенденциите в развитието на космическата биомедицина, разработката на космически медицински биороботи и биосензорни системи, внедряването на бионанотехнологии за изучаване и управление на биологични процеси и явления.

**Раздел 2** на доклада включва кратък обзор на изследвания на автора в областта на дигиталните трансформации и 3D печатът за целите на аерокосмическото инженерство. В **Раздел 3** авторът акцентира върху предимствата от съвместното приложение на 3D печата и дигиталните трансформации, като анализира възможни проблеми и грешки, които съпътстват технологичния процес. В **Раздел 4** е направена сравнителна характеристика на типове софтуерни продукти за изграждане на геометрично еднакви или геометрично подобни 3D модели на аерокосмически обекти или отделни техни компоненти, които да удовлетворяват основни изисквания за печат. Представени са примери от практическата работа на автора, които представляват крайни продукти онагледяващи изводите от направените в настоящото изследване сравнителни анализи на методи и софтуерни продукти за дигитална трансформация.

## **2. ДИГИТАЛНИ ТРАНСФОРМАЦИИ НА ОБЕКТИ ОТ КОСМИЧЕСКАТА ИНФРАСТРУКТУРА**

Изследването на класическите методи за дигитална трансформация на физически обекти чрез средства за 3D моделиране и 3D сканиране в практическата работа на автора се изразяват в сравнителен анализ на резултатите от 3D моделиране и 3D сканиране на един и същ обект. Например за моделиране на робота-дроид BB-8 от сагата „Междузвездни войни“ е избран софтуерен продукт 3DS Max, а сканирането е извършено с лазерен 3D скенер с два лазера **CYCLOPE**.

На база на резултатите от двата метода е направен извод, че подходящ за 3D печат е обектът, изграден в софтуерна среда за 3D моделиране, защото при него няма риск от наличие на незатворени повърхнини. Снимка на оригиналния физически обект <sup>1</sup> и рендерирано изображение на изградения на база на него 3D модел са показани на Фигура 1. На Фигура 2 се вижда снимка на отпечатани 3D обекти от космическата инфраструктура, сред които е и роботът-дроид BB-8. Необходимо е да се отбележи, че 3D моделът е геометрично подобен на физическия обект. Отпечатването му в по-малък размер съобразно с възможностите на принтер **DaVinci Mini W+** е с цел да се редуцира времето за печат.

Не на последно място трябва да се обърне внимание на методи за дигитализация, които се реализират без необходимост от 3D скенер, но вместо това изискват заснети при

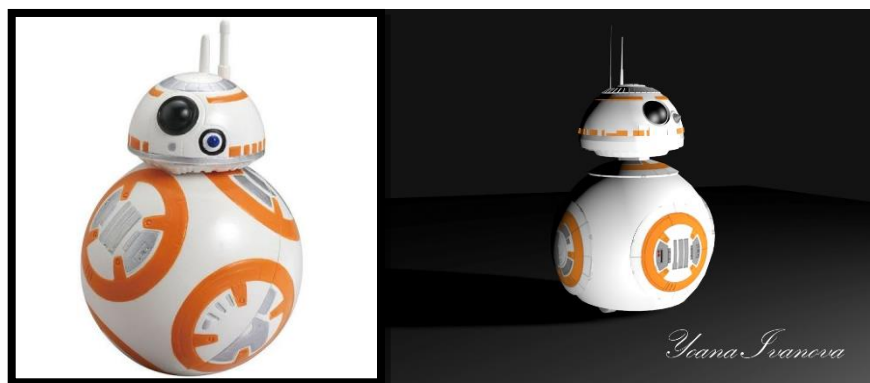
---

<sup>1</sup> <https://www.pinterest.com/pin/230668812236394461/>

специални условия снимки с висока резолюция, които визуализират обекта от всички страни. За получаване на облак от точки с висока плътност се използват фотограметрични софтуерни продукти. Получените по време на експериментите облаци от точки на избрани модели могат да бъдат трансформирани в обемни дигитални модели чрез реконструкция в софтуер MeshLab и допълнителна обработка преди импортиране в софтуера на 3D принтера.

Предвид приложението на роботиката в аерокосмическото инженерство би следвало да се вземат предвид критериите за класификация на роботите, на които трябва да се обърне внимание в процеса на 3D моделиране и печат Това са подвижност (подвижни и статични), конструктивни особености (голямо разнообразие), предназначение (монтажни, индустриални, тежкотоварни, медицински и др.), среда на приложение (наземни, въздушни, космически, подводни и др.) [3].

На база на тях могат да се разработят концептуални методики, които да бъдат използвани за моделиране на различни обекти със сходна конструкция (например самолет, космическа совалка, ракета и др.). Пример от практическата работа на автора в тази посока може да бъде даден с космическата совалка STS-120<sup>2</sup>, предназначена за доставяне на NODE-2 (Harmony) до Международната космическа станция (ISS - International Space Station), и AWACS<sup>3</sup>. При сравнителен анализ на двата обекта може да се направи извод, че прилагането на един и същ хибриден метод за 3D моделиране е удачно от гледна точка на геометричната форма на обектите, които са показани на Фигура 3. Докато за моделиране на корпуса е подходящ методът Solid Modelling, то за крилата би следвало да се използва Surface Modelling.



Фиг. 1. Снимка на физически обект (робот - дроид BB-8) и рендерирано изображение на изградения на база на него 3D модел в софтуер 3DS Max.

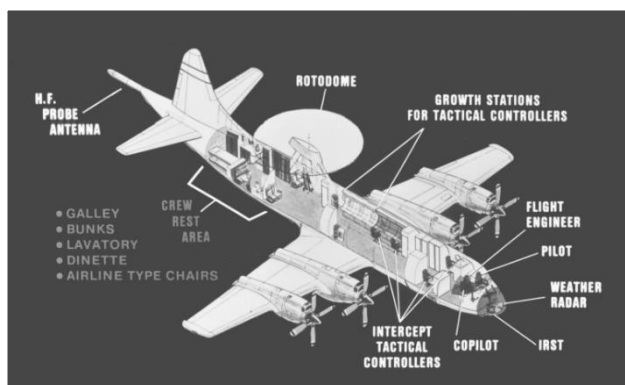
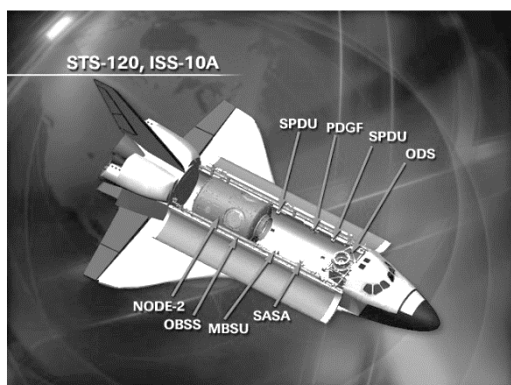
---

<sup>2</sup> [https://www.nasa.gov/images/content/189374main\\_mission\\_overview\\_huning01.jpg](https://www.nasa.gov/images/content/189374main_mission_overview_huning01.jpg)

<sup>3</sup> <https://www.ausairpower.net/aw-aesa.html>

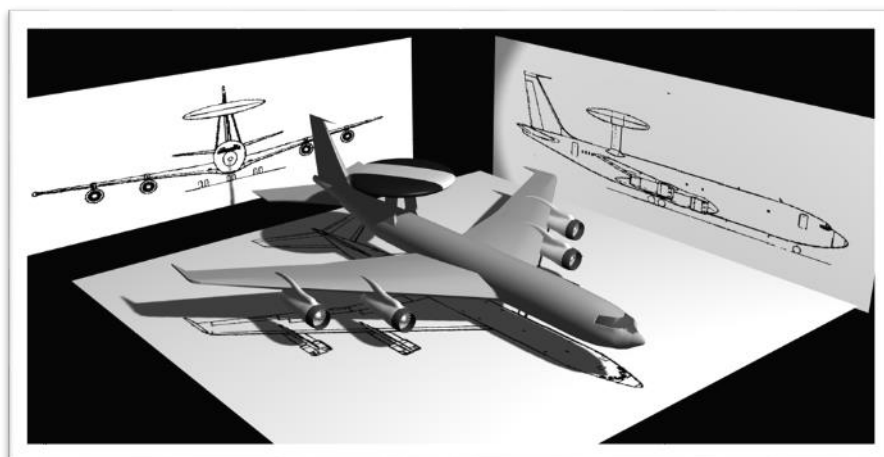


Фиг. 2. 3D Обекти от космическата инфраструктура, отпечатани с принтер DaVinci Mini W+.



Фиг. 3. Компоненти на космическата совалка STS-120 и AWACS.

На Фигура 4 е показан подходящ за 3D печат геометрично подобен модел на Boeing E-3 Sentry (AWACS), създаден от автора в софтуер 3DS Max на база на чертежи от три страни. Предвид, че е с висока сложност поради своята детайлност, моделът може да бъде декомпозиран на отделни компоненти, всеки от които да се отпечата отделно. Ако моделът се печата цялостно, в настройките на 3D принтера трябва да се зададат подпори.



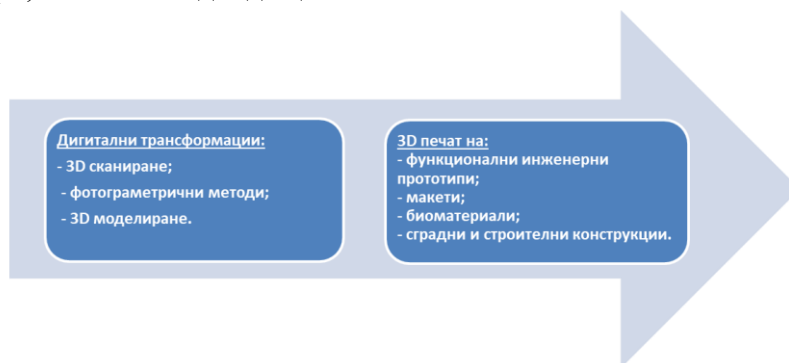
Фиг. 4. 3D модел на Boeing E-3 Sentry (AWACS) за печат.

### 3. СЪВМЕСТНО ПРИЛОЖЕНИЕ НА 3D ПЕЧАТА И ДИГИТАЛНИТЕ ТРАНСФОРМАЦИИ

Докато при създаване на 3D дизайн за виртуални среди най-съществена роля за постигане на реализъм в сцената имат текстурирането на обектите, създаването на материали и поставянето на осветление, при 3D печата е от значение обектът да бъде изработен от подходящ материал за печат в зависимост от неговите функции и предназначение. На Фигура 5 са представени основните методи, които се прилагат за дигитална трансформация на физически обекти от реалния свят в 3D дигитални модели, които подлежат на 3D визуализация във виртуална среда или отпечатване чрез технологии и средства за 3D печат.

Например за образователни цели предпочитан материал е PLA (Polylactic acid) поради редица негови предимства в сравнение например с ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), който също може да се използва ефективно при определени условия. PETG (полиетилен терефталат) превъзхожда PLA от гледна точка на гъвкавост, но с него се печата по-трудно [4, 5]. Тази конкретизация се налага поради специфичните характеристики на различните технически средства, които се използват за изграждане на дигиталните модели на обектите и видовете 3D принтери, които се класифицират в зависимост от предназначението си и технологиите за печат.

За по-голяма яснота предстои да бъде обяснен принципът им на работа в зависимост от типове лазери, които са подходящи за 3D печат:



Фиг. 5. Основни методи за дигитализация на физически обекти с оглед на последващ 3D печат.

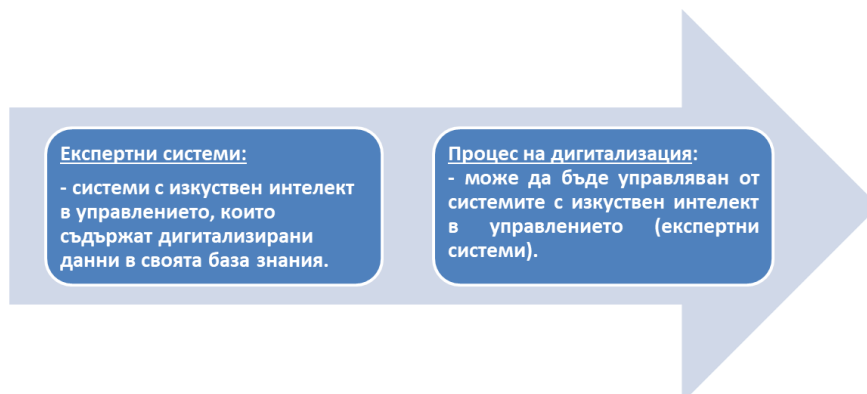
- **Nd –YAG лазер** – обикновено работят в импулсен режим, но могат и в непрекъснат. Активната среда е кристал от итрий-алуминиев-гранат ( $Y_3Al_5O_{12}$ ). Възбуждането в Nd-YAG лазерите става на четири енергийни нива. Йоните Nd имат две абсорбционни ивици и се прехвърлят от нивата на възбуждане към горните нива чрез нерадиационен преход.
- **Argon – ion лазер** - активната среда е плазма, която се състои от аргонни йони и свободни електрони. През тръбата, която съдържа Ar, протича електрически ток. В резултат от това аргонът се йонизира, нагрява се до  $3000^{\circ}K$  и се възбужда. Поради високата температура на нагряване тези лазери са оборудвани с охлаждащи средства. Изходът обикновено е комбинация от синя, зелена и ултравиолетова светлина.
- **He – Cd лазер** – в хелиево-кадмиевия лазер активната среда е смес от хелиев газ под много високо налягане и изпарен кадмий, получен при нагряване от 250 до  $300^{\circ}C$ . Поради първоначалното втечняване на Cd има забавяне от средно 10 min в началото на печатния процес. Преходите са между енергийните нива на единично йонизираните кадмиеви атоми. Възможни са около 12 нива. Изходът е предимно във виолетовата и ултравиолетовата област. Тъй като кадмиевите атоми са електрически положителни, те се придвижват към катода и се полагат усилия за редуциране загубата на Cd. Поради тези технологични недостатъци лазерите от този тип се характеризират със сравнително ниска ефективност.
- **CO<sub>2</sub> – лазер** – активната среда се състои от CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и He. CO<sub>2</sub> може да вибрира в три режима: симетрично разтягане, огъване и асиметрично разтягане. Лазерното лъчение възниква при преход от по-високо енергийния режим на асиметрично разтягане към другите два по-ниско енергийни режима.
- **полупроводников лазер** – известен е в практиката като инжекционен. Електроните са свързани с атомите на полупроводника във валентна лента. В проводящата лента електроните са свободни и в движение. Между двата типа енергийни ленти енергийна разлика е голяма. При получаване на енергия електрон от валентната лента може да премине в проводящата лента, като оставя вакантно място (положително заредена „дупка“) във вакантната лента. Si и Ge са сред най-често използваните полупроводникови материали [6].

Принтерите от висок клас, базирани на технологията SLA (Stereolithography) и SLS – (Selective Laser Sintering), са конструирани така, че технологичните проблеми, като например ниската адхезия между детайла и работната маса на принтера, да са сведени до минимум. Но съществуват приложни методи за ефективното редуциране на рисковите фактори и оптимизация на печатния процес при използване на принтери за масова употреба, като например FDM (Fused Deposition Modeling) 3D принтерите. Затова в разработката авторът акцентира върху принтерите от среден клас, чрез които се постига оптимален баланс между финансова инвестиция и качество на продукцията, което се оценява по редица критерии (резолюция, ниво на абстракция и детайлизация, здравина, устойчивост, якост и др.).

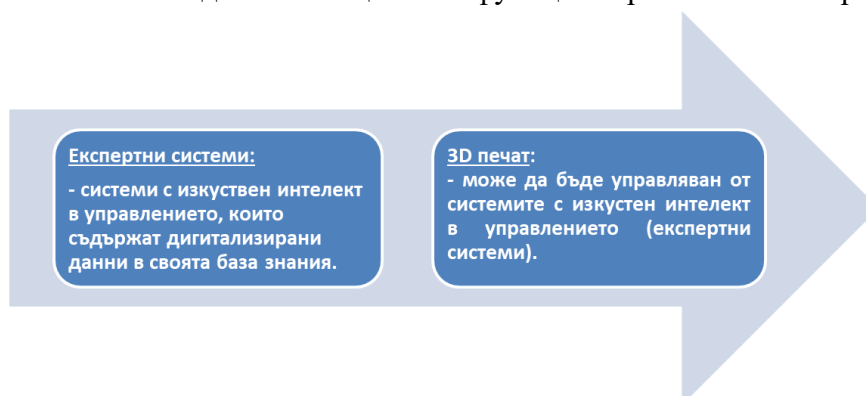
Тенденциите в развитието на 3D скенерите и принтерите са свързани с разширяване на приложението на изкуствения интелект при управление на процесите на дигитализация и печат. Конкретно в печата на инженерни обекти с големи размери (large scale) тези технологии спомагат за прецизното разрязване на 3D модела на слоеве, определяне на качеството на конструкцията чрез анализ на вибрациите [7], както и за мониторинг на цялостния работен процес посредством компютърно зрение, което дава възможност за редуциране на неточности в печатния процес в реално време [8]. Самите корекции на ключовите за 3D печат параметри се правят с помощта на изкуствени невронни мрежи, които могат да бъдат обучавани в симулационна среда.

На Фигури 6 и 7 са представени схеми, които имат за цел да покажат значението на дигитализацията за функционирането на експертните системи (системи с изкуствен

интелект в управлението) и ролята на експертните системи при управление на процес на 3D печат.



Фиг. 6. Значение на дигитализацията за функционирането на експертните системи



Фиг. 7. Значение на експертните системи при управление на процеса на 3D печат.

#### 4. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА СОФТУЕРНИ СРЕДСТВА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА 3D МОДЕЛИ НА АЕРОКОСМИЧЕСКИ ОБЕКТИ СПОРЕД ИЗИСКВАНИЯТА ЗА 3D ПЕЧАТ

Във всеки геометричен модел са заложили данни, които са описани в схемата на Фигура 8.



Фиг. 8. Данни, заложили в геометричните модели.

Характеристиките на основните геометрични модели са представени в Таблица 1 [9].

**ПРИЛОЖЕНИЯ НА 3D ПЕЧАТА И ДИГИТАЛНИТЕ ТРАНСФОРМАЦИИ В  
АЕРОКОСМИЧЕСКОТО ИНЖЕНЕРСТВО И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ЙОАНА ИВАНОВА**

Таблица 1.

<b>Характеристики на основните геометрични модели</b>		
<b>Скелетен модел</b>	<b>Повърхностен модел</b>	<b>Обемен модел</b>
Дефинира се чрез координатите на върховете и ръбовете по (x, y, z), включително и на тези, разположение във вътрешния обем.	Дефинира се чрез гранични повърхнини, които обграждат обема на обекта.	Представя се чрез обемен геометрични примитиви и булевите операции, които се извършват с тях.
Върховете и ръбовете могат да бъдат двукратно обхождани в различни посоки, като при ръбовете се посочва номерът на началния и крайния връх. Използва се за предварителна визуализация при сложни анимации, когато трябва да се коригират своевременно моделите и движенията им в пространството.	Граничното представяне е надградане на скелетния модел от гледна точка на информация за заграждащите стени и ориентацията им. Ориентацията на стените се задава с посоката на обхождане на съответните върхове, като всяка стена се описва правилно с прилежащите ѝ върхове в положителна посока (обратна на часовниковата стрелка), когато нормалният вектор сочи навън.	<i>Продукционен</i> – описва обекта чрез равнинно сечение и продукционно правило, което задава движението на сечението в пространството за генериране на обем (ротация, трансляция, произволно).
		<i>Твърдотелен</i> – обединение, сечение или интерференция на няколко обеменни примитива.
		<i>Клетъчен</i> – описва се чрез разделяне на пространството, т.е. разделяне на обекта на по-прости елементи, които са свързани в цяло без взаимни пресичания.

В Таблица 2 е направена сравнителна характеристика на софтуерни продукти за създаване на различни геометрично подобни на реалните обекти с високо ниво на визуален реализъм (Autodesk 3DS Max, Maya и др.) и такива за прецизно моделиране на инженерни обекти (Autodesk 123D Design, AutoCAD, Fusion 360, Inventor) като технически детайли, телекомуникационни устройства и аерокосмически обекти, които могат да бъдат геометрично еднакви с реалните.

Таблица 2.

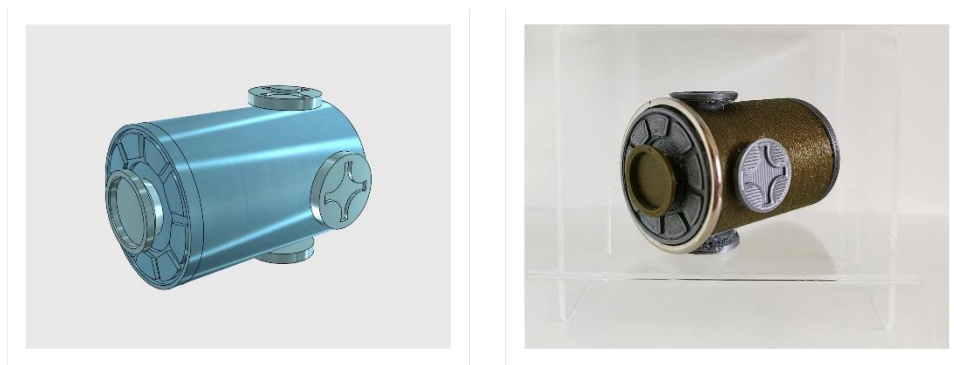
<b>Софтуерни продукти за моделиране на геометрично подобни обекти на реалните</b>	<b>Софтуерни продукти за инженерно моделиране на геометрично еднакви обекти с реалните</b>
Високо ниво на сложност	Средно ниво на сложност
Изискват художествени умения	Изискват се умения за прецизно инженерно чертане.
Изискват продължително време за запознаване с множеството инструменти и възможности на програмата.	Висока ефективност на работния процес от гледна точка на време за моделиране.
Имат богати възможности за текстуриране	Имат оптимални възможности за прецизно



на обектите, осветление, светлосенки, поставяне на камери в сцените, анимация и ефекти.	инженерно чертане и САД дизайн.
Подходящи са за професионалисти в областта на мултимедията и компютърната графика.	Подходящи са за начинаещи и експерти в инженерно-дизайнерски направления.
Подходящи са за създаване на 3D модели и анимация за компютърна визуализация.	Подходящи са за моделиране на обекти за 3D печат.

Предстои да бъдат представени няколко примера за авторски инженерни модели, базирани на критерия за геометрична подобност или еднаквост.

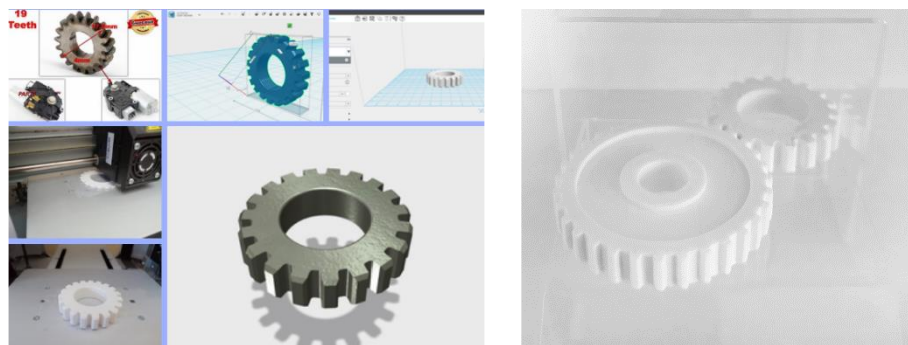
- **космическа лаборатория „Harmony”** – един от модулите на Международната космическа станция. Моделът е геометрично подобен на реалния със средно ниво на детайлизация. Създаден е по схема<sup>4</sup> в софтуер за инженерно моделиране Autodesk 123D Design. На Фигура 9 са показани рендерирано изображение на 3D модела и отпечатаният обект от PETG филамент.
- **зъбни колела** – на Фигури 10 са показани съответно геометрично подобни и еднакви 3D модели на зъбни колела, отпечатани от PLA филамент. Зъбното колело на изображението вляво е елемент на мотор на люк / шибидах (BMW Mercedes). То е моделирано по схема<sup>5</sup> и рендерирано в Autodesk 123D Design. Отпечатано е в по-голям размер от реалния. Съвместимите зъбни колела вдясно са моделирани в 3DS Max. Използваният материал е PLA.



Фиг. 9. Геометрично подобен 3D модел на космическа лаборатория Harmony.

<sup>4</sup> [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2018/06/European\\_modules\\_on\\_the\\_Space\\_Station\\_an\\_infographic](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/06/European_modules_on_the_Space_Station_an_infographic)

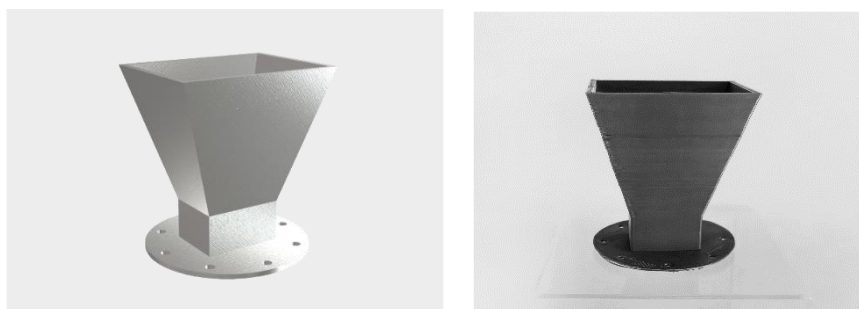
<sup>5</sup> <https://skorost.bg/product/zabno-kolelo-motor-na-lyuk-shibidah-za-bmw-mercedes/>



Фиг. 10. Геометрично подобни и еднакви 3D модели на зъбни колела.

- **рупорна антена** – радиотехническото устройство на Фигура 11 е геометрично подобно на избрана антена от този тип. Моделирано е в Autodesk 123D Design и е отпечатано от PETG филамент.

Фиг. 11. Геометрично еднакъв 3D модел на рупорна антена.



## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Включените в разработката 3D модели на обекти представят различни направления в аерокосмическото и авиоинженерство: роботика, самолето- и ракетостроене, телекомуникационни технологии, машинно производство и др. Тези области бележат забележителен и непрекъснат прогрес през последните десетилетия, като тенденциите са това да продължи и в бъдеще.

3D печатът, дигиталните трансформации и изкуствените невронни мрежи са част от интегрирани иновативни решения с множество приложения в науката и изкуството. Доказателство за това са 3D принтерът с изкуствен интелект на компания Inkbit [10] и 3D скенерът с изкуствен интелект Nokta Invenio, който представлява интелигентен детектор в реално време със система за изображения.

В обобщение може да се каже, че фотограметричните методи и 3D моделирането от една страна и агентно-базираното симулационно моделиране и визуализации от друга, изграждат цялостната картина на бъдещото развитие в инженерните и научните области, докато 3D печатът е мощен инструмент за функционална реализация на креативните концепции.

### ИЗПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ (REFERENCES)

- [1] MURPHY, Sean V. and Anthony ATALA. 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology* [online]. 2014, vol. 32(8), pp. 773-785 [viewed 08.05.2024]. Available from: <https://doi.org/10.1038/nbt.2958>

- [2] MUNOZ-ABRAHAM, Armando. S., Manuel I. RODRIGUEZ-DAVALOS, Alessandra BERTACCO, Brian WENGERTER, John P. GABRIEL and David C. MULLIGAN. 3D Printing of Organs for Transplantation: Where Are We and Where Are We Heading?. Tissue engineering and regeneration. *Current Transplantation Reports* [online]. 2016, vol. 3, pp. 93-99 [viewed 08.05.2024]. ISSN 2196-3029. Springer Link. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40472-016-0089-6>
- [3] ЧАВДАРОВ, Иван. *Моделиране на роботи с 3D принтери*. София: Университетско издателство „Св. Климент Охридски“, 2018. ISBN 978-954-074-455-1. [CHAVDAROV, Ivan. *Modelirane na roboti s 3D printeri*. Sofia: Universitetsko izdatelstvo „Sv. Kliment Ohridski“, 2018. ISBN 978-954-074-455-1.]
- [4] TORTA, Stephanie and Jonathan TORTA. *3D Printing: An Introduction, Mercury Learning and Information* [online]. Dulles, Virginia, Boston, Massachusetts, 2019 [viewed 08.05.2024]. ISBN 978-1683922094. Available from: [hps://terrorgum.com/tfox/books/3dprinting.pdf](https://terrorgum.com/tfox/books/3dprinting.pdf)
- [5] KELLY, James F. *3D Printing: Build Your Own 3D Printer and Print Your own 3D Objects* [online]. Pearson Education, Inc., 2014 [viewed 08.05.2024]. ISBN 978-0-7897-5235-2 [viewed 08.05.2024]. Available from: <http://geo-dim-tol.ir/files/3dprinting.pdf>
- [6] LEE, Hyub, Chin Huat Joel LIM, Mun J. LOW and Nicholas THAM. Lasers in additive manufacturing: A review. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology* [online]. 2017, vol. 4(3), pp. 307-322 [viewed 08.05.2024]. ISSN 2198-0810. Springer Link. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40684-017-0037-7>
- [7] ГАЙДАРОВ, Иван. AI рационализира процеса на 3D печат. *Digitaltalk* [онлайн]. 4.08.2022 [прегледан 08.05.2023]. Достъпен на: [https://digitalk.bg/peshat/2022/08/04/4376833\\_ai\\_racionalizira\\_procesa\\_na\\_3d\\_pechat/](https://digitalk.bg/peshat/2022/08/04/4376833_ai_racionalizira_procesa_na_3d_pechat/) [GAYDAROV, Ivan. AI ratsionalizira protsesa na 3D pechat. *Digitaltalk* [onlayn]. 4.08.2022 [pregledan 08.05.2023]. Dostapen na: [https://digitalk.bg/peshat/2022/08/04/4376833\\_ai\\_racionalizira\\_procesa\\_na\\_3d\\_pechat/](https://digitalk.bg/peshat/2022/08/04/4376833_ai_racionalizira_procesa_na_3d_pechat/)]
- [8] Китай ще строи 180-метров ВЕЦ с изкуствен интелект и 3D печат. *Profit.bg* [онлайн]. 02.09.2022 [прегледан 08.05.2023]. Достъпен на: <https://profit.bg/kitay-shte-stroi-180-metrov-vets-s-izkustven-intelekt-i-3d-pechat/> [Kitay shte stroi 180-metrov VETs s izkustven intelekt i 3D pechat. *Profit.bg* [onlayn]. 02.09.2022 [pregledan 08.05.2023]. Dostapen na: <https://profit.bg/kitay-shte-stroi-180-metrov-vets-s-izkustven-intelekt-i-3d-pechat/>]
- [9] МАЛЕШКОВ, Стоян и Веселин ГЕОРГИЕВ. *Компютърна графика и фотореалистична визуализация*. София: Нов български университет, 2014. ISBN 978-954-535-808-7. [MALESHKOV, Stoyan i Veselin GEORGIEV. *Kompyutarna grafika i fotorealisticzna vizualizatsia*. Sofia: Nov balgarski universitet, 2014. ISBN 978-954-535-808-7.]
- [10] Разработиха 3D-принтер с изкуствен интелект. *Economy.bg* [онлайн]. 09.07.2019 [прегледан 08.05.2023]. Достъпен на: <https://www.economy.bg/inovations/view/35679/Razrabotiha-3D-printer-s-izkustven-intelekt> [Razrabotiha 3D-printer s izkustven intelekt. *Economy.bg* [onlayn]. 09.07.2019 [pregledan 08.05.2023]. Dostapen na: <https://www.economy.bg/inovations/view/35679/Razrabotiha-3D-printer-s-izkustven-intelekt>]

Информация за автора/ите:

Главен асистент д-р Йоана Атанасова Иванова, Департамент „Телекомуникации“ НБУ, ул. Монтевидео 21, e-mail: [yivanova@nbu.bg](mailto:yivanova@nbu.bg)

Contacts:

Chief Assistant, Dr Yoana Atanasova Ivanova, New Bulgarian University, Department Telecommunications, Sofia, 21 Montevideo St., e-mail: [yivanova@nbu.bg](mailto:yivanova@nbu.bg)

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 03.05.2023

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 30.09.2023