

УДК 371.01

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ НАОЧНОСТІ ДЛЯ ШКІЛЬНИХ ПРЕДМЕТІВ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНОГО ЦИКЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D ТЕХНОЛОГІЙ**

*Тетяна Тихонова,  
Олександр Богданов*

*У статті автори розглядають можливості використання технологій 3D друк для виготовлення засобів наочності.*

*Ключові слова:* засіб наочності, 3D принтер, 3D друк, веб-репозиторії тривимірних моделей.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ СРЕДСТВ НАГЛЯДНОСТИ  
ДЛЯ ШКОЛЬНЫХ ПРЕДМЕТОВ ЕСТЕСТВЕННО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
ЦИКЛА С ПОМОЩЬЮ 3D ТЕХНОЛОГИЙ**

*Татьяна Тихонова,  
Александр Богданов*

*В статье рассматриваются возможности технологий 3D печати для изготовления наглядных средств обучения.*

*Ключевые слова: средство наглядности, 3D принтер, 3D печать, веб-репозиторий трехмерных моделей.*

**DESIGN AND PRODUCTION OF VISUAL TEACHING AIDS  
FOR NATURAL AND MATHEMATICAL SCHOOL SUBJECTS  
WITH 3D TECHNOLOGY**

*Tetyana Tikhonova,  
Alexander Bogdanov*

*The article discusses the possibility of 3D printing technology for the production of visual teaching aids.*

*Key words: a means of illustration, 3D printer, 3D printing, web repository of three-dimension models.*

Невід'ємною складовою сучасного навчально-виховного процесу є засоби навчання, які суттєво підвищують продуктивність праці вчителя та учнів. Багатьма педагогами доведено, що висока якість засвоєння навчальної інформації досягається поєднанням словесного викладення матеріалу та використання засобів наочності, які надають можливість візуально уявити предмети, явища та процеси, що вивчаються. Наочний матеріал є зовнішньою опорою внутрішніх розумових дій, які здійснює учень під керівництвом вчителя в процесі опанування нових знань.

Необхідність розробки сучасних засобів навчання підтверджується впровадженням Концепції створення засобів навчання нового покоління для середніх закладів освіти України (О. Я. Савченко, А. М. Гуржій, Ю. О. Жук та ін., 1997), багатьма науковими дослідженнями, які проводить Інститут інформаційних технологій та засобів навчання НАПН України. Створенням та впровадженням нових засобів навчання на основі сучасних

інформаційно-комунікаційних технологій опікуються відомі українські вчені В. Ю. Биков, А. М. Гуржій, Ю. О. Дорошенко, М. І Жалдак, Ю. О. Жук, В. І. Ключко, В. В. Лапінський, Н. В. Морзе, С. А. Раков, О. В. Співаковський та ін.

Використання мультимедійних навчальних засобів, комп'ютерних моделей процесів та явищ дійсно підвищує якість навчання, мотивацію пізнавальних процесів учнів, дозволяє унаочнити об'єкти навчання, особливо якщо їх складно змоделювати в реальних умовах навчального середовища. Але у змісті шкільних предметів (особливо природничо-математичного циклу) є багато тем, де було б доцільніше використовувати реальні фізичні моделі об'єктів, що вивчаються, а не замінювати їх екранними образами. Мова йде про так звані об'ємно-образні наочні засоби – моделі, муляжі, макети, а також обладнання для проведення навчальних дослідів на уроках фізики, біології, математики та інших предметів.

На жаль, в умовах складного



економічного становища держава не має можливості забезпечити школи новими сучасними засобами наочності, а школи не мають коштів на їх придбання. До того ж саме виробництво таких засобів в останні роки значно скоротилося у зв'язку з високою собівартістю продукції, а від того – низьким попитом.

На наш погляд, цю проблему можна вирішити за умов використання для виготовлення засобів наочності 3D-технологій (3D-проекування та 3D-друку). Це сучасні нові технології, які останнім часом швидко набирають обертів, та в найближчі 3–5 років стануть широко поширені у виробництві, науці, освіті й навіть домашньому господарстві.

Метою цієї статті є огляд та прогноз перспектив використання 3D-систем для проектування та виготовлення об'ємно-образних засобів наочності для навчання шкільних предметів.

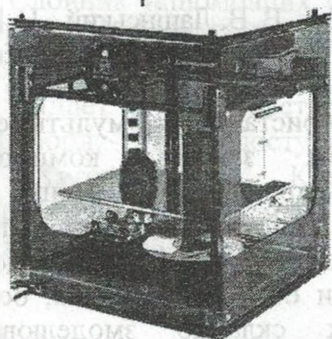


Рис. 1. Непромисловий 3D-принтер 3D Touch (з однією головкою для друку) компанії BFB.

Апаратним засобом технології 3D-друку є 3D-принтер – прилад, який використовує методи створення фізичного об'єкта на основі віртуальної 3D-моделі (рис. 1). Технологія 3D-друку є технологією адитивного виробництва. Це технологія, що формує тривимірні об'єкти не шляхом видалення матеріалу (точіння, фрезерування, електроерозійна обробка) або змінення форми заготовки

(кування, штампування, пресування), а пошарового нарощування (додавання) матеріалу або змінення фазового стану речовини в заданій області простору. Виготовлення об'єкта здійснюється одразу ж після створення віртуальної моделі й не вимагає додаткового програмування устаткування (обладнання з ЧПУ). Час виготовлення моделі може бути від десятків хвилин до кількох годин.

На сьогодні існує декілька технологій створення об'ємних моделей на основі віртуальної:

- **SLA** – *Stereo Lithography Apparatus*. Послідовне засвічення ультрафіолетовим лазером перерізів об'єкта на поверхні ємності зі світлочутливою смолою.
- **SLS** – *Selective Laser Sintering*. Спикання порошкового матеріалу лазером.
- **MJM** – *Multi Jet Modeling*. Рідкий фотополімер наноситься пошарово за допомогою струменевого друку.
- **FTI** – *Film Transfer Imaging*. Формування і перенесення шару фотополімеру за допомогою плівки.
- **LOM** – *Laminated Object Manufacturing*. Склеювання листового матеріалу і вирізування перетину лазером або ріжучим інструментом (папір, пластик).
- **FDM** – *Fused Deposition Modeling*. Пошарове нанесення полімерної нитки.
- **EVM** – *Electron Beam Melting*. Спикання металевого порошку лазером.
- **SGC** – *Solid Ground Curing*. Опромінення ультрафіолетовою лампою з використанням фотомаски.
- *Binding powder by adhesives*. Склеювання порошкоподібного матеріалу з можливістю додавання фарб і отримання



## МОДЕРНІЗАЦІЯ ШКІЛЬНОЇ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНОЇ ОСВІТИ ЯК СТРАТЕГІЯ ЇЇ РОЗВИТКУ У ХХІ СТОЛІТТІ

повнокольорових моделей.

З появою 3D-принтерів, в інженерії активно почали використовувати термін «швидке прототипування» (Rapid prototyping – RP).

Швидке прототипування – це технологія швидкого «макетування», швидкого створення дослідних зразків або працюючої моделі системи для

демонстрації замовнику, а також перевірки можливості реалізації. Прототип пізніше уточнюється для одержання кінцевого продукту. Як і будь-яка інша технологія, швидке прототипування має свої переваги та недоліки (див. Таблицю 1).

Таблиця 1

Переваги	Недоліки
<p>Використання будь-якого програмного продукту для проектування віртуальних моделей.</p> <p>Незалежність процесу проектування від обраної технології 3D-друку.</p> <p>Можливість повторного використання матеріалів.</p> <p>Можливість масштабування, швидкої зміни та адаптування моделі.</p> <p>Можливість отримувати повнокольорові моделі.</p> <p>Використання різноманітних матеріалів (метал, гіпс, полімер)</p>	<p>Висока вартість устаткування та друку (у деяких технологіях).</p> <p>Післядрукова обробка моделі (у деяких технологіях).</p> <p>Довготривалий час виготовлення.</p> <p>Низька якість виготовленої деталі (у деяких технологіях)</p>

З часом недоліки усуватимуться, а наявність великої кількості переваг свідчить про користь технології. Прикладом можливостей 3D-друку є надрукований діючий прототип концертної флейти (Рис. 2).

Технології 3D-друку або швидкого прототипування застосовуються сьогодні в багатьох галузях. Використання цих технологій дозволяє людям творчих професій (архітекторам, конструкторам, дизайнерам, технологам, науковцям, викладачам та ін.) швидко виготовлювати складні концептуальні фізичні моделі. Наведемо приклади сфер застосування 3D-принтерів.

**Конструювання.** Створення прототипів – невід’ємна частина процесу конструювання. 3D-принтери створюють функціональні прототипи практично будь-якої форми з різними властивостями матеріалу, що, крім оцінки зовнішнього вигляду виробу,

дозволяє також проводити моделювання роботи механізмів і оцінювати їх функціональні якості (Рис. 3).

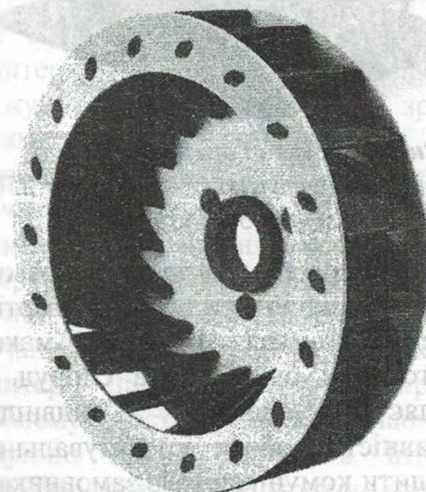


Рис. 3. Приклад прототипу механізму, виготовлений на Zprinter 450 компанії 3D Systems.

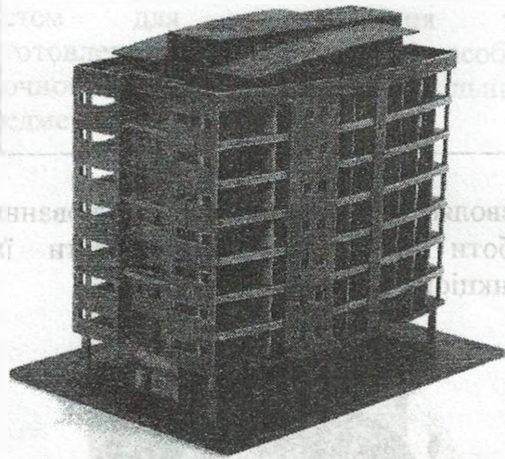
Реальні фізичні моделі роблять можливим перевірку якості складання



вузлів і механізмів, оцінку зручності та надійності кріплення деталей. Технологія тривимірного друку дає можливість конструкторам і технологам створювати прототипи деталей дуже складних форм, виробництво яких іншими методами вимагало б більших матеріальних і тимчасових витрат.

**Промисловий дизайн.** При розробці побутової техніки, виробничих установок та їх інтерфейсів, наземного та повітряного транспорту (у тому числі автомобілів, літаків, поїздів), різноманітного інвентарю, меблів та елементів інтер'єру, посуду і столових приладів та всіх видів упаковки і т. п., а також доцільно використовувати швидкий та недорогий тривимірний друк прототипів.

#### **Архітектура.**



*Рис. 4. Приклад архітектурного макету, виготовленого на Zprinter 250 компанії 3D Systems.*

Технологія 3D-друку дозволяє радикально скоротити терміни і вартість створення точних фізичних макетів проєктованих будівель та споруд. Це дозволяє значно підвищити ефективність роботи проєктувальника, поліпшити комунікацію із замовниками. Використання у своїй роботі 3D-принтерів дає серйозну конкурентну перевагу для проєктних бюро, оскільки дозволяє дуже швидко і максимально наочно доносити ідеї до потенційних клієнтів.

**Картографія.** Фізичні тривимірні моделі природних та міських ландшафтів необхідні для ефективної комунікації, ситуаційного аналізу та навчання. Традиційні методи перекладу даних географічної інформаційної системи у фізичну форму можуть зайняти кілька тижнів і коштувати дуже дорого. А за допомогою 3D-принтерів можна перетворювати дані геоінформаційних систем у кольорові тривимірні моделі швидко і відносно дешево.

#### **Медицина.**



*Рис. 5. Трансплантована нижня щелепа, яка була виготовлена за допомогою 3D-друку.*

Фізичні моделі, надруковані на 3D-принтері, використовуються для передопераційного планування. Також у край корисні для комунікації між лікарями і пацієнтами. Тривимірний друк використовується при виготовленні ливарних форм для створення протезів та імплантатів.

**Освіта.** Освітні установи можуть використовувати 3D-принтери для підвищення якості навчальних програм, інтересу студентів до вивчаємого предмета та ознайомлення їх із новітніми технологіями. Принтери дозволяють швидко створювати певні фізичні моделі та застосовувати їх під час вивчення відповідних навчальних дисциплін, наприклад, інженерної механіки, архітектури, дизайну, прикладного мистецтва, медицини тощо.

Різні 3D-принтери працюють за різними технологіями. Ми розглянемо більш детально технологію пошарового



нанесення полімерної нитки (FDM), тому що саме за цією технологією працюють бюджетні або «домашні» 3D-принтери. Безумовно, технологія FDM поступається в якості технології SLA, але низька вартість устаткування та витратних матеріалів свідчить на користь її використання.

Перед тим як «роздрукувати» об'єкт, необхідно створити його тривимірну віртуальну модель. Це можна зробити за допомогою будь-якої з CAD систем або пакету для тривимірного моделювання (SolidWorks, CATIA, Alibre Design, Компас, Autodesk 3ds Max та ін.). 3D-принтери «розуміють» велику кількість 3D-форматів (STL, VRML, PLY, 3DS, ZPR), але універсальним для всіх є формат STL.

Принципову схему роботи FDM 3D-принтеру подано на рис. 6 (а, б). Як було вже сказано, 3D-друк – це пошарове будівництво фізичного об'єкту. Змодельована тривимірною моделлю програмно ділиться на друковані шари, з яких складається об'єкт.

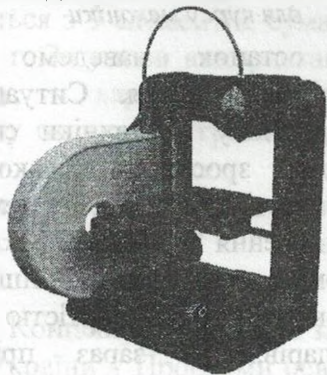


Рис. 6а. Принципова схема роботи FDM 3D-принтеру.

У технології FDM шари формуються за допомогою полімерної нитки. Товщина нитки і можливості екструдера визначають розмір шару, що наноситься по осі Z. В екструдер подається полімерна нитка, де відбувається її розігрівання та нанесення шару перетину. Штатив та елеватор забезпечують рух екструдера по трьома осями, забезпечуючи доступ

до всіх точок робочої області. Таким чином, шар за шаром формується фізичний об'єкт.

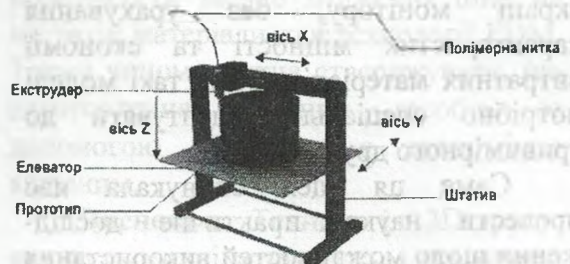


Рис. 6б. 3D-принтер Cube компанії 3D Systems.

За допомогою домашнього принтеру можна виготовити деталь з максимальним розміром приблизно 25x25x25 см, елементи деталізації можуть мати мінімальні розміри 0.3-0.4 мм. Тобто під час розробки моделі потрібно враховувати розміри готового об'єкта та розміри деталізації елементів. Якщо розміри готової моделі перевищують розміри робочої області, модель можна масштабувати та зменшувати. Рухомі деталі друкуються окремо одна від одної, після чого їх необхідно зібрати і модель готова до використання.

Низька собівартість виготовлених моделей, їх різноманітність та доступні вже сьогодні ціни на бюджетні 3D-принтери (які до того ж постійно знижуються) дозволяють зробити оптимістичний прогноз щодо використання технологій 3D-друку в навчальному процесі. Учитель, що матиме універсальний інструмент для створення фізичних об'єктів, може значно урізноманітнити процес навчання. А поява у школах 3D-принтерів надає можливість вирішити проблему нестачі засобів наочності. Потрібно лише знайти в Інтернеті потрібну електронну модель наочного засобу та «надрукувати» її.

Але з пошуком таких моделей можуть виникнути деякі проблеми. Більшість тривимірних моделей, які наявні зараз на теренах Інтернету, не



можна використовувати для 3D-друку. Вони створювалися не для фізичного виготовлення, а для відображення на екрані монітору, без урахування характеристик міцності та економії витратних матеріалів. Тому такі моделі потрібно спеціально адаптувати до тривимірного друку (рис. 7).

Саме ця ідея спонукала нас провести науково-практичне дослідження щодо можливостей використання технологій 3D-друку для проектування та виготовлення навчальних наочних засобів.

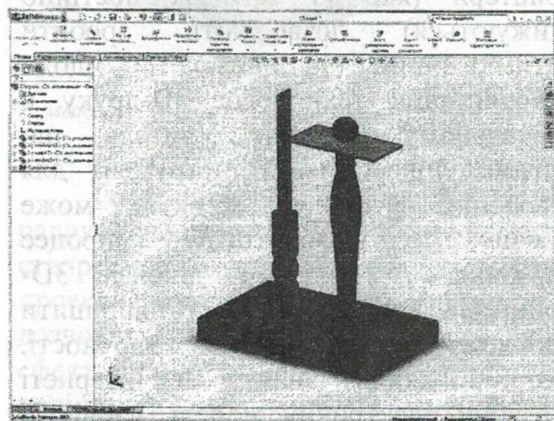
**Основна мета дослідження** – створення електронного банку (репозиторію) віртуальних моделей наочних засобів для 3D-друку.

**Завдання**, що мають бути виконані у процесі роботи, такі:

1) розробити структурований (за предметами, класами та темами) перелік засобів наочності для предметів природничо-математичного циклу (математика, фізика, хімія, біологія);

2) розробити web-репозиторій 3D-моделей наочних засобів за створеним переліком;

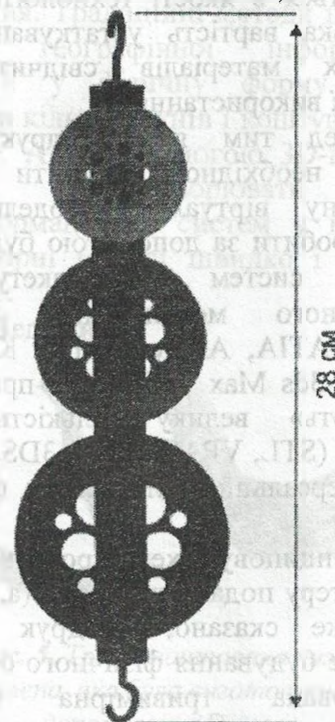
3) розробити рекомендації для вчителя щодо підготовки до прототипування (друкування) наочних засобів та використання матеріалів;



**Рис. 7.** Модель наглядного приладу для демонстрації інерції та інертності тіла.  
Створена у SolidWorks 2010.

4) розробити рекомендації з 3D-

проектування та друкування засобів наочності (для тих учителів, хто захоче сам створювати наочні засоби з предмета, який він викладає).



**Рис. 8.** Демонстраційна система блоків для курсу механіки

На останок наведемо деякі економічні міркування. Ситуація на сучасному ринку 3D-техніки свідчить про стрімке зростання кількості та різноманітності пропоєваної техніки і суттєве зниження її вартості. Якщо 5–7 років тому мова йшла лише про промислові принтери вартістю 20–30 тис. доларів, то зараз пріоритет надається виробництву так званих офісних та домашніх 3D-принтерів, вартість яких уже коливатиметься у межах 1,5–2 тис. доларів. Провідні фірми-виробники прогнозують у найближчі 2–3 роки зниження цін на принтери до 400–500 доларів.

Що стосується вартості виготовлення самих моделей, то вже сьогодні комерційні фірми пропонують послуги 3D-друку (спікання порошкового матеріалу) за ціною – 10 грн/см<sup>3</sup> для моделей будь-якої



складності. Вартість пластика для FDM-принтерів складає 500 грн за 1 кг. Тому, знаючи розміри та приблизну вагу моделі, можна розрахувати її вартість.

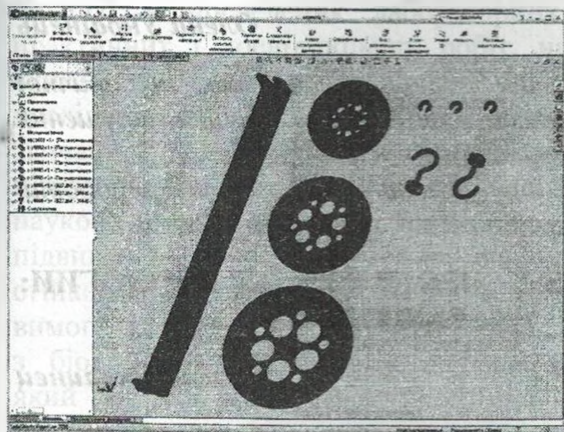


Рис. 9. Модель системи блоків, створена у SolidWorks

Наведемо приклад розрахунку витрат на виготовлення демонстраційної системи блоків для курсу механіки (рис. 8). Для цього ми розробили модель системи блоків у CAD системі SolidWorks 2010. Модель складається з 9 елементів, сумарна вага яких 40 г. За умови використання ABS пластику, вартість витраченого матеріалу складає 20 грн. В основному вартість витрачених матеріалів залежить від вартості сировини, яка

використовуватиметься для прототипування. Ураховуючи те, що вартість полімерів є низькою, можна передбачити значне зниження ціни на витратні матеріали для технології FDM. Таким чином, можна стверджувати, що виготовлення наочних засобів за допомогою 3D-друку є економічно вигідним.

**Висновки.** Технологія 3D-друку, яка на сьогодні розвивається стрімкими темпами та такими ж темпами дешевшає, має серйозні перспективи щодо її використання у галузі виготовлення наочних засобів навчання. Учителі, які володіють уміннями 3D-моделювання, зможуть виготовлювати (моделювати та роздруковувати) власні засоби наочності та застосовувати їх у процесі навчання. Для інших учителів можуть бути створені веб-репозиторії 3D-моделей, із яких учитель вибиратиме потрібну модель та, за наявності 3D-принтеру, її роздруковувати. Тобто в найближчому майбутньому ми зможемо отримати універсальний інструмент, здатний забезпечити засобами наочності викладання майже всіх шкільних предметів.

#### Література

1. Концепція створення засобів навчання нового покоління для середніх закладів освіти України // Проблеми освіти : [науково-методичний збірник]. – Київ, 1997. – вип. 10. – с. 207–218.
2. Википедия [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ru.wikipedia.org/wiki/3D-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80>
3. Компанія Bits from Bytes – виробник 3D-принтерів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.bitsfrombytes.com/eur/store/bfb-3dtouch-3d-printer-triple-head>.
4. Електронний торговельний майданчик Cubify [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://cubify.com/cube/index.aspx>.
5. Научно-производственное предприятие «Экодеко» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ecodeco.com.ua/softwear>
6. Компанія 3DSYSTEMS [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.3dsystems.com/>