

УДК 372.853

## ЗАПРОВАДЖЕННЯ У НАВЧАЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ ШКІЛЬНОГО КУРСУ ФІЗИКИ ПОНЯТТЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Дробін Андрій

Кіровоградський професійний ліцей побутового обслуговування  
(Кропивницький)

*Анотація.* Стаття присвячена розгляду одного з найактуальніших понять сучасної прикладної науки – адитивні технології. У статті обґрунтовано об'єктивні передумови, перспективи розвитку та впровадження АФ-технологій у світову економіку та побут, розглянуто рівень розвитку адитивних технологій в Україні та встановлено малодослідженість цієї проблеми у теоретичній науці та дидактиці фізики. Запропоновано введення у шкільний курс фізики на профільному рівні навчального проекту по вивченню адитивних технологій, в якому розкриті ключові положення основ адитивних технологій, а саме: сутність адитивних технологій; схему створення виробу за адитивною технологією; класифікацію технологій 3D-друку; фізичні принципи технологій 3D-друку; сфери застосування адитивних технологій; перспективи розвитку адитивних технологій; переваги та недоліки адитивних технологій. Стаття розкриває методичні основи впровадження адитивних технологій у шкільний курс фізики, пропозиції щодо подальших досліджень.

**Ключові слова:** шкільний курс фізики, методика навчання фізики, навчальний проект, предметна компетентність з фізики, адитивні технології, АФ-технології, 3D-друк, 3D-принтер, субтрактивні технології.

*Дробин Андрей*

**ВВЕДЕНИЕ В УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ ШКОЛЬНОГО КУРСА  
ФИЗИКИ ПОНЯТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Аннотация. Статья посвящена одному из наиболее актуальных вопросов современной прикладной науки – аддитивным технологиям – и их месту в школьном курсе физики. В статье изучены объективные условия развития и перспективы АF-технологий, их роли и месте в экономике, раскрыты ключевые положения аддитивных технологий, разработаны предложения для внедрения основных положений аддитивных технологий в школьный курс физики.*

**Ключевые слова:** *школьный курс физики, методика обучения физике, учебный проект, предметная компетентность по физике, аддитивные технологии, АF-технологии, 3D-печать, 3D-принтер, субтрактивные технологии.*

*Drobin Andrii*

**INTRODUCTION TO THE EDUCATIONAL MATERIAL OF SCHOOL  
COURSE PHYSICS OF THE CONCEPT OF ADDITIVE TECHNOLOGIES.**

*Abstract. The article is devoted to the consideration of one of the most relevant concepts of modern applied science - additive technologies. The article discloses the variety of terms used in scientific and popular science literature to describe the nature of additive AF-technologies; The state of development, the role and place of additive technologies in the modern economy; Clarified the objective conditions, prospects for the development and implementation of AF-technologies in the global economic and domestic spheres for the near future; Considered the place of Ukraine in the introduction of additive technologies in comparison with the economies of the world's leading economically developed countries; The state of scientific research of this problem in the theoretical science and didactics of physics in Ukraine is analyzed and a conclusion is*

*drawn on the insufficient degree of research of this problem. In the article the developed educational project on studying additive technologies in a school course of physics at a profile level is offered. The project provides for disclosure of the essence of additive technologies, their difference from the main traditionally applied in the industry of subtractive technologies, the indication of their complementarity and prospects for further coexistence. The key provisions of the foundations of additive technologies, including: the essence of additive technologies, are singled out and proposed for study; Scheme for creating a product using additive technology; Classification of methods and technologies of 3D-printing; Physical principles of the main and most common 3D printing technologies; Scope of application of additive technologies; Prospects for the development of additive technologies; Advantages and disadvantages of additive technologies. The article describes the main content of key provisions of the foundations of additive technologies, which can be included in educational material; Methodical bases of introduction of additive technologies in a school course of physics and their place in the school curriculum already today are offered. The article offers suggestions for further research. The steps proposed to develop the subject competence of schoolchildren in teaching physics through the study of key provisions of the foundations of additive technologies, and the strengthening of interdisciplinary links with other natural disciplines are suggested as priorities.*

**Keywords:** *school physics course, methodology of teaching physics, additive technologies, educational project, subject competence in physics, AF-technologies, 3D-printing, 3D-printer, subtractive technologies.*

**Постановка проблеми.** Реформування системи освіти в Україні, спрямоване на удосконалення шкільної освіти, вимагає перегляду структури і змісту шкільного курсу фізики (ШКФ) відповідно до вимог Державного стандарту базової і повної загальної середньої освіти [4]. Напрями змін

шкільної фізичної освіти, як об'єкта реформування та удосконалення, передбачають орієнтацію діяльності школяра на опанування знань, навичків, компетентностей, технологій, потрібних у сучасному житті.

Одним із напрямів оновлення змісту ШКФ є вивчення елементів технології 3D-друку (адитивного, від англ. Add – додати, надати, скласти, збільшити), як однієї з сучасних технологій, яку відзначають як прогресивну та перспективну. Разом із терміном 3D-друк також використовують терміни «адитивне виробництво» (AM – Additive Manufacturing) та «адитивні технології» (AF – Additive Fabrication).

Як свідчать дослідження аналітиків, експертів та науковців [1; 2; 6; 7; 8] AF-технології у сучасному суспільстві є галуззю, що найбільш динамічно розвивається, показуючи динаміку близько 30 % щорічно. Так, Terry Wohlers [1], констатує, що ринок адитивних технологій у сфері виробництва кінцевої продукції, а це 90 – 95 % від усіх затрат на виробництво продукції. Тому впровадження цих технологій мають значні перспективи зростання у сегменті виробництва.

Крім того, рівень впровадження адитивних технологій у реальному виробництві розглядається як реальний індикатор економічної потужності держави. Як відомо, економіка США вважається найбільшою у світі, на неї приходится 38 % працюючих на адитивних технологія машин. Для порівняння доля Японії – 9,7 %, Німеччини – 9,4 %, Китаю – 8,7 %, Росії – 1,4 %, а щодо України, то її рівень впровадження адитивних технологій знаходиться в межах статистичної похибки досліджень [7, с. 34] Тому актуальність та важливість AF-технології для розвитку нашої держави не підлягає сумніву.

**Аналіз актуальних досліджень.** Удосконаленням ШКФ в частині зміни підходів до формування фізичних знань школярів, оновлення та осучаснення навчального матеріалу на сучасному етапі займалися Т. М. Засєкіна, О. І. Ляшенко, М. Т. Мартинюк, М. І. Садовий,

В. Д. Сиротюк, О. М. Трифонова та інші [11]. Проте, теоретичний, науковий, практичний аспекти розвитку адитивних технологій в Україні малодосліджені. Відповідно і початковий розгляд та вивчення адитивних технологій в освітній галузі знаходиться у зародковому стані. Серед вітчизняних науковців дослідження з теорії технологій 3D-друку та їх використання у сфері освіти проводили О. М. Гречко [3], В. В. Кривцов [9], С. І. Чернишов [12].

Разом з тим, слід зазначити, що Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти [4], що визначає завдання загальноосвітніх навчальних закладів та вимоги до освіченості учнів основної і старшої школи, передбачає використання компетентнісного підходу, як провідного у шкільній освіті загалом, і фізичній, зокрема. Сформована на високому рівні предметна компетентність з фізики та набуті стійкі знання та орієнтація у світі сучасних технологій є потребою сформованості особистості випускника школи. А отже, розгляд таких ключових на даний момент технологій, як адитивні, є нагальною потребою та об'єктивною вимогою до освітньої галузі.

**Мета статті.** Розглянути, обґрунтувати та розкрити зміст одного із напрямів удосконалення змісту шкільного курсу фізики – вивчення адитивних технологій.

**Методи дослідження:** *Емпіричні:* спостереження за навчальним процесом із фізики, цілеспрямоване вивчення структури і змісту шкільного курсу фізики (ШКФ). *Теоретичні:* системний та порівняльний аналіз літератури з проблеми оновлення змісту ШКФ відповідно до актуальних напрямків розвитку фізичної науки та потреб суспільства.

**Виклад основного матеріалу.** На нашу думку, основи адитивних технологій слід ввести у шкільний курс фізики як перспективний напрям навчального матеріалу для його осучаснення [5] на профільному рівні.

Дотримуючись сучасних тенденцій розвитку освіти, які роблять акцент на проектній діяльності учнів, ми пропонуємо ознайомлювати їх з основами адитивних технологій під час підготовки та виконання навчальних проектів (табл. 1). Нами розроблено та показано нижче навчальний проект опанування основ адитивних технологій.

До ключових положень основ адитивних технологій ми пропонуємо віднести такі елементи:

1. сутність адитивних технологій,
2. схему створення виробу за адитивною технологією,
3. класифікацію технологій 3D-друку,
4. фізичні принципи технологій 3D-друку,
5. сфери застосування адитивних технологій,
6. короткий історичний екскурс,
7. перспективи розвитку адитивних технологій,
8. переваги та недоліки адитивних технологій.

Наукових, науково-популярних, публіцистичних матеріалів до теми дуже багато. На нашу думку, потрібно виділити основні ключові характеристики, які необтяжливо, але на достатній науковій основі розкриють сутність технології та її практичні аспекти.

*Таблиця 1*

**Розподіл положень основ адитивних технологій за темами**

| <b>Клас</b> | <b>Розділ</b>                    | <b>Тема</b>  | <b>Елементи навчального проекту</b> |
|-------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|
| 10          | Будова газів, рідин, твердих тіл | Будова й властивості твердих тіл. Кристалічні й аморфні тіла.  | 3, 4, 5                             |
| 10          | Будова газів, рідин, твердих тіл | Полімери: їх властивості та застосування. Наноматеріали  | 3, 4, 5                             |
| 10          | Узагальнюючі заняття.            | Фізика і науково-технічний прогрес. Екологічні проблеми енергетики. Сучасні досягнення теплоенергетики.                  | 1, 2, 6                             |
| 11          | Електричний струм                | Транзистор. Напівпровідникові прилади та їх застосування. Фізичні основи обчислювальної техніки. Інтегральні мікросхеми. | 3, 4, 5, 7, 8                       |
| 11          | Оптика                           | Квантові генератори та їх застосування. Принцип дії квантових генераторів. Лазери і мазери.                              | 3, 4, 5                             |
| 11          | Оптика                           | Фотоефект. Фоторезистор і  | 3, 4, 5, 8                          |

|    |                          |   |     |
|----|--------------------------|---|-----|
|    |                          | фотоелементи.<br>Застосування<br>фотоефекту. Люмінесценція.<br>(Фотохімічна дія світла.)  |     |
| 11 | Узагальнюючі<br>заняття. | Роль науки в житті людини та<br>суспільному розвитку. Сучасні уявлення<br>про будову речовини. Сучасні методи<br>дослідження будови речовини.<br>Нанокompозити. | 1-8 |

## 1. Сутність адитивних технологій

На чому заснований принцип технології 3D-друку? У чому його відмінність від традиційних технологій обробки матеріалів?

Більшість сучасних технологій базується на підході субстактивного виробництва: з отриманої заготовки знімається зайвий матеріал, надаючи заготовці заданої форми (свердлування, фрезерування, різання, шліфування, токарна обробка та ін.). Технологія 3D-друку.

Адитивне виробництво передбачає нарощування з нуля послідовно створюваними шарами матеріалу, які відображають контурні межі моделі, до отримання готового виробу.

Під час друку принтер зчитує 3D-друкований файл (як правило, в форматі STL), що містить дані тривимірної моделі, і послідовно нашаровує виріб з рідкого, порошкоподібного, паперового або листового матеріалу, вибудовуючи тривимірну модель із серії поперечних перерізів. Ці шари, які відповідають віртуальним поперечним перерізам у CAD-моделі, з'єднуються або сплаваються разом для створення об'єкта заданої форми. Основною перевагою даного методу є можливість створення геометричних форм практично необмеженої складності. Типова товщина шару складає 100 мкм (250 DPI).

## 2. Схема створення виробу за адитивною технологією

Адитивна технологія (рис. 1) [7] передбачає наступні етапи створення кінцевого продукту:

1. Підготовка CAD-моделі (computer-aided design – комп’ютерна підтримка проектування), тобто створення електронної (цифрової) конструкторської та технологічної документації на проєктований виріб.
2. Створення STL-файлу (stereo lithography – стереозображення), тобто отримання файлу в форматі, що використовується для зберігання об’ємних тривимірних моделей.
3. Розділення на шари – віртуальне розділення виробу на шари в контурних межах проєктованого виробу.
4. 3D-друк, який власно передбачає фізичне створення виробу на 3D-принтері на основі попередньо створених цифрових моделей.
5. Фінішна обробка для надання виробу необхідних якостей, властивостей чи зовнішнього виду, що передбачає можливу абразивну, хімічну, фізичну, теплову, декоративну чи іншу обробку.
6. Отримання готового виробу.



Рис. 1. Схема адитивної технології

Створення продукту з використанням сучасних технологій займає від кількох годин до кількох днів у залежності від використовуваного методу, а також розміру і складності моделі. Промислові адитивні системи можуть, як правило, скоротити час до декількох годин, але все залежить від типу установки, а також розміру і кількості одночасно виготовлених виробів.

Традиційні виробничі методи на кшталт лиття під тиском можуть обходитися дешевше при виробництві великих партій полімерних виробів, але адитивні технології мають переваги при дрібносерійному виробництві, дозволяючи досягти більш високого темпу виробництва і гнучкості дизайну, поряд із підвищеною економічністю в перерахунку на одиницю



виробленого товару. Крім того, настільні 3D-принтери дозволяють дизайнерам і розробникам створювати концептуальні моделі і прототипи, не виходячи з офісу.

### 3. Класифікація технологій 3D-друку

На сучасному етапі розвитку технології 3D-друку можна класифікувати за методом друку (табл. 2).

Таблиця 2

**Класифікація методів та технологій 3D-друку**

| Метод         | Технологія  | Матеріали, які використовуються при роботі                          |
|---------------|---|---|
| Екструзійний  | Моделювання методом пошарового наплавлення (FDM)                                | Термопластики   |
| Дротовий      | Виробництво довільних форм електронно-променевим плавленням (EBF <sub>3</sub> ) | Будь-які металеві сплави  |
| Порошковий    | Пряме лазерне спікання (DMLS)   | Будь-які металеві сплави  |
|               | Електронно-променеве плавлення (EBM)  | Титанові сплави   |
|               | Вибіркове лазерне плавлення (SLM)   | Титанові сплави, кобальт-хромові сплави, нержавіюча сталь, алюміній |
|               | Вибіркове теплове спікання (SHS)  | Порошкові термопластики   |
|               | Вибіркове лазерне спікання (SLS)  | Термопластики, металеві порошки, керамічні порошки                  |
| Струменевий   | Струменевий тривимірний друк (3DP)  | Гіпс, пластики, металеві порошки, піщані суміші                     |
| Ламінування   | Виготовлення об'єктів методом ламінування (LOM)                                 | Папір, металева фольга, пластикова плівка                           |
| Полімеризація | Стереолітографія (SLA)  | Фотополімери  |
|               | Цифрова світлодіодна проекція (DLP)   | Фотополімери  |

### 4. Фізичні принципи технологій 3D-друку

Екструзійний метод пошарового наплавлення або FDM-технологія (Fused deposition modelling) полягає у тому, що термопластичний полімер у вигляді нитки, намотаної на котушку при обертанні роликів елементів подається в зону нагріву, де він розплавляється і видавлюється через сопло, формуючи елементарний фрагмент об'єкта. Після друку всього поточного

контур платформи переміщається вниз і починається нанесення нового шару.

Дротовий метод – виробництво довільних форм електронно-променевим плавленням  $EBF_3$  (Electron beam melting). Цей метод використовує електронні пучки високої потужності для послідовного наплавлення матеріалів у формі металевго дроту.

Порошковий метод. Вибіркове лазерне спікання – SLS-технологія (Selective Laser Sintering), – ще один важливий напрямок адитивних технологій. Тут будівельним матеріалом є сипучі, порошкоподібні матеріали, як полімерні, так і металеві, а лазер є не джерелом світла, як в SLA-машинах, а джерелом тепла, за допомогою якого проводиться сплавлення частинок порошку. Додаткова обробка гарячим ізостатичним пресуванням і відповідна термообробка надають деталям необхідної міцності.

Струменевий тривимірний друк 3DP-технологія (Three-Dimensional Printing). Технології струменевого тривимірного друку поділяються на дві категорії:

– розбризкування матеріалу, коли принцип роботи ідентичний до звичайного струменевого принтера, але замість чорнила через сопла на охолоджену платформу надходить деяка кількість розігрітого пластику. Краплі пластика дуже швидко застигають і формують один із шарів майбутнього тривимірного виробу.

– розбризкування сполучної речовини, коли на тонкий шар гіпсового, полімерного або металевго порошку розбризкується клейкі речовини.

Стереолітографія або SLA-технологія (від Stereo lithography Apparatus) – пошарове затвердіння рідкого фотополімеру лазером.

## **5. Сфери застосування адитивних технологій**

У сучасній економіці адитивні технології використовуються для прототипування і розподіленого виробництва в архітектурі, будівництві, промисловому дизайні, автомобільній, аерокосмічній, військово-

промисловій, інженерній та медичній галузях, біоінженерії (для створення штучних тканин), виробництві одягу і взуття, ювелірних виробів, в освіті, географічних інформаційних системах, харчовій промисловості та багатьох інших сферах. Згідно з дослідженнями, домашні 3D-принтери з відкритим вихідним кодом дозволять відіграти капітальні витрати на власне придбання за рахунок економічності побутового виробництва предметів.

Слід зазначити, що адитивні технології в промисловому виробництві слугують як доповнення до традиційних субтрактивних методів, а не є повною заміною останніх.

## **6. Короткий історичний екскурс технологій 3D-друку**

Оскільки на теперішній час існує декілька різних адитивних технологій, то відповідно історія створення кожної з них, історія розробки обладнання, впровадження у життя – це теми подальших окремих досліджень. Методично можна пропонувати учням самостійно шукати такі матеріали, подаючи їх як теми для рефератів, доповідей, дослідницьких проєктів.

## **7. Перспективи розвитку адитивних технологій**

Адитивні технології хоч і увійшли у різні сфери діяльності, проте до їхньої 100 % віддачі ще далеко. Ближче майбутнє готує для АФ-технологій нові сфери застосування. При здешевленні 3D-обладнання та використанні у ньому відкритих кодів, застосування адитивних технологій можливе у таких сферах як: палеонтологія, реконструкційна археологія, судово-медична експертиза, будівництво, мистецтво, хімічна галузь, харчова промисловість, 3D-будівництво у відкритому космосі та на інших планетах, медичній сфері для вирощування штучних людських органів, широке використання 3D-друку в домашніх умовах.

## **8. Переваги та недоліки адитивних технологій**

До переваг адитивних технологій можна віднести:

– скорочення технологічного ланцюжка і різке зменшення відходів від виробництва;

- сильна індивідуалізація продукту, що виробляється;
- прискорення впровадження нових ідей;
- можливість виготовлення деталей високої складності;
- відносна легкість навчання персоналу;
- зниження на порядок часу виробничого циклу для штучного і дрібносерійного виробництва;
- впровадження принципово нових підходів до проектування виробів, що дозволяють створювати складні просторові нерозбірні деталі, гратчасті полегшені конструкції з металів і полімерних матеріалів, виробництво яких із використанням звичайних технологічних методів неможливо.

До недоліків адитивних технологій можна віднести:

- якість застосовуваних у виробництві порошкових сумішей, полімерних та інших матеріалів не зовсім досконала, що не дозволяє застосовувати пошаровий синтез для виготовлення виробів з високими вимогами до відсотку браку;
- полімерні матеріали токсичні і не можуть бути перероблені і використані повторно;
- висока вартість обладнання та розходних матеріалів;
- обмеженість сучасних програм для САД-моделювання щодо повноти реалізації можливостей адитивних технологій;
- не розроблене питання захисту інтелектуальної власності від можливості неліцензованого копіювання оригінальних виробів чи забороненої до масового використання продукції (зброї);
- відсутність єдиних для всіх міжнародних і регіональних стандартів якості і надійності надрукованих виробів, вимог до технологічних процесів та обладнання, безпеки розходних матеріалів.

**Висновки та перспективи подальших наукових розвідок.** Введення адитивних технологій є об'єктивною необхідністю для осучаснення ШКФ, підготовки учнів до профільної діяльності, до свідомого вибору професії, для розкриття прикладного значення фізики, для розвитку сучасних техніки та технологій. Запропонований навчальний проект вивчення адитивних технологій у ШКФ на профільному рівні допоможе сформувати

предметну компетентність з фізики та набути стійкі знання у світі сучасних технологій.

Подальші дослідження ми вбачаємо у деталізації розробок методик вивчення адитивних технологій у школі не лише на фізиці, але й у інших навчальних дисциплінах.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Wohlers Report 2016 – Wohlers Associates [Електронне джерело]. – Режим доступу: <https://wohlersassociates.com/2016report.htm>
2. Аддитивные технологии, материалы и конструкции: материалы науч.-техн. конф. (Гродно, 5-6 окт. 2016 г.) / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: А. И. Свиридёнок (гл.ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2016. – 274 с.
3. Гречко А. М. Технологии быстрого прототипирования – от детской игрушки до мирового господства / Гречко А. М. // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ ХП, 2013. – № 65 (1038). – С. 14-36.
4. Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти. [Електронне джерело]. – Режим доступу: [http://mon.gov.ua/content/Освіта/post-derzh-stan-\(1\).pdf](http://mon.gov.ua/content/Освіта/post-derzh-stan-(1).pdf)
5. Дробін А. А. Шкільний курс фізики: шляхи осучаснення. / А. А. Дробін. Наукові записки КДПУ. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти / За заг. ред. М. І. Садового. – Кіровоград: КДПУ. – Вип. 10, ч. 2. – 2016. – 185 с. – С. 47-51.
6. Забелин Б. Ф., Конников Е. А. Экономические аспекты развития аддитивных технологий // Вестник научных конференций. – Тамбов: ООО Консалтинговая компания Юком, – № 3-3 (3). – 2015. – 168 с. – С. 64-67.
7. Зленко М. А. Нагайцев М. В., Довбыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш // Пособие для инженеров. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

8. Каблов Е. Н. Аддитивные технологии – доминанта национальной технологической инициативы // Интеллект и технологии. – М.: ИД «МедиаЛайн», – № 2 (11). – 2015. – 100 с. – С. 52-55.

9. Кривцов В. В. Можливості використання 3D-друку під час навчання фізики у загальноосвітній та вищій школі / В. В. Кривцов // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 3: Фізика і математика у вищій і середній школі. – 2014. – Вип. 14. – С. 32-39.

10. Литунов С. Н., Слободенюк В. С., Мельников Д. В. Обзор и анализ аддитивных технологий, часть 1 // Омский научный вестник. – Омск: ОГТУ. – № 1 (145). – 2016. – 124 с. – С. 12-17.

11. Садовий М. І., Трифонова О. М. Сучасна фізична картина світу: [навч. посібн. для студ. пед. вищ. навч. закл.]. – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2016. – 180 с.

12. Чернишов С. І. Підвищення ефективності інтегрованих технологій пошарового вирощування виробів на основі статистичного прогнозування: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Чернишов Сергій Іванович; Національний технічний ун-т «Харківський політехнічний ін-т». – Х., 2006. – 20 с.

### **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА**

**Дробін Андрій Анатолійович** – кандидат педагогічних наук, викладач математики, фізики, астрономії Кіровоградського професійного ліцею побутового обслуговування.

*Коло наукових інтересів:* дослідження дидактики фізики.