



УДК 004.92

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЯКІСНОГО ДРУКУ НА 3D - ПРИНТЕРІ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ FDM

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM TO SUPPORT HIGH-QUALITY PRINTING ON A 3D PRINTER USING FDM TECHNOLOGY

Kotlyk S.V.¹, Sokolova O.P.², Romaschenko S.S.³, Kostyrenko T.P.⁴^{1,2,3} Odessa National University of Technology, Odessa, Ukraine⁴ College of Industrial Automation and Information Technologies, Odessa, UkraineORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0001-5365-1200>, ²<https://orcid.org/0000-0001-9224-6734>E-mail: ¹sergknet@gmail.com, ²okspetr@ukr.net, ³annaromashenkobk@gmail.com, ⁴kostyrenkot@gmail.com

Copyright © 2023 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI: 10.15673/atbp.v%vi%i.2495

Анотація. Ця стаття присвячена розробці інформаційної системи, призначеної для контролю якості друку 3D-принтерів, що працюють за технологією FDM, для зручного пошуку технології усунення помилок, пов'язаних із побудовою об'ємних моделей.

У статті наведено порівняльну класифікацію неточностей та недоліків екструзії пластику, проведено літературний пошук прийомів усунення таких помилок та порад щодо роботи та налаштування власне 3D-принтера, статей про подолання слабких місць технології FDM.

Проведено аналіз СУБД, розроблено структуру обраної бази даних, визначено мову програмування інтерфейсу програмного продукту.

База даних наповнена знайденою інформацією про прийоми усунення помилок 3D-друку, визначено режими пошуку її, запрограмовано сайт, який здійснює такий пошук та виведення на екран відповідних рекомендацій.

Проведено реальне випробування програмного продукту, підготовлено інструкцію користувача для експлуатації розробленої інформаційної системи для різних режимів використання 3D-принтерів.

Abstract. This article is devoted to the development of an information system designed to control the quality of printing of 3D printers using FDM technology, for a convenient search for a technology to eliminate errors associated with the construction of three-dimensional models.

The article provides a comparative classification of inaccuracies and shortcomings of plastic extrusion, a literature search for methods to eliminate such errors and tips on the operation and configuration of the 3D printer itself, articles on overcoming weaknesses in FDM technology.

The analysis of the used DBMS was carried out, the structure of the selected database was developed, the system model was developed using UML notation, the programming language of the software product interface was determined.

The database is filled with found information about methods for eliminating 3D printing errors, search modes for it are defined, a site is programmed that performs such a search and displays relevant recommendations on the screen.

A real test of the software product was carried out, a user manual was developed for operating the developed information system for various modes of using 3D printers.

Ключові слова: 3D-принтер, FDM технологія, екструзія пластику, інформаційна система

Key words: 3D-printer, FDM technology, plastic extrusion, information system

Вступ

Наш час називають «інформаційним віком». Ця назва виникла тому, що найважливішим, цінним та необхідним ресурсом є інформація. Зараз саме Інтернет здатний оперативно та масово передавати практично будь-яку інформацію. З погляду користувача, Інтернет – це величезний інформаційний ресурс, у якому можна знайти все, що завгодно. Аудиторія мережі Інтернет зростає з кожним роком, зростає і кількість інформаційних завдань, вирішення яких може дати досить непоганий матеріальний ефект. У цій роботі зроблена спроба розробки



інформаційної системи, яка може допомогти знайти причини неправильного друку деяких моделей 3D-принтером за технологією FDM, а також підказати способи усунення цих недоліків.

У сучасному світі використання 3D-принтерів стає все більш популярним [1, 2, 3]. Це високотехнологічне обладнання, яке за допомогою комп'ютерної моделі може створити об'єкти із пластику, металу або інших матеріалів. Однак для того, щоб охопити максимальну кількість користувачів, необхідно створити сайти, присвячені роботі з 3D-принтерами. Такі сайти будуть корисні як для фахівців-початківців, так і для досвідчених професіоналів у цій галузі. З їх допомогою користувачі можуть обмінюватися досвідом, знаходити вирішення проблем, вивчати нові технології та техніки роботи з обладнанням. Крім того, такі сайти можуть надавати інформацію про останні досягнення в індустрії 3D-друку.

Сайти, присвячені роботі з 3D-принтерами, можуть бути створені як для звичайних користувачів, так і для професіоналів. Наприклад, для дизайнерів, інженерів або архітекторів такі сайти можуть стати незамінним інструментом роботи. Вони можуть знаходити креслення, моделі та інші готові елементи, необхідні для їх проектів [5, 8, 16].

Загалом створення сайтів для роботи з 3D-принтерами - це важливий крок на шляху розвитку цієї технології. Такі ресурси можуть спростити життя користувачам, збільшуючи ефективність роботи з 3D-принтером і дозволяючи їм знаходити нові можливості для використання цієї техніки. Тому створення сайтів, присвячених роботі з 3D-принтерами, є неминучим та затребуваним напрямком розвитку в даній сфері [14].

В даний час проникнення 3D-друку в наше життя настільки широке, що важко знайти галузь, в якій воно не використовувалося б. Ось лише кілька сфер його застосування [5, 6, 7, 8, 9]:

- Виробництво прототипів: 3D-друк дозволяє скоротити час та вартість виробництва прототипів, що особливо корисно в індустрії.
- Виготовлення рекламних та сувенірних предметів: 3D-друк може використовуватися для виготовлення різних сувенірів, ключів, фігурок, моделей та інших предметів, що запам'ятовуються.
- Створення протезів та пристроїв медичної допомоги: у медицині 3D-друк вже використовується для створення індивідуальних протезів та інших медичних виробів.
- Виготовлення запчастин та компонентів: завдяки технології 3D-друку, інженерам стає простіше та дешевше випускати та замінювати компоненти.
- Дизайн меблів: 3D-технології використовуються для проектування та виготовлення оригінальних меблевих елементів.
- Виготовлення ювелірних виробів та аксесуарів: 3D-друк дозволяє виготовляти прикраси та аксесуари з більшою точністю та швидкістю.

Однак це далеко не всі можливості застосування 3D-друку, які вже знайшли широке застосування у різних сферах діяльності.

Fused Deposition Modeling (FDM) є однією з найпоширеніших технологій 3D-друку [3, 4, 10, 11, 12, 19, 20]. Вона використовується для створення об'єктів, шар за шаром, за допомогою екструдера, який нагріває пластик та вичавлює його через сопло. Основною перевагою технології FDM є її доступність. 3D-принтери, що використовують цю технологію, зазвичай коштують значно менше, ніж принтери, що базуються на інших технологіях. Крім того, принтери FDM легко доступні і для любителів, і для професіоналів.

FDM технологія має кілька особливостей:

- Використання пластику. FDM технологія використовує пластиковий філамент, який плавиться та відкладається шарами для створення моделі. Це робить цю технологію відносно доступною та легкою у використанні.
- Висока точність. FDM технологія дозволяє створювати моделі з високим ступенем точності та деталізації. Вона може створювати складні форми та геометрію, що робить її дуже ефективною для створення прототипів та деталей.
- Використання підтримки. При FDM технології часто потрібно використовувати структуру підтримки, щоб зберегти форму моделі під час друку. Це може тривати час і вимагати додаткової обробки після друку.
- Використання різних матеріалів. При використанні FDM технології можна використовувати різні матеріали для створення моделей, такі як ABS, PLA, PETG, TPU та інші. Це дозволяє створювати моделі з різним ступенем жорсткості та гнучкості.

Однак FDM технологія має ряд недоліків [13, 14, 17, 21]. Наприклад, під час друку об'єктів із пластику, вони можуть викривлятися. Це пов'язано з тим, що пластик часто охолоджується не рівномірно, особливо у великих і геометрично неоднорідних моделях. Другим недоліком є якість поверхні. При використанні FDM технології на поверхні об'єкту можуть залишатися шорсткості і сліди від шарів. Це може знижувати естетичне сприйняття та ускладнювати додаткову обробку. Третім недоліком є обмеження використання матеріалів. Слід зазначити досить низьку точність, особливо в порівнянні з іншими технологіями 3D-друку, а також відносно низьку швидкість друку. При використанні FDM технології часто виникає необхідність використання опорних елементів, що підтримують структуру об'єкту та можуть ускладнювати процес друку.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми.

Літературу про недоліки FDM технології 3D-принтерів та їх виправленню можна знайти в наступних джерелах [15, 16, 17, 18, 20, 22]:



- Звіти та дослідження технологій 3D-друку від організацій, які займаються дослідженнями у цій галузі, наприклад, технологічних компаній та університетів.
- Статті та наукові праці, які публікуються в наукових журналах, присвячених технологіям 3D-друку.
- Блоги та форуми, присвячені технології 3D-друку, де користувачі діляться своїми досвідом та результатами із застосуванням FDM технології, а також обговорюють її недоліки.
- Технічні вимоги та рекомендації виробників 3D-принтерів, які можуть вказувати на можливі проблеми та обмеження при використанні FDM технології.

Деякі з недоліків FDM технології, які можуть бути вказані в літературі та інших джерелах, включають обмеження за матеріалами, необхідність використання певного розміру деталей, можливість деформації та тріщин при високих температурах та інші проблеми, пов'язані з точністю та термінами виготовлення деталей.

Загалом, незважаючи на всі недоліки, FDM технологія є чудовим вибором для створення прототипів та невеликих серійних виробництв. Це дозволяє створювати об'єкти з меншими витратами та доступнішими цінами.

Подолання багатьох перерахованих недоліків пов'язане зі швидким знаходженням причин відхилень та знанням про способи їх виправлення. Для того, щоб можна було давати рекомендації щодо виправлення недоліків FDM друку, необхідно було сформувати своєрідну базу знань про найпоширеніші аномалії та вади, що виникають при використанні пластику в 3D-принтері [13, 17, 19]. У цю базу знань мали увійти не лише статті з подолання помилок під час друку, а й коротке їх формулювання, наприклад:

- сопло надто близько до платформи друку;
- 3D-модель не прилипає до платформи, немає достатньої адгезії;
- занадто швидко відбувається друк першого шару;
- недостатньо пластику при 3D-друку;
- невеликий коефіцієнт екструдуювання;
- у верхньому шарі моделі проглядаються дірки та щілини;
- верхні шари недостатньо суцільні;
- зсування шарів або відсутність їх вирівнювання.. і так далі.

Маючи таку інформацію, можна створити програмний продукт, який дозволить користувачеві ввести формулювання (або частину її) видимого недоліку друку пластиком, і комп'ютер видасть статтю (або кілька), в якій описується, чому може виникнути така недоробка, а також методи її усунення.

Сьогодні розроблено досить багато сайтів, спрямованих на покращення FDM технології, їх можна умовно класифікувати [4, 5, 14, 15, 21,]:

- Сайт обміну досвідом. Сайт, де виробники зможуть ділитися своїм досвідом та знаннями у використанні FDM технології та зможуть допомогти покращити виробництво.
- Сайт із базою даних матеріалів. FDM технології на сьогоднішній день обмежені багатьма матеріалами, які можуть бути використані для друку. Сайт, який надасть інформацію про всі ці матеріали, їх властивості та застосування, може бути корисним інструментом для користувачів та виробників.
- Сайт для пошуку нових програм. FDM технологія може бути використана не тільки для створення прототипів та деталей, а й для створення нових продуктів у різних галузях. Сайт, де користувачі зможуть розміщувати свої проекти та знаходити нові ідеї, може допомогти залучити нових користувачів та розширити програми FDM технології.
- Сайт для навчання. FDM технологія з кожним днем стає все більш доступною, але використання її потребує певних знань. Сайт, призначений для навчання використанню FDM технології, може бути корисним інструментом для нових користувачів та виробників.
- Сайт для проектування моделей. Можливість створення власних моделей одна із головних переваг FDM технології. Сайт, який пропонує професійні інструменти для проектування та створення своїх моделей може бути корисним інструментом для користувачів.

Однак серед перерахунків не зустрічаються сайти, спрямовані на оперативне усунення недоліків друку за FDM технологіями, тому розробка такого інструменту є досить важливим завданням.

Аналіз існуючих аналогів. Прямих аналогів інформаційної системи, що розробляється, в україномовному Інтернеті не знайшлося, проте є продукти, що здійснюють схожі або частину її функцій. Це такі програми/сайти:

“3Dprintstory”. Сайт містить численні статті про роботу з 3D-принтером [23]. Статті на різні теми: робота з пластиком для 3D-друку, налаштування слайсерів, новинки у світі 3D, підбір налаштувань для правильного друку тощо.

Перевагами даного сайту є наявність великої різноманітності статей та зручний пошук контенту. До недоліків сайту можна віднести погано організовану структуру сайту, відсутність конкретного опису веб-сторінок. Сайт містить просто випадкові теми про 3D-друк, на даному сайті детально не описуються помилки та їх перелік невеликий, авторизація не має функціональності.

Інтернет-магазин «Pro3D». Інтернет-магазин Pro3D дає можливість поринутись у 3D світ [24]. Ви знайдете професійні принтери для 3D-друку та всі необхідні матеріали, щоб створити своє виробництво 3D моделей. Також можна зробити замовлення на 3D-друк на будь-який смак: кольоровий друк, з пластика, кераміки. Сканування як мілких об'єктів, так і скан у зріст людини. Моделювання будь-якої складності. Сайт має розділ



«цікаво знати», де в деяких статтях знаходиться інформація про налаштування 3D-принтерів, та порад при роботі з ними.

Переваги: має інтерфейс на українській мові, є структура корисних порад, окремо виділенні рубрики, інформація про похибки зручно подана, виділенні рішення, опис проблеми, та короткий зміст.

Недоліки: не має пошуку по статтям про друк, сторінка з порадами має невеликий функціонал, її релевантність та користь недопрацьована. Перелік проблем дуже малий, ілюстрацій взагалі немає.

«**3D for you**». На сайті ви можете купити домашні, професійні та настільні 3D-принтери, 3D-сканери, 3D-ручки, матеріали для 3D-друку (ABS і PLA пластики), різні аксесуари безпосередньо від виробника [25]. Замовити послуги 3D-друку, 3D-моделювання, 3D-сканування. Доставка у всі міста України. Сайт спеціалізується на продажі інструментів та матеріалів для 3D-друку, а також має сторінку зі статтями, пов'язаних з 3D-друком.

Переваги: зручна структура сайту, виділенні категорії. Спеціальний пошук для розділу статті, не виводить нерелевантний контент, з онлайн магазину. Зручно виділенна сама проблема, та рішення яке може допомогти.

Недоліки: невеликий перелік усіляких помилок, як і можливості їх вирішення, не має ілюстрацій більшості видів. Немає порад для налаштування друку, принтеру, слайсеру.

Обґрунтування засобів реалізації. Аналіз мов програмування. У загальному випадку на вибір мови впливають безліч факторів, таких як цілі сайту, технічні вимоги, досвід та вміння розробника, технічна підтримка та спільнота розробників, доступність різноманітних інструментів та бібліотек [26, 27, 28]. Однак найпоширенішими мовами для створення веб-сайтів є HTML, CSS та JavaScript. Вони легко вивчаються, мають велику спільноту розробників та багатий вибір інструментів та фреймворків. Також, для побудови динамічних веб-застосунків часто використовуються мови програмування, такі як Python, PHP, Ruby та інші.

HTML (Hypertext Markup Language) - це мова розмітки гіпертекстових документів, яка використовується для створення та відображення веб-сторінок. HTML дає можливість описувати структуру сторінки, визначати елементи сторінки та їхнє взаємне розташування. HTML-документ складається з набору тегів, які визначають тип та структуру елементів сторінки. Теги можуть бути інформаційними та структурними. Інформаційні теги використовуються для вставки тексту та зображень на сторінку, а структурні використовуються для визначення структури документа (заголовки, абзаци, списки тощо).

Крім тегів, HTML також використовує атрибути, які визначають властивості елементів (наприклад, колір, розмір, вирівнювання тощо).

HTML-документи можуть бути створені вручну за допомогою текстових редакторів, але вони частіше створюються за допомогою спеціалізованих програм, таких як Dreamweaver, WordPress та Drupal, які надають потужні інструменти для створення та керування веб-сайтами.

CSS (Cascading Style Sheets) - це мова опису стилів, яка використовується для визначення зовнішнього вигляду веб-сторінок на основі HTML (HyperText Markup Language) або XHTML (eXtensible HyperText Markup Language). CSS дозволяє розділити вміст веб-сторінки від зовнішнього оформлення, що полегшує керування та супровід веб-сайту. У CSS використовуються селектори, які вказують на певний HTML-елемент, та правила стилів, які визначають, як має виглядати цей елемент.

Основні принципи CSS включають успадкування, каскадування та специфічність. Спадкування дозволяє успадковувати властивості елементів батьківського елемента. Каскадування забезпечує взаємодію правил стилів, що дозволяє створювати складніші стилі.

У CSS можна визначати різні властивості стилів, такі як колір тексту, розмір шрифту, колір фону, відступи та межі. Крім того, за допомогою CSS можна створювати складні макети, анімації та ефекти. CSS є ключовим інструментом для створення візуально привабливих та функціональних веб-сайтів.

JavaScript - це мова програмування, яка широко використовується для створення динамічних веб-сторінок. Вона була розроблена у 1995 році компанією Netscape Communications і стала однією з найпопулярніших мов програмування у веб-розробці.

JavaScript є мовою скриптового програмування, тобто код виконується на стороні клієнта. Він може бути використаний для створення інтерактивних елементів на веб-сторінках, таких як форми, кнопки, анімації та багато іншого. JavaScript має властивості та методи, які дозволяють змінювати структуру та зміст веб-сторінок. Вона також дозволяє створювати функції, змінні та об'єкти, які можуть використовуватись для виконання різних завдань. JavaScript є браузер-орієнтованою мовою програмування. JavaScript може бути вбудованою безпосередньо в HTML-код веб-сторінки або розміщеною в окремому файлі .js. У браузері JavaScript виконується у спеціальному середовищі виконання, що називається "движок JavaScript".

JavaScript також може бути використана разом з іншими технологіями, такими як Cascading Style Sheets (CSS) та Document Object Model (DOM), для створення більш складних програм та взаємодії з сервером. JavaScript має ряд переваг, таких як простота налагодження, можливість створення динамічних додатків, зручність використання та широке поширення. Незважаючи на це, вона також має низку недоліків, включаючи відсутність повної підтримки об'єктно-орієнтованого програмування та проблеми з безпекою, пов'язані з можливістю виконання шкідливого коду.

PHP (аббревіатура від Hypertext Preprocessor) – це також поширена мова програмування, яка використовується для створення динамічних веб-сайтів, веб-додатків та інтернет-сервісів. PHP була розроблена на початку 1990-х років і стала однією з найпопулярніших мов програмування на ринку веб-розробки. Однією з ключових



особливостей PHP є її здатність взаємодіяти з серверними базами даних, такими як MySQL, PostgreSQL та іншими, що дозволяє створювати складніші веб-додатки та сервіси. Також PHP має безліч вбудованих функцій та бібліотек, які спрощують процес розробки та покращують продуктивність додатків.

PHP працює на більшості платформ - Windows, Linux, Unix, Mac і підтримує більшість баз даних і веб-серверів. Крім того, PHP підтримує безліч фреймворків, таких як Laravel, CodeIgniter, Symfony та інші, що спрощує процес розробки веб-додатків у великій команді розробників.

В цілому, PHP є потужною, універсальною та популярною мовою програмування, яка використовується у всьому світі для створення високоякісних веб-додатків.

В силу сказаного для створення шуканої інформаційної системи було використано такі мови програмування: HTML, JavaScript, CSS, PHP.

Обґрунтування засобів реалізації. Аналіз систем керування базами даних. Вибір бази даних та системи її керування залежить від ряду факторів, у тому числі [29, 30]:

- Тип сайту: статичний чи динамічний.
- Тип контенту на сайті: текст, зображення, відео, аудіо, теги та ін.
- Обсяг інформації, яку передбачається зберігати: невеликий чи великий.
- Кількість одночасних користувачів сайту та кількість запитів до бази даних за одиницю часу.
- Швидкість доступу до даних.
- Складність запитів до бази даних та швидкість їх виконання.
- Масштабованість бази даних.

Слід враховувати, що кожна база даних має свої переваги та недоліки, тому немає єдиної відповіді на питання про те, яку базу даних краще використовувати під час створення сайтів. Найбільш популярними базами даних для веб-сайтів є MySQL, PostgreSQL, MongoDB, Oracle, MS SQL Server, SQLite, а також NoSQL бази даних, такі як Cassandra, Couchbase, Redis, Amazon DynamoDB, та інші.

MySQL – це система управління реляційними базами даних (СУБД), яка використовується для зберігання та організації великих обсягів даних. Вона є однією з найпоширеніших СУБД у світі та призначена як для малих, так і для великих проектів. MySQL володіє широким функціоналом, який включає можливість створення, зміни і видалення таблиць, виконувати запити до бази даних на основі SQL, забезпечувати безпеку і керувати доступом до даних, а також багато інших функцій.

MySQL має відкритий вихідний код, що дозволяє його використовувати та змінювати відповідно до індивідуальних потреб. Він також підтримує роботу з різними мовами програмування, включаючи PHP, Python, Java та інші. MySQL має високу продуктивність та масштабованість і може працювати на великих серверних платформах, розподілених системах та хмарних послугах. Вона підтримує як традиційні, так і інноваційні технології, такі як індекси, реплікація, шардинг, а також включає можливість роботи з різними форматами даних.

phpMyAdmin - це додаток, розроблений мовою PHP для управління базами даних MySQL. Він надає веб-інтерфейс для управління та адміністрування баз даних, що дозволяє оперативну змінювати, створювати та видалити бази даних, таблиці, стовпці, індекси, записи та інші об'єкти баз даних.

У phpMyAdmin є безліч функцій, серед яких варто виділити:

- управління базами даних та таблицями;
- створення та видалення баз даних та таблиць;
- імпорт та експорт даних;
- редагування та перегляд вмісту таблиць;
- створення користувачів та управління їх правами доступу;
- перегляд статистики з баз даних;
- створення SQL-запитів.

phpMyAdmin є відкритим та вільним додатком. Його вихідний код поширюється під ліцензією GNU GPL, що означає, що його можна вільно використовувати, розповсюджувати та модифікувати.

В силу описаних переваг у роботі для збереження даних використовується база даних phpMyAdmin.

Методи і матеріали досліджень. За допомогою вибраних засобів програмування та СУБД – HTML5, JavaScript, CSS3, PHP, phpMyAdmin для вирішення проблем FDM-друку за допомогою пластику, створено сайт під назвою «3D Errors» (головна сторінка сайту представлена на рис.1). Його переваги:

- Гнучкість: сайт, створений на основі цих технологій, легко розширюється і може бути доопрацьований за необхідності.
- Швидкість роботи: завдяки використанню скриптів на стороні клієнта (JavaScript) та високопродуктивної бази даних (phpMyAdmin), сайт працює швидко та ефективно.
- Привабливий дизайн: завдяки CSS (каскадним таблицям стилів) створено привабливий та сучасний дизайн для всього сайту.
- Безпека: PHP має ряд вбудованих функцій безпеки, роблячи сайт більш стійким до зламів.
- Готові рішення: багато програм і плагінів, доступних для PHP, можуть бути легко інтегровані в сайт.
- Доступність: всі ці технології є безкоштовними та широко поширеними, що робить розробку доступнішою.



- Зручність: використання phpMyAdmin дозволяє легко керувати базами даних, змінювати інформацію, а також створювати нові таблиці без необхідності написання складного коду.
- Адаптивність: завдяки використанню HTML5 та CSS3 сайт створений адаптивним, що дозволить користувачам мобільних пристроїв легко отримувати доступ до інформації.

Створений сайт «3D Errors» може надавати інформацію про технічні аспекти друку за FDM технологіями, а також рецепти та рекомендації для покращення якості друку. Наприклад, на сайті представлені статті та інфографіки, присвячені таким темам, як керування температурою, швидкістю друку, матеріалами та налаштуваннями принтера.

Користувачі можуть звернутися на сайт, щоб отримати поради та відповіді на свої запитання щодо недоліків, які вони зустрічають у своїх проектах. Наприклад, користувач, що зіткнувся з проблемою проскакування шарів або утворенням відблисків, може задати на сайті ключові слова, що відповідають проблемі, та прочитати поради щодо усунення цих недоліків.

Сайт «3D Errors» має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та робота з ним зрозуміла навіть невідготуваному користувачеві.

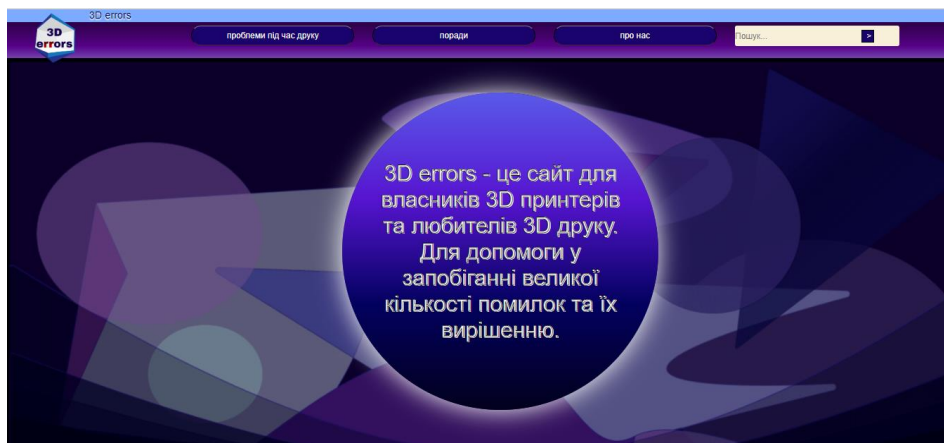


Рисунок 1 - Головна сторінка сайту

При переході по кнопці «проблеми під час друку» відкривається сторінка з переліком усіх назв проблем, що містяться на сайті та їх ілюстрації. При натиску на назву або фотографію, відкриється повний опис помилки, та опис її вирішення (рис.2).

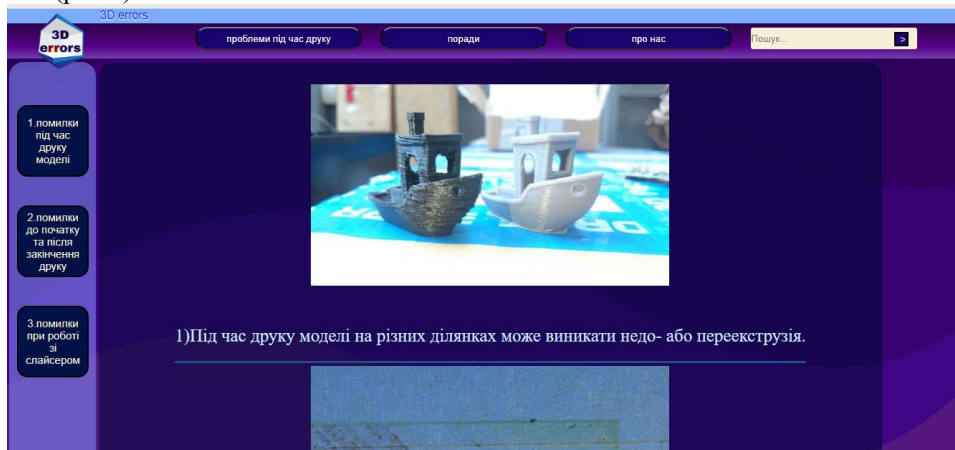


Рисунок 2 - Сторінка сайту з переліком помилок

Також праворуч відкривається меню: перелік усіх помилок в даному розділі для зручної навігації по списку. При натиску на назву, відкриється повний опис (рис.3).

Також з лівої частини екрана є навігація по розділам у формі кнопок, натиснувши на потрібний розділ, на екрані можна прочитати відповідну інформацію. Натиснувши кнопки на верхній сторінці сайту, можна перейти до інших розділів, або вернутися до потрібного. Натиснувши на кнопку в верхньому лівому кутку, можна повернутися до головної сторінки.

В другому розділі сайту (рис.4), відкриється схоже меню, як для помилок, але без допоміжної навігації. На ній знаходиться перелік порад для роботи з 3D-принтером, та налаштування друку.

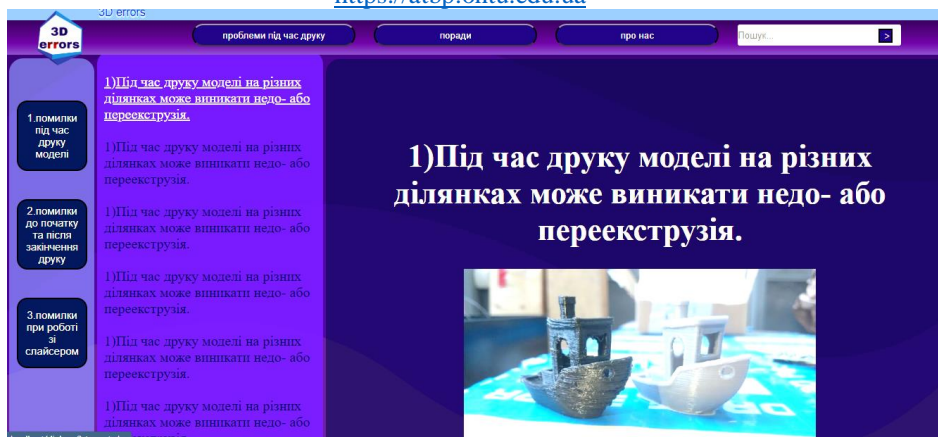


Рисунок 3 - Меню переліку статей по конкретному розділу

Для пошуку потрібної статті, необхідно в верхній навігаційній панелі, ввести ключові слова, або запит повністю, та натиснути на кнопку. При обробці запиту користувачеві буде показана сторінка з результатами пошуку. Буде виведено одна або кілька статей, які задовольняють умові пошуку. Пошук здійснюється по назві та опису статей, які містяться в БД.

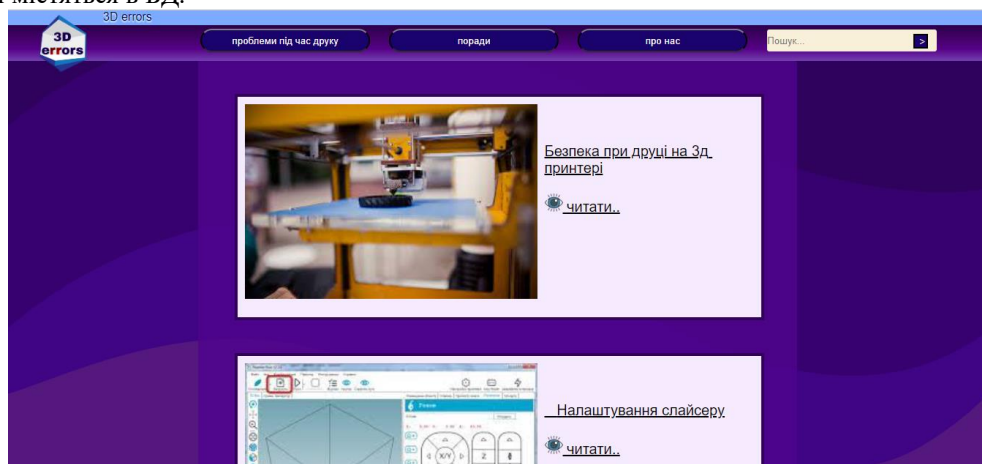


Рисунок 4 - Розділ сайту «поради»

Незважаючи на простоту інтерфейсу сайту «3D Error», він може суттєво допомогти користувачеві 3D-принтерів у подоланні недоліків FDM друку. Завдяки якісному відбору інформації про проблеми 3D-друку, проведеному авторами статті з різних джерел, робота з описуваним сайтом дуже проста, зручна та ефективна. БД сайту містить опис множинних помилок, що виникають під час друку моделей на найпоширеніших побутових 3D-принтерах, а також поради щодо їх виправлення та подолання. В силу цього сайт може бути використаний не тільки як poradnik при усуненні зазначених помилок у процесі друку, але і як збірка порад з додрукарської підготовки принтера та режимів його роботи [15, 18, 20].

Приклади найпоширеніших помилок друку, зібраних у БД (причому в статтях дається не тільки опис помилок друку, але і наводяться фотографії пластикових моделей з конкретними недоліками, що істотно може допомогти користувачеві правильно класифікувати свій запит):

- під час друку моделі на різних ділянках може виникати недо- або переекструзія;
- модель не прилипає до платформи, немає достатньої адгезії;
- занадто швидко відбувається друк першого шару;
- недостатньо пластику при 3D-друку;
- невеликий коефіцієнт екструдуння;
- низький відсоток заповнення;
- зсування шарів або відсутність їх вирівнювання, та багато інших помилок.

Технологія використання сайту «3D Error» є достатньо логічною і складається з декількох етапів:

- **Визначення типу помилки:** перш ніж розпочати налагодження, необхідно зрозуміти, яка помилка виникла. Помилки можуть бути пов'язані з параметрами принтера, параметрами матеріалів або дизайном об'єкта. На сайті можна знайти список найпоширеніших помилок та їх опис.
- **Вивчення симптомів:** у разі виникнення помилки необхідно вивчити симптоми, які вона виявляє. Це може допомогти зрозуміти причину помилки та вибрати правильний спосіб її виправлення. На сайті можна знайти докладний опис симптомів кожної помилки та ілюстрації.



- **Пошук причини помилки:** після визначення типу помилки та вивчення її симптомів необхідно знайти причину. Наприклад, якщо об'єкт починає відхилятися від своєї форми, швидше за все це пов'язано з проблемами при налаштуванні принтера. Якщо ж якість друку гірша, ніж очікувалося, проблема може бути пов'язана з матеріалами. На сайті наведено конкретні описи, через що може виникнути та чи інша помилка.
- **Виправлення помилки:** після того, як причину помилки було знайдено, необхідно вибрати відповідний спосіб її виправлення. Це може бути зміна параметрів принтера, заміна матеріалів або дизайну об'єкта. На сайті представлений докладний опис способів виправлення кожної помилки та ілюстрації.
- **Перевірка результату:** після виправлення помилки необхідно перевірити результат і переконатися, що проблема успішно усунута.

Важливо розуміти, що налагодження 3D-друку може вимагати часу та терпіння. Іноді необхідно провести кілька ітерацій, щоб знайти причину помилки та її виправлення. Однак завдяки інформації на спеціалізованому сайті можна значно скоротити час і підвищити ефективність налагодження.

Робота з сайтом «3D Error» максимально полегшена, наприклад, розберемо послідовність дій користувача при виявленні помилки. Нехай під час друку виникла така картинка (рис.5) [13].

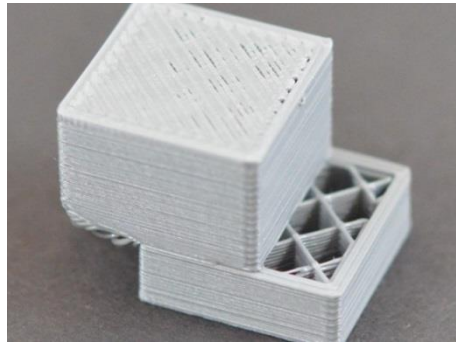


Рисунок 5 – Приклад неправильного 3D-друку моделі

Зрозуміло, щось пішло не так, як це виправити? Зрозуміло, що на малюнку зрушення шарів, яке може бути викликане різними причинами. Звертаємося до сайту «3D Error», і, або шукаємо схожу картинку неправильної моделі, або набираємо в пошуку: «зрушення шарів», у будь-якому випадку, сайт видає статтю для допомоги, про причини помилки та її ліквідацію:

«Занадто швидка швидкість друкувальної голівки. При високій швидкості друку двигуни можуть мати проблеми. Коли навантаження перевищать норму, може почутися клацання, потім ще й ще. Це означає, що задане положення приводу не досягнуто. В результаті частина моделі матиме зміщення. Якщо головною причиною подібних казусів є надто велика швидкість друку, тоді потрібно знизити швидкість наполовину та поспостерігати за результатом.

Проблеми з електронікою чи механікою. Якщо регулювання швидкості друку не допомогло, слід звернути увагу на проблеми в електросистемі або механіці обладнання. Часто ремінні передачі керують положенням друкувальної голівки. Оскільки реміні робляться з гуми з волоконним кріпленням, через певний час може статися розтяжка ремінів, а натяг слабшає. Це призводить до втрати точності позиціонування друкувальної голівки.

Результати досліджень. У роботі описується процес розробки інформаційної системи, призначеної для контролю якості друку 3D-принтерів, що працюють за технологією FDM, для зручного пошуку технології усунення помилок, пов'язаних із побудовою об'ємних моделей.

Проаналізовано за різними літературними джерелами найпоширеніші помилки 3D-друку, викликані недосконалістю технології FDM та конструкції 3D-принтерів, складено їх докладний перелік, наведено видимі симптоми, рекомендації щодо їх виправлення. Така інформація завантажена в БД MySQL за допомогою інтерфейсу для адміністрування phpMyAdmin.

На основі сформованої БД створено інформаційний сайт «3D Error», що дозволяє за запитом користувача про помилку під час друку об'ємної моделі знайти відповідну рекомендацію щодо її усунення.

Сайт протестований на реальних недоліках 3D-друку, показав високу оперативність та ефективність застосування порад щодо виправлення недоліків FDM технології.

Список використаних джерел

- [1]. Anna Kaziunas France. Make: 3D Printing: The Essential Guide to 3D Printers. - Maker Media, 2014. – 230 p.
- [2]. Brian Evans. Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing. - Apress, 2012. – 332 p.
- [3]. Ian Gibson , David W. Rosen , Brent Stucker. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. - Springer US, 2009. - 459 p.
- [4]. Advantages of 3D Printing [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.makerbot.com/stories/engineering/advantages-of-3d-printing/>
- [5]. The Future Of 3D Printing: 10 Potential Applications [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.techrepublic.com/article/the-future-of-3d-printing-10-potential-applications>



- [6]. 3D Printing in Construction: The Future of Concrete Printing [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-construction-future-of-concrete-printing-091220194>
- [7]. 3D Printing in Aerospace: The Future is Now [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/19134/3D-Printing-in-Aerospace-The-Future-is-Now.aspx>
- [8]. How 3D Printing Is Disrupting Automotive Manufacturing [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://techcrunch.com/2020/01/20/how-3d-printing-is-disrupting-automotive-manufacturing>
- [9]. Іванова Л. О., Котлик С. В., Соколова О. П. Використання 3D-друку при створенні ювелірних виробів / На шляху до Індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація : монографія / кол. авт. : В. Б. Артеменко, Л. В. Артеменко, О. В. Артеменко [та ін.]; за заг. ред. С. В. Котлика. — Одеса : Астропринт, 2021, с. 317 - 332.
- [10]. Что нужно знать о 3D-печати [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://argumentua.com/stati/chto-nuzhno-znat-o-3d-pechati-tem-komu-ona-nikogda-ne-ponadobitsya>
- [11]. Конструкция FDM-принтеров [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_fdm.shtml
- [12]. Основы 3D печати [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://3d-only.ru/articles/osnovy-3d-pechati>
- [13]. Распространенные ошибки 3D печати и как их избежать [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3dprintstory.org/rasprostranennie-oshibki-3d-pechati-i-kak-ih-izbezhat>
- [14]. Print Quality Troubleshooting Guide [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.simplify3d.com/resources/print-quality-troubleshooting/>
- [15]. Something went wrong [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://all3dp.com/2/common-3d-printing-problems-troubleshooting-3d-printer-issues/>
- [16]. 30 Essential 3D Printing Tips for Beginners – Best Results [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3dprinterly.com/essential-3d-printing-tips-for-beginners-best-results>
- [17]. 3D Printing Troubleshooting: All Problems & Solutions [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://all3dp.com/1/common-3d-printing-problems-troubleshooting-3d-printer-issues/>
- [18]. FDM 3D Printing: Common problems and how to solve them [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://wikifactory.com/+bitfab/stories/fdm-3d-printing-common-problems-and-how-to-solve-them>
- [19]. 3D Printing Problems & Diagnoses: FDM Printing [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://project3dprinters.com/blogs/blog/3d-printing-problems-diagnoses-fdm-printing>
- [20]. The Limitations of FDM 3D Printing Technology [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://all3dp.com/2/limitations-fdm-3d-printing-technology/>
- [21]. The Cons of FDM 3D Printing Technology [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3dinsider.com/fdm-cons/>
- [22]. FDM 3D Printing: the Pros and Cons [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://web2.codexnow.com/2019/05/19/fdm-3d-printing-the-pros-and-cons/>
- [23]. Все, что вы хотели узнать о 3D принтерах [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3dprintstory.org/rasprostranennie-oshibki-3d-pechati-i-kak-ih-izbezhat>
- [24]. Про 3D [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://pro3d.com.ua/>
- [25]. 3D for you [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3d4u.com.ua/uk/kontakti/s11>
- [26]. Jon Duckett. HTML and CSS: Design and Build Websites 1st Edition. Германия: Издательский Дом «Lar Lambert Academic Publishing», 2011. - 490 p.
- [27]. Jon Duckett. PHP & MySQL: Server-side Web Development. Германия: Издательский Дом «Lar Lambert Academic Publishing», 2022. – 672 p.
- [28]. Eric Freeman, Elisabeth Robson. Head First JavaScript Programming: A Brain-Friendly Guide. O'Reilly Media, Inc., 2014. - 884 p.
- [29]. Трофименко О. Г., Буката Л. М., Прокоп Ю. В. Бази даних: створення та опрацювання. - Одеса : Фенікс, 2016. - 225 с.
- [30]. Database News [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.databasejournal.com/>

References

- [1]. Anna Kaziunas France. Make: 3D Printing: The Essential Guide to 3D Printers. - Maker Media, 2014. – 230 r.
- [2]. Brian Evans. Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing. - Apress, 2012. – 332 r.
- [3]. Ian Gibson , David W. Rosen , Brent Stucker. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. - Springer US, 2009. - 459 r.
- [4]. Advantages of 3D Printing [Electronic resource] – Available at: <https://www.makerbot.com/stories/engineering/advantages-of-3d-printing/>
- [5]. The Future Of 3D Printing: 10 Potential Applications [Electronic resource] – Available at: <https://www.techrepublic.com/article/the-future-of-3d-printing-10-potential-applications>
- [6]. 3D Printing in Construction: The Future of Concrete Printing [Electronic resource] – Available at: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-construction-future-of-concrete-printing-091220194>



- [7]. 3D Printing in Aerospace: The Future is Now [Electronic resource] – Available at: <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/19134/3D-Printing-in-Aerospace-The-Future-is-Now.aspx>
- [8]. How 3D Printing Is Disrupting Automotive Manufacturing [Electronic resource] – Available at: <https://techcrunch.com/2020/01/20/how-3d-printing-is-disrupting-automotive-manufacturing>
- [9]. Ivanova L. O., Kotlyk S. V., Sokolova O. P. Vykorystannia 3D-druku pry stvorenni yuvelirnykh vyrobiv / Na shliakhu do Industrii 4.0: informatsiini tekhnologii, modeliuvannia, shtuchnyi intelekt, avtomatyzatsiia : monohrafiia / kol. avt. : V. B. Artemenko, L. V. Artemenko, O. V. Artemenko [ta in.] ; za zah. red. S. V. Kotlyka. — Odesa : Astroprint, 2021, s. 317 - 332.
- [10]. Chto nuzhno znat o 3D-pechaty [Electronic resource] – Available at: <http://argumentua.com/stati/chto-nuzhno-znat-o-3d-pechaty-tem-komu-ona-nikogda-ne-ponadobitsya>
- [11]. Konstruktsiia FDM-prynterov [Electronic resource] – Available at: http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_fdm.shtml
- [12]. Основы 3D печати [Electronic resource] – Available at: <http://3d-only.ru/articles/osnovy-3d-pechati>
- [13]. Rasprostranennye oshybky 3D печати y kak ykh yzbezhat [Electronic resource] – Available at: <https://3dprintstory.org/rasprostranennye-oshibki-3d-pechati-i-kak-ih-izbezhat>
- [14]. Print Quality Troubleshooting Guide [Electronic resource] – Available at: <https://www.simplify3d.com/resources/print-quality-troubleshooting/>
- [15]. Something went wrong [Electronic resource] – Available at: <https://all3dp.com/2/common-3d-printing-problems-troubleshooting-3d-printer-issues/>
- [16]. 30 Essential 3D Printing Tips for Beginners – Best Results [Electronic resource] – Available at: <https://3dprinterly.com/essential-3d-printing-tips-for-beginners-best-results>
- [17]. 3D Printing Troubleshooting: All Problems & Solutions [Electronic resource] – Available at: <https://all3dp.com/1/common-3d-printing-problems-troubleshooting-3d-printer-issues/>
- [18]. FDM 3D Printing: Common problems and how to solve them [Electronic resource] – Available at: <https://wiki.fab.com/+bitfab/stories/fdm-3d-printing-common-problems-and-how-to-solve-them>
- [19]. 3D Printing Problems & Diagnoses: FDM Printing [Electronic resource] – Available at: <https://project3dprinters.com/blogs/blog/3d-printing-problems-diagnoses-fdm-printing>
- [20]. The Limitations of FDM 3D Printing Technology [Electronic resource] – Available at: <https://all3dp.com/2/limitations-fdm-3d-printing-technology/>
- [21]. The Cons of FDM 3D Printing Technology [Electronic resource] – Available at: <https://3dinsider.com/fdm-cons/>
- [22]. FDM 3D Printing: the Pros and Cons [Electronic resource] – Available at: <https://web2.codexnow.com/2019/05/19/fdm-3d-printing-the-pros-and-cons/>
- [23]. Vse, chto vy khotely uznat o 3D prynterakh [Electronic resource] – Available at: <https://3dprintstory.org/rasprostranennye-oshibki-3d-pechati-i-kak-ih-izbezhat%20>
- [24]. Pro 3D [Electronic resource] – Available at: <https://pro3d.com.ua/>
- [25]. 3D for you [Electronic resource] – Available at: <https://3d4u.com.ua/uk/kontakti/s11>
- [26]. Jon Duckett. HTML and CSS: Design and Build Websites 1st Edition. Hermanyia: Yzdatelskyi Dom «Lap Lambert Academic Publishing», 2011. - 490 p.
- [27]. Jon Duckett. PHP & MySQL: Server-side Web Development. Hermanyia: Yzdatelskyi Dom «Lap Lambert Academic Publishing», 2022. – 672 p.
- [28]. Eric Freeman, Elisabeth Robson. Head First JavaScript Programming: A Brain-Friendly Guide. OReilly Media, Inc., 2014. - 884 r.
- [29]. Trofymenko O. H., Bukata L. M., Prokop Yu. V. Bazy danykh: stvorennia ta opratsiuvannia. - Odesa : Feniks, 2016. - 225 s.
- [30]. Database News [Electronic resource] – Available at: <https://www.databasejournal.com/>