

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
(повна назва кафедри)

Столярчук Юліан Володимирович
Stoliarchuk Yulian

УДК _____ 004:681.5 _____

Спеціальність 123 «комп'ютерна інженерія»
(шифр та назва спеціальності)

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня _____ бакалавр _____
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

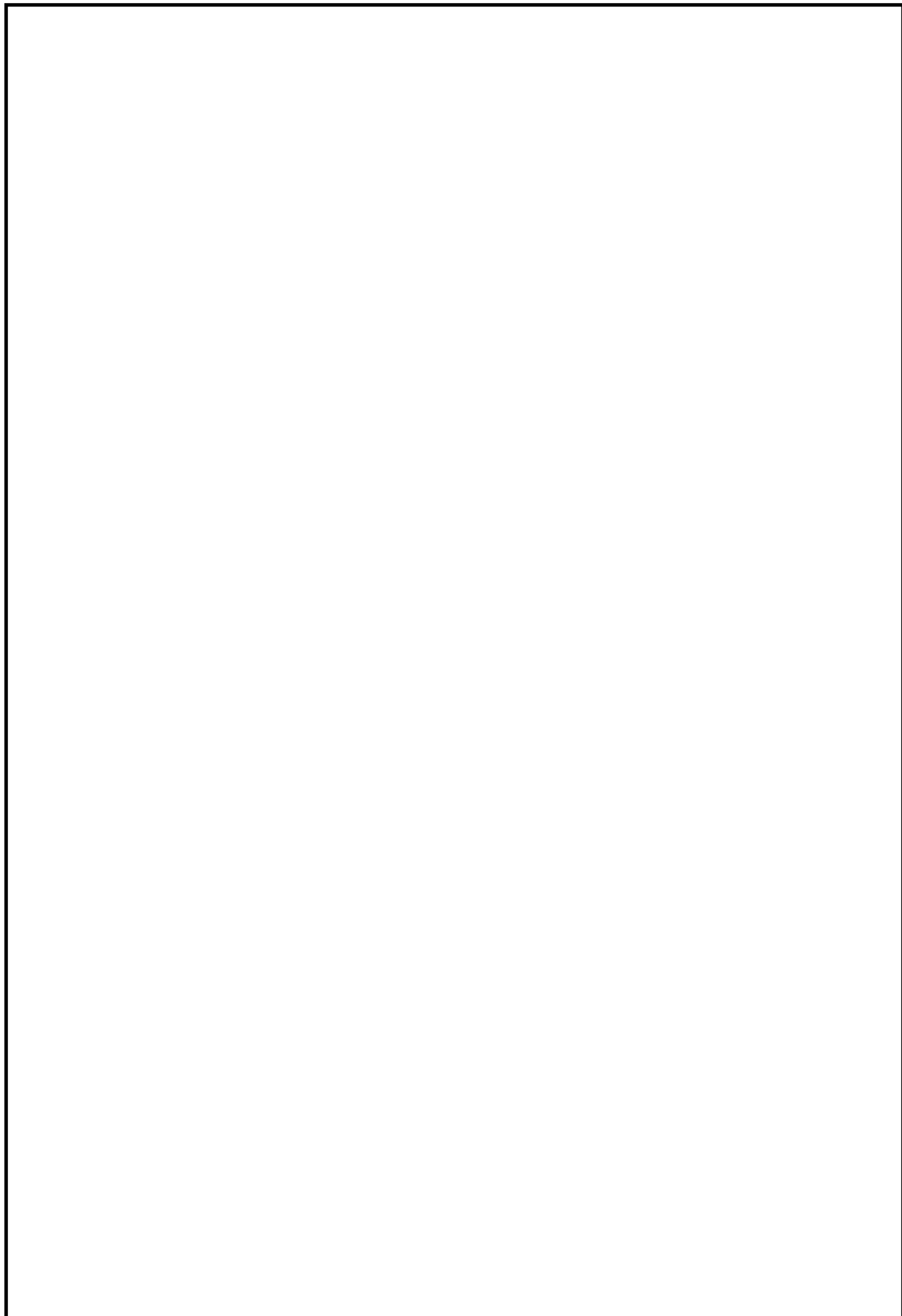
Розробка системи автокалібрування платформи для 3д принтера

Development of a platform auto calibration system for a 3D printer

Науковий керівник:
кандидат фізико-математичних
наук, доцент Терлецький А.І.

Рецензент: кандидат фізико-
математичних наук, професор
кафедри фізики і хімії твердого
тіла Никируй Л.І.

Івано-Франківськ
2021



					123.КІ-41.16	Арк.
						2
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській роботі розроблено систему автоматичного калібрування платформи для 3D принтера.

Для системи виготовлено давач. За основу давача було взято серводвигун SG90 digital та оптичний стоп-сигнал Opto на базі TCST2103 розпаяний на платі роз'ємом 2S JST-XH.

Розроблено принцип роботи давача та корпус до нього. Встановлено та налаштована програмний модуль для 3D принтера. Проведено аналіз системи.

Обґрунтовано економічну доцільність виготовленої системи автоматичного калібрування.

					123.КІ-41.16	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

SUMMARY

In the bachelor's work the system of automatic calibration of a platform for the 3D printer is developed.

A sensor is made for the system. The sensor is based on the SG90 digital servo motor and the Opto optical stop signal based on TCST2103 soldered to the board with a 2S JST-XH connector.

The principle of operation of the sensor and the case to it are developed. Installed and configured software module for 3D printer. The system is analyzed.

The economic expediency of the manufactured automatic calibration system is substantiated.

					123.KI-41.16	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Фізико-технічний факультет
Кафедра «Комп'ютерної інженерії та електроніки»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на тему:

Розробка системи автокалібрування платформи для 3D принтера

					123.КІ-41.16	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1. АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ.....	10
1.1. Історія 3D принтерів	10
1.2. Сучасні технології тривимірного друку	13
1.3. Области застосування 3D принтерів	29
1.4. Програмне забезпечення для роботи з тривимірними принтерами.....	34
Висновки до розділу	35
2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОКАЛІБРУВАННЯ.....	37
ПЛАТФОРМИ ДЛЯ 3D ПРИНТЕРА.....	37
2.1. Принцип роботи пристрою	37
2.2. Вибір пристроїв для створення саморобного давача	38
2.3. Виготовлення корпусу давача за допомогою тривимірного друку.....	40
2.4. Встановлення та налаштування модуля програмного забезпечення на 3D принтер	43
2.5. Підключення пристрою до системи 3D принтера та його перевірка.....	50
Висновки до розділу	52
3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	53
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ	58

					123.КІ-41.16	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3D – тривимірний.

ПЗ – програмне забезпечення.

G-code – мова програмування для 3D принтерів

STL – формат файлу для зберігання, для подальшого друку моделі.

					123.КІ-41.16	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Тривимірні принтери є одними з форм технології адитивного виробництва. 3D модель створюється завдяки накладанню послідовних шарів матеріалу. Очікують, що ця технологія об'ємного друку, кардинально змінить промислове виробництво. 3D принтери є більш швидші та простіші у використанні, ніж інші технології виробництва. Різні моделі принтерів мають можливість друку деталей з багатьох матеріалів. Також з різними механічними властивостями.

Зазвичай тривимірний друк сприймають як легка технологія. Розробив 3D модель, поставив на друк, і через деякий час модель повністю готова. На реальних подіях, процес друку вимагає досить багато ручної праці. Велика підготовка моделі до друку і фінішна обробка моделі, це потрібно для якісної надрукованої 3D моделі.

З 2009 року зростає популярність на продаж 3D принтерів. Вартість принтерів також значно знизилась. Тривимірні принтери застосовують в сфері будівництва, моди, ювелірних виробів, освіти, медицини, автомобільної.

Технологія адитивного виробництва має перевагу з погляду охорони навколишнього середовища. Знижує виділення парникових газів. Також вони мають потенціал в зниженні енергетичних і матеріальних витрат. Використання тривимірних технологій в промисловому виробництві, є проривом для держави та її інноваційним розвитком.

Адитивне виробництво – новітня технологія, яка використовується на високотехнологічних виробництвах, для яких вони вигідна. Перевага створення прототипування є в тому, що об'єкт створюється за один раз. Не потрібно планування етапів створення. Швидке виготовлення прототипів, є важливою частиною в житті. Технологія 3D друку займатиме все більшу роль в житті.

3D принтери щороку прогресують в тій чи іншій сфері. У медицині тривимірні принтери друкують людські органи, на яких пізніше будуть тестувати різні віруси. Спостерігатимуть за реакцією органа на різні хвороби.

									Арк.
									8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Також вчені навчилися друкувати хрящі будь-якої форми. Створюють протези для організму людини.

У будівництві принтери почали виходити на хороший рівень. Будують будинки за технологією 3D друку. Завдяки автономності роботи вони друкуються досить швидко.

Ця робота передбачає розробку системи пристрою який допоможе користувачам друкувати якісні моделі без початкових дефектів та не втрачати час на механічне калібрування платформи 3D принтера.

					123.КІ-41.16	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ

1.1. Історія 3D принтерів

Історично першим в 1984 році, світу був представлений тривимірний принтер розроблений на технології SLA. Він був розроблений Чарльзом Халлом, на технології «стереолітографії» яка була створена в 1983 році, та подана на патент. Також він був засновником компанії «3D Systems» яка є одною з найбільших провідних галузей виробників тривимірних принтерів в світі. Стереолітографія була зазначена в патенті як «пристрій та спосіб що створює об'єкти шляхом «друку» послідовних тонких шарів матеріалу один над одним, які стають твердими за рахунок опромінення ультрафіолетом». Після того як була заснована компанія, Халл зрозумів, що пристрої не обмежуються тільки рідинами, і розширив здатність інших матеріалів змінювати свій фізичний стан і тверднути. Завдяки цій основі, виробництво сьогодні називається 3D друком.

В 1986 році, після отримання патенту, Чарльз розробив найперший промисловий верстат для тривимірного друку який зображений на рисунку 1.1. Назва цього верстату була «апарат для стереолітографії» через те, що на той момент не було такої назви як «3D принтер».



Рисунок 1.1 – Вигляд 3D принтера виготовленого Чаком Халлом

					123.КІ-41.16	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перша модель 3D принтера була виготовлена компанією 3D system тільки кільком замовникам, через те що технологія на той момент була досить новою. У 1988 році, компанія отримавши відгуки від замовників, розробила і започаткувала вдосконалену модель тривимірного принтера під назвою SLA-250. Після чого, розпочали серійне виробництво нового 3D принтера.

У той час з'явилися нові технології, Скотт Крамп винайшов технологію FDM – метод пошарового наплавлення, а також Карл Декард і Джо Биман які винайшли технологію SLS – технологія лазерного селективного спікання. На теперішній час FDM технологія є найпоширеніша, за рахунок дешевих принтерів та витратних матеріалів до нього.

У 1989 році, Скотт Крамп заснував компанію під назвою «Stratasys». Її компанія створила перший принтер який працював за технологією FDM друку. У 1992 році, компанія налагодила промислове виробництво принтерів, та продала перший принтер під назвою «3D Modeler». Якраз в цей час з'явився термін «тривимірний друк», його використовували для принтерів швидкого моделювання. Пізніше, в 1995 році, студенти Массачусетського інституту придумали термін «3D друк», після чого ця назва прижилася досить швидко, але був один недолік. Цим недоліком були необізнані люди, які вважали 3D друк такий легкий як 2D друк. Вони думали що достатньо запустити файл на тривимірному принтері і ти швиденько отримаєш бажану модель. Але ж всі технології маю свої тонкощі, 3D модель друкується в рази довше ніж кілька сотень сторінок на папері. Також, без хороших знань, ти не отримаєш бажану модель хорошої якості.

У 1994 році, була також заснована компанія під назвою «ZCorporation». Компанія виготовила 3D принтер «Z402» у 1996 році. На початку 2000 рр., було уже декілька тривимірних принтерів за відносно низькими цінами. У 2005 році, компанією був випущений перший принтер з високою роздільною здатністю кольорів під назвою «Spectrum Z510». Наступні роки розвитку технологій пішли з прискоренням.

									Арк.
									11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				123.КІ-41.16	

Наступний прорив в галузі стався у 2006 році, завдяки загальнодоступному проекту RepRap, це був перший 3D принтер, який здатний був надрукувати приблизно 50% своїх запчастин. Наступні роки були теж успішними: друк штучних кровоносних судин, друк принтерів шоколадом, створення страв з харчових продуктів принтером. Завдяки місії проекту RepRap був створений перший настільний тривимірний принтер. На той час на ринку почало з'являтися багато виробників 3D принтерів, їхня вартість почала різко падати, для прикладу з \$150,000 до \$2000. Через це, принтери були доступні багатьом користувачам і ринок «злетів» у 2009 році. З того часу продажі щороку тільки виростають.

Перший 3D принтер який був розроблений для домашнього використання появився у 2012 році. Наступні роки були досить прогресивними:

- за допомогою 3D технологій, розпочалося розробка індивідуальних протезів;
- з'явився додаток для початкового рівня об'ємного друку 3D Builder в Microsoft Windows 8, який використовувався для тривимірного друку.
- розроблена нова технологія при якій світлочутливий гумоподібний матеріал під лазером починав тверднути, версія такого принтера зможе перетворюватися у 3D-сканер;
- був розроблений принтер для приготування піци;
- випущене оновлення для Photoshop, яке дозволило друкувати та редагувати тривимірні моделі;
- розроблений та представлений на виставці перший у світі тривимірний принтер який друкує різними кольорами та матеріалами. Його ціна становила 330 тисяч доларів:
- виготовлений перший ручний принтер за виглядом на довгий товстий маркер під назвою 3Doodeler.

										Арк.
										12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					123.КІ-41.16	

У зв'язку з появою постійно нових патентів на адитивне виробництво, найближчі кілька років можна розраховувати на більші інновації. Сьогодні у світі близько 300 000 тривимірних принтерів які використовують, кожного року вона подвоюється.

1.2. Сучасні технології тривимірного друку

У цьому розділі ми розглянемо принципи та можливості технологій які використовують в 3D принтерах, а також витратні матеріали до них. На даний час існує досить багато різних 3D технологій, але розповідатися буде про цікаві та найбільш поширені, які будуть розглянуті нижче.

SLA технологія (StereoLithography Apparatus) – стереолітографія.

Ця технологія була історично найпершою. Принцип роботи полягає в тому, що рідкий фотополімер, в якому є реагент-затверджувач, під впливом лазера він полімеризується і стає твердим, за рахунок ультрафіолетового або інфрачервоного опромінення. На рисунку 1.2 зображено SLA технологію.

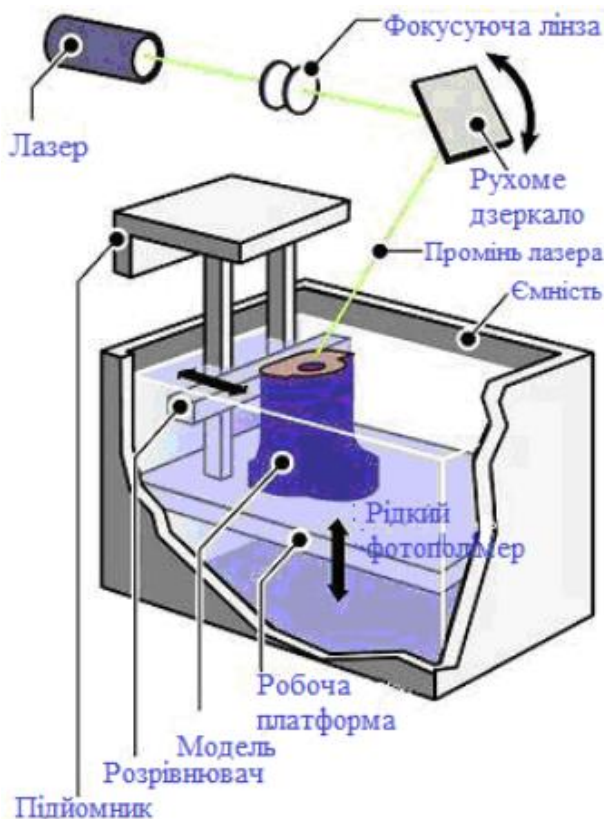


Рисунок 1.2 – SLA технологія

						123.KI-41.16	Арк.
							13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Справді, лазер не може відразу створити готову всю модель за товщиною, він робить це завдяки послідовній побудові тонкими шарами. Рухома платформа занурюється в полімер, після чого промінь лазеру проходить по шару рідини під нею. В результаті утворюється перший шар фотополімеру який пройшов опромінення і затвердів. Після того, йде повторення даної процедури до того моменту, доки не створиться певний об'єкт.

Але і в цій технології є складнощі. По-перше, якщо фотополімер буде густим, він в рази легше твердітиме, але після кожного занурення буде важче забезпечити рівну поверхню. Для цього потрібно використовувати спеціальну лінійку. Після кожного занурення вона буде проходити по поверхні та вирівнювати її.

По-друге, полімеризація шару фотополімеру виробляється до певного рівня. Через те що, повне опромінення шару зайняло б багато часу. Шар полімера набуває мінімальну необхідну міцність, щоб набути форми. Але після того, як тривимірна модель готова, її потрібно помістити в спеціальну ультрафіолетову камеру, щоб вона досягла повної полімеризації яка становить 100%. Модель потрібно завжди опромінювати потужним джерелом ультрафіолету після того як вона надрукувалася.

Основні переваги технології:

- досить висока точність друку, та дуже висока роздільна здатність;
- висока швидкість друку;
- друк великих моделей, розмір яких може досягати $150 \times 75 \times 55$ см, а вага може бути до 160 кг;
- обмежень що до складності моделі майже немає;
- кількість відходів мінімальна;
- фінальна модель майже не залежить від обробки;
- маленький шанс виникнення технічних проблем.

Основні недоліки технології:

- малий вибір витратного матеріалу для друку моделей;
- дуже малий вибір кольорового друку;

									Арк.
									14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				123.КІ-41.16	

- неможливо поєднати різні матеріали;
- досить великі габарити SLA принтерів і дуже велика вага.

Що до вибору кольорів, існує тільки сірий, напівпрозорий та білий. Витратного матеріалу теж невеликий вибір, але є такі що мають більшу гнучкість або підвищену термостійкість.

Основний мінус Sla технології – висока ціна принтерів, яка може досягати \$100,000, та картриджі витратних матеріалів. Через це масово ці принтери не зустрічаються.

SLS технологія (Selective Laser Sintering) – селективне лазерне спікання.

Технологічний процес з'явився приблизно тоді й коли SLA, у них також дуже схожий процес друку. Є досить багато спільного. Основний принцип роботи – рівномірне розподілення порошку тонкими шарами за допомогою спеціального валика в певні ділянки, який виконує роботу в горизонтальній площині, після чого лазер просвічує ділянки шарів моделі, які затвердіють під дією променя. Валик при проході назад, видаляє залишки порошку. Діаметр часток порошку – 40-110 мкм. Після того як промінь потужного лазера пройшов шар порошку, дно стола опускається на рівень висоти одного шару. Для того щоб не використовувати повну потужність лазера при якій твердіє порошок, в робочій камері він завчасно нагрівається до певної температури при якій плавиться. За рахунок цього, лазер працює в режимі імпульсу. На рисунку 1.3 зображена SLS технологія.

Що до витратних матеріалів, то їх вибір досить великий, такі як:

- метал;
- скло;
- пластик;
- ливарний віск;
- кераміка.

									123.КІ-41.16	Арк.
										15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

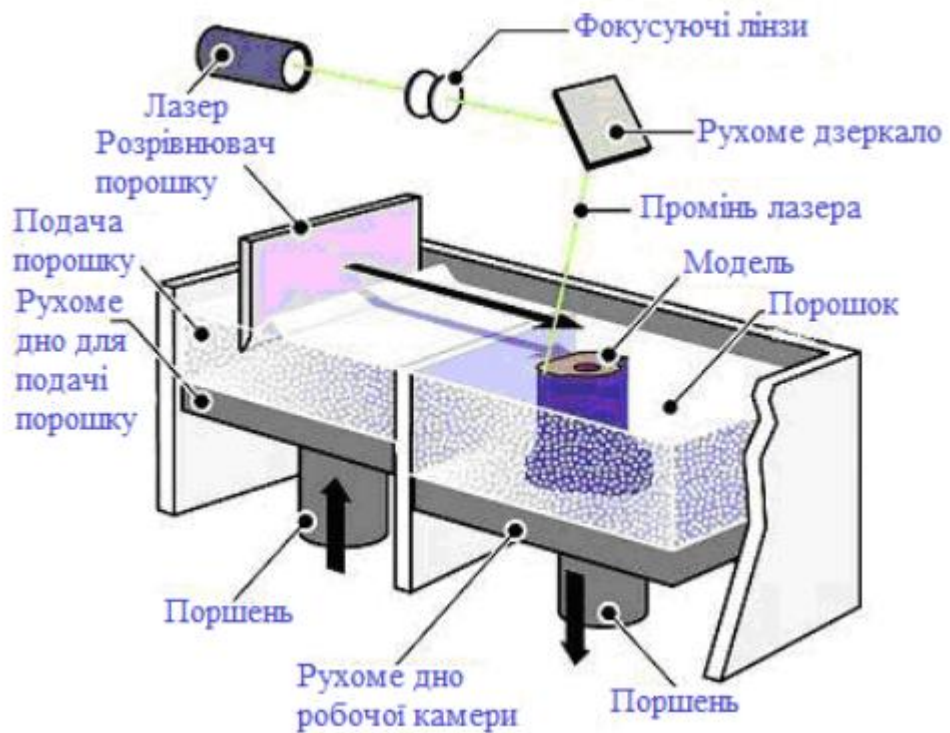


Рисунок 1.3 – SLS технологія

В цій технології друку не обов'язково створювати спеціальні підтримуючі блоки, для створення моделі з нависаючими елементами. Так як незатверділий порошок навколо моделі використовується як спеціальні підтримуючі структури. Але в кінці робочого процесу, після повного охолодження, цей порошок потрібно очистити з камери і з порожнини моделі. Залишковий порошок можна надалі використовувати для подальшого друку. Після закінчення процесу друку, потрібна фінішна обробка. Поверхня моделі може бути досить шорсткою. Для цього використовують полірування.

Процес роботи SLS технології повинен відбуватися в азотному середовищі, за рахунок високих температур спікання. Середовище повинно містити досить мало кисню. Коли йде робота з металами, це також запобігає окисленню.

Розміри моделей на даний момент, можуть максимально друкуватися до $55 \times 55 \times 75$ см. Це є досить великі об'єкти.

Принтери з SLS технологією є досить габаритними і мають велику вагу. Для прикладу апарат Formiga P 110, який зображений на рисунку 1.4, має

						123.КІ-41.16	Арк.
							16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

розміри $1,3 \times 1,06 \times 2,2$ м і вага якого становить 600 кг, а його робоча зона друку моделей $20 \times 25 \times 33$ см.



Рисунок 1.4 – 3D принтер Formiga P 110 на технології SLS

MJM технологія (Multi Jet Modeling) – метод наплавлення.

Технологія нагадує струменевий друк. Витратний матеріал подається через сопла, які можуть бути малого діаметру. Вони розташовуються рядами у друкуючій голівці. Досить велика кількість сопел може розташовуватися в голівці, від кількох штук до декількох десятків. Матеріал який подається в голівку спочатку не є рідким при кімнатній температурі. Він спочатку нагрівається до певної температури при якій плавиться, подається і наноситься тонкими шарами, після чого застигає. Шари створюються в горизонтальній площині за рахунок переміщення друкуючої голівки. А перехід до наступного шару моделі здійснюється за рахунок вертикального зміщення, опускання робочої платформи.

Що до матеріалів, то MJM принтери використовують:

- фотополімери;

									Арк.
									17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- пластики;
- спеціальний віск;
- матеріали для медичних зубних зліпків та протезів;

Також можлива комбінація використань різних матеріалів. Для того щоб уникнути провисань моделі які друкуються під великим кутом, потрібно застосувати підтримуючі елементи, які в подальшому при обробці моделі потрібно видаляти. Щоб заощадити час і не робити це власноруч, можна зробити підтримуючі елементи з матеріалу який має меншу температуру плавлення, ніж друкуюча модель. У фінальній обробці видалити цей матеріал в спеціальній печі, за рахунок розплавлення підтримуючих елементів. Або використати витратний матеріал для підтримуючих елементів, який розчиняється просто у воді. На рисунку 1.5 зображено принтер на технології MJM, який друкує двома різними котушками, одна із них виконується для підтримуючого елемента.

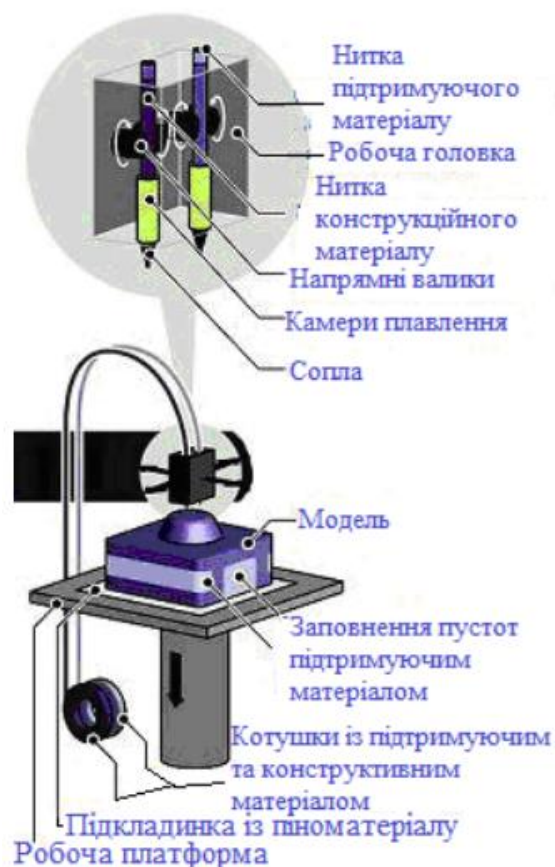


Рисунок 1.5 – MJM технологія

									Арк.
									18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Технологія дозволяє використовувати фотополімер, який також вимагає затвердіння ультрафіолетом. Надрукований шар відразу повинен засвічуватись ультрафіолетовою лампою. Друк воском, не потребує додаткових зусиль, він застигає при природному охолодженні. Воскові моделі не є досить міцні, їх переважно використовують під виготовлення форм для лиття.

Також можна використовувати матеріали різних кольорів, за один друк можна створити різнокольорову модель. Можна отримати багато відтінків через змішування різних базових кольорів. Друкувати моделі з різними властивостями – еластичність з твердістю.

Переваги:

- мала товщина шару, від 15 мкм;
- кольоровий друк та поєднання різних матеріалів;
- принтери досить компактні в порівнянні з попередніми технологіями.

Недоліки:

- потрібні підтримуючі елементи для моделей, які потрібно видаляти при фінальній обробці;
- невеликий вибір витратних матеріалів.

LOM технологія (Laminated Object Manufacturing) – виготовлення об'єкту пошаровим склеюванням плівок.

Ця технологія використовує матеріал який вирізається лазером або спеціальним лезом, а потім склеюється або спресовуються у готову модель. Для створення моделей використовують:

- папір;
- пластик;
- метал;
- кераміку.

На рисунку 1.6 зображено LOM технологію, яка реалізована за допомогою склеювання.

									Арк.
									19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

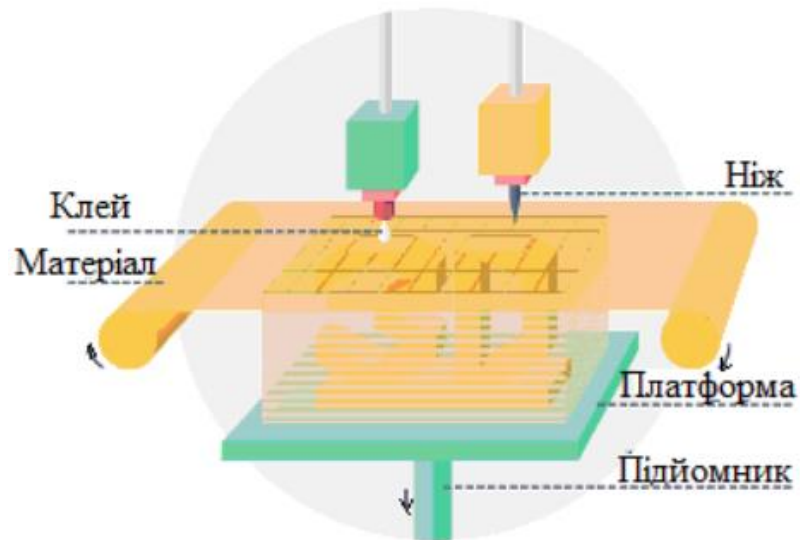


Рисунок 1.6 – LOM технологія

Для прикладу розглянемо 3D принтер Mcong IRIS. Він був представлений на виставці SolidWorks в 2013 році. Він використовує для друку папір формату А4 або папір з щільністю 160 г / м². Принтер є кольоровим, може фарбувати папір в потрібний колір, забезпечує друк більше мільйоном кольорів. Максимальна область друку в тривимірному принтері становить 256 × 169 × 150 мм. На рисунку 1.7 зображено 3D принтер, габарити якого становлять 950 × 700 × 800 мм, а вага 160 кг.



Рисунок 1.7 – 3D принтер від компанії Mcong Technologies

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

123.KI-41.16

Арк.

20

Модель на цьому принтері виготовляється в 3 етапи. Спочатку аркуші паперу записуються в 2D принтер. Принтер друкує потрібний шар для моделі в кольорі на кожному аркуші.

Пізніше технік переносить надруковані листи у 3D принтер. На папері лазерним променем або лезом робиться проріз по межі зображення яке було нанесено на 2D принтері. В кінці технік самостійно видаляє папір який залишився без зображення. Це займає немало часу, особливо для великих та складних моделей.

Ця технологія має багато відходів. Якщо шар моделі в рази менший ніж аркуш А4, то решта частина паперу просто потрібно викинути, а враховуючи що шарів моделі буде багато, то це досить багато відходів.

Готові надруковані тривимірні моделі виходять гарними і міцними. Собівартість моделі досить мала, через те що папір дешевий. Але для них ще використовується клей, який потрібен для склеювання шарів. Ціна за 500 мл приблизно становить – 1500 грн. А ціна самого принтера може бути більша ніж \$40000. В кінцевому результаті виходить не так дешево, не враховуючи ще кольорові картриджі.

Переваги технології:

- головний витратний матеріал є досить дешевим;
- не потрібно створювати підтримуючі елементи для нависаючих моделей;
- багатоколірний друк моделей;
- створення великих моделей.

Недоліки технології:

- обмежений витратний матеріал, та інші властивості моделі;
- модель деколи виходить досить грубою, через те що товщина шару паперу завжди однакова;
- механічна обробка призводить до розшарування;
- велика кількість відходів;
- усунення зайвого паперу, що може бути інколи складним;

									Арк.
									21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- кольоровий друк реалізується за допомогою 2D принтера.

FDM технологія (Fusing Deposition Modeling) – пошарове накладання нитки пластику.

Найбільш популярна технологія на даний момент. Як і в попередніх усіх технологіях, в FDM модель друкується пошарово. На рисунку 1.8 зображено екструдер 3D принтера та його елементи. Екструдер – це елемент 3D принтера який виконує друк тривимірної моделі, друкуюча голова.

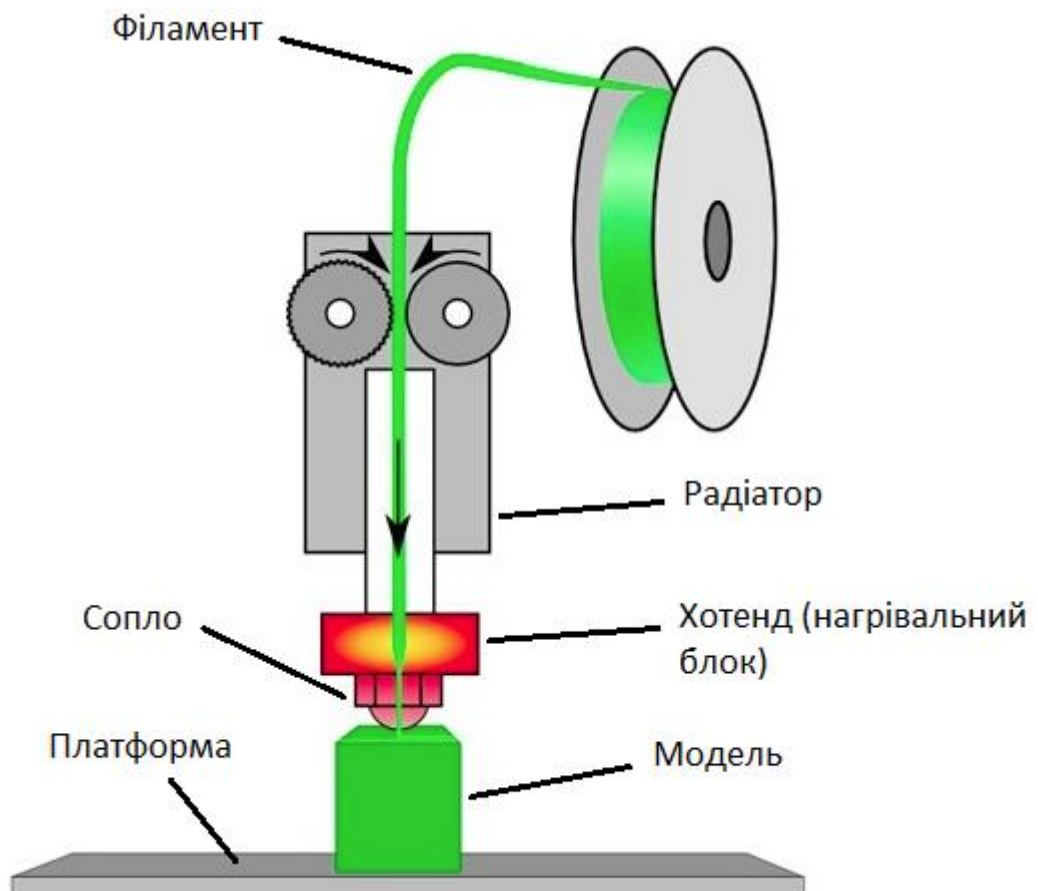


Рисунок 1.8 – Екструдер та його елементи в FDM технології

Філамент – це матеріал в різних технологіях, який використовується для 3D друку.

Хотенд – це частина екструдера в принтері яка нагріває термопластичну нитку (філамент).

Сопло – кінцева частина виходу філаменту.

					123.KI-41.16	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Для створення шару моделі філамент нагрівається в хотенді до розплавленого стану. Після чого нитка пластику видавлюється через сопло малого діаметру. Філамент осідає на платформі принтера якщо це перший шар або на верхній шар приєднавшись до нього. Екструдер переміщується по горизонтальній площині. Поступово друкує контури і заповнення моделі. Після чого вертикально переміщується за допомогою опускання платформи на товщину шару. Так продовжується надалі, поки 3D об'єкт не буде надрукований повністю.

Що до витратного матеріалу, то найчастіше використовують пластики з різними параметрами. Але є моделі тривимірних принтерів на яких можна використовувати метали з невисокою температуро плавлення, а також можна друкувати шоколадом.

Відповідно даній технології мінуси одразу очевидні:

- невисока швидкість друку моделі (але попередні технології є теж не дуже швидкі);
- маленька роздільна здатність, помітно шаруватість надрукованої 3D моделі;
- фіксація першого шару моделі на платформі принтера (перший шар має прилипнути до робочого стола); її можна вирішити підігрівом стола, або нанесенням клею, правильним калібруванням платформи;
- обов'язкове створення підтримуючих елементів для нависаючих тривимірних моделей, які пізніше доводиться самостійно видаляти; деякі моделі неможливо надрукувати навіть з ними, тоді їх потрібно розбивати на декілька частин і пізніше склеювати.

Моделі виготовлені за технологією FDM, потребують досить складну кінцеву обробку, її неможливо механізувати, через це її виконують вручну.

З менших недоліків, це міцність моделі, яка залежить від напрямку прикладання зусиль. Модель буде міцна на стиск в перпендикулярному

										Арк.
										23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					123.КІ-41.16	

напрямку в якому розташовані шари. Але якщо її скрутити, то можливий розрив по між шарами.

Також термоусадка є інколи недоліком, вона пов'язана з нагріванням моделі. Вона змінює розмір 3D моделі після охолодження. Але багато чого залежить від властивостей філаменту.

Технологія FDM не є безвідходною. Відходами є не тільки підтримуючі елементи в моделі. Коли технік здійснює підбір певного режиму друку для об'єкту досить багато пластику йде також у відходи.

Виходячи з недоліків незрозуміло чому ця технологія зараз настільки популярна.

Головна причина популярності – ціна на 3D FDM принтери, та на філамент до них. Причиною цього стало закінчення в 2009 році терміну дії патенту на технологію. Після чого просування пішло по ринку. Ціни на FDM моделі принтерів опустилися в рази. Сьогодні можна придбати принтер китайського виробництва за 250 – 450 доларів. Але вони не будуть настільки якісними як будете очікувати насправді. Більш кращі принтери середнього рівня мають ціну від 1300 – 2000 доларів.

Також важливою причиною популярності стала поява проекту RepRap (Replicating Rapid Prototyper) – самовідтворюваний механізм швидкого протипування. Проект полягав у самовідтворенні подібних частин 3D принтера уже на готовому принтері. Виготовлялися лише частини в рамках даної технології. Все решта доводилося докупляти. Головним завданням було створити дешеві моделі тривимірних принтерів, щоб було доступно усім. Щоб кожен бажаючий міг спробувати себе в 3D друці.

Відтворені такі принтери не були досконалі в технології FDM, але була така можливість, за мінімальні витрати створити працюючий апарат.

Окрім того що ціна у FDM принтерів є низькою, є і інші переваги. Це пов'язано з модифікацією принтера. Також філамент може мати багато різних властивостей.

									Арк.
									24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				123.КІ-41.16	

Для кожного типу філаменту має бути своя робоча температура як екструдера, так і платформи 3D принтера для кращої адгезії з нею. Ці параметри не однакові для кожного пластику. Але є приблизний діапазон для кожного філаменту який може вказуватися на катушці пластику. Інколи потрібно підбирати робочу температуру еспериментально.

Одні з основних витратних матеріалів пластика для FDM принтерів є ABS і PLA.

ABS – це ударостійкий технічний термопласт. Пластик не є прозорим, та легко фарбується.

Переваги ABS філаменту:

- удароміцність;
- не має токсинів;
- довговічність;
- вологостійкість;
- стійкість до різних кислот;
- діапазон робочих температур: від - 30°C до +80°C;
- дешева ціна;
- розчинність в ацетоні, що дозволяє склеювати різні деталі з пластику або обробляти щоб досягти гладкої поверхні;

Недоліки ABS філаменту:

- не стійкий до прямого опромінення ультрафіолетом;
- несумісний з харчовими продуктами;
- більша термоусадки ніж у PLA;
- при 3D друці відчувається слабких запах;
- вищі температури плавлення ніж у PLA, в діапазоні від 220-265°C, а нагрів платформи до 120°C.

Ціна за кілограм катушки пластику становить \$12 – 20.

PLA – біорозкладний термопластичний полієфір, в структурі якого є молочна кислота. Він не є токсичним, може застосовуватися в екологічних матеріалах.

									Арк.
									25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

123.КІ-41.16

Переваги PLA філаменту:

- мала термоусадка, менша ніж в ABS;
- низький коефіцієнт тертя;
- більш в'язкий ніж ABS, швидше може зігнутися ніж зламатися під навантаженням;
- нижчі температури плавлення ніж в ABS, в діапазоні від 180-205°C, а нагрів платформи до 40-60°C.

Недоліки PLA філаменту:

- менша довговічність в порівнянні з ABS;
- вимагає певного режиму вологості.

Ціна за кілограм котушки пластику становить \$18 – 35.

Обробка PLA пластику виконується за допомогою дихлоретану. Вимагається підвищена безпека при обробці, так як він виділяє специфічний запах, від якого можливі головні болі. Також ним можна робити склеювання різних частин пластику.

Інші філаменти для 3D друку менш поширені ніж попередні.

NYLON – легкий полімер, досить гнучкий. Має стійкість до хімічних впливів. Надруковані моделі мають низьке поверхнєве тертя.

Робоча температура плавлення близько 235-250°C. Не виділяє в порівнянні з ABS запахів. Ціна за 1 кг котушки становить \$22 – 35.

HIPS – полістирол, досить твердий та жорсткий. Філамент не є прозорим. Стійкий до ударів, та перепаду температур. Розчинний в лімоніті – розчинник який виробляється з цитрусу. Можна використовувати для підтримуючих елементів в моделі, щоб в кінцевому результаті не видаляти їх самотійно, а розчинити.

PC – ударостійкий полікарбонат. Термостійкий та стійкий до хімічних речовин. Має високу прозорість. Дуже часто використовують в заміну скла. За рахунок високій міцності філаменту, можуть виготовляти куленепробивне скло. Є можливість виготовляти контакти лінзи.

									Арк.
									26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Робоча температура друку 260-285°C, а температура платформи 90-120°C. Ціна за кілограм катушки пластику становить \$35 – 50.

Wood – дерев'яний пластик. Моделі виготовлені з нього виглядають як дерев'яні, зображено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Модель виготовлена з дерев'яного пластику

Цей філамент виготовлений з 70% деревного пилу. За параметрами він схожий до PLA пластику. Він також є вологостійкий. Готові моделі легко піддаються шліфуванню, покритті лаком чи фарбуванню.

Робоча температура друку 170-230°C. З особливостей чим вища буде температура друку, тим темніша буде готова модель. Ціна за 1 кг катушки дерев'яного пластику становить \$80 – 120.

Laybrick – пластик з мінеральних наповнювачів. Вироби з нього мають поверхню з ефектом піску, на рисунку 1.10 зображено.

Робоча температура друку 160-190°C, нагрівання платформи не потрібне. Від температури залежить ефект імітації піщаності. Чим більша, тим більший ефект. Після закінчення друку моделі, потрібно чекати декілька годин, щоб модель стала твердою. Ціна за кілограм пластику становить \$40 – 80. Всі ціни які були вище є лише приблизними. Ціна на матеріал може змінюватися з деяким часом, а також залежить він виробника країни.

									Арк.
									27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Пластики Laybrick та Wood переважно використовують в архітектурних макетах та декорі.



Рисунок 1.10 – Моделі виготовленні з пісочного пластику

Також ще є металізовані пластики. Вироби з них показані на рисунку 1.11. Їхня ціна теж є досить високою.



Рисунок 1.11 – Моделі виготовленні з металізованих пластиків

					123.КІ-41.16	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Области застосування 3D принтерів

На сьогодні, одні з найпопулярніших сфер в об'ємному друці – це:

Медицина

В медицині на даний момент використання тривимірних принтерів є незамінним. Вони можуть відтворити людський скелет, за допомогою якого проведуть прийоми успішної операції. 3D принтери також використовують в стоматології, рисунок 1.12. Вони дозволяють виготовити протези і коронки досить швидко та якісно.



Рисунок 1.12 – 3D друк в стоматології

Тривимірний друк застосовують в протезуванні людей. За допомогою принтерів успішно друкують суглоби, кістки людини. Навіть друкують елементи обличчя.

На 3D принтерах було надруковано екзоскелет, який допомагає хворим людям поновити втрачені рухи. Протези друковані за допомогою принтерів є набагато дешевшими ніж фірмові медичні протези.

Також вчені надрукували людську нирку за 2,5 години у 2011 році.

									Арк.
									29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Освіта

Завдяки технологіям 3D друку, в освіті появляються різні наочні посібники, які використовують в різних навчальних закладах.

3D принтери можуть використовуватися в шкільних класах. Вони дають можливість заохотити до вивчення нових знань та розвивають творчі навички. Підвищена ефективність освітнього процесу. На рисунку 1.13 зображений 3D принтер для освітнього використання.

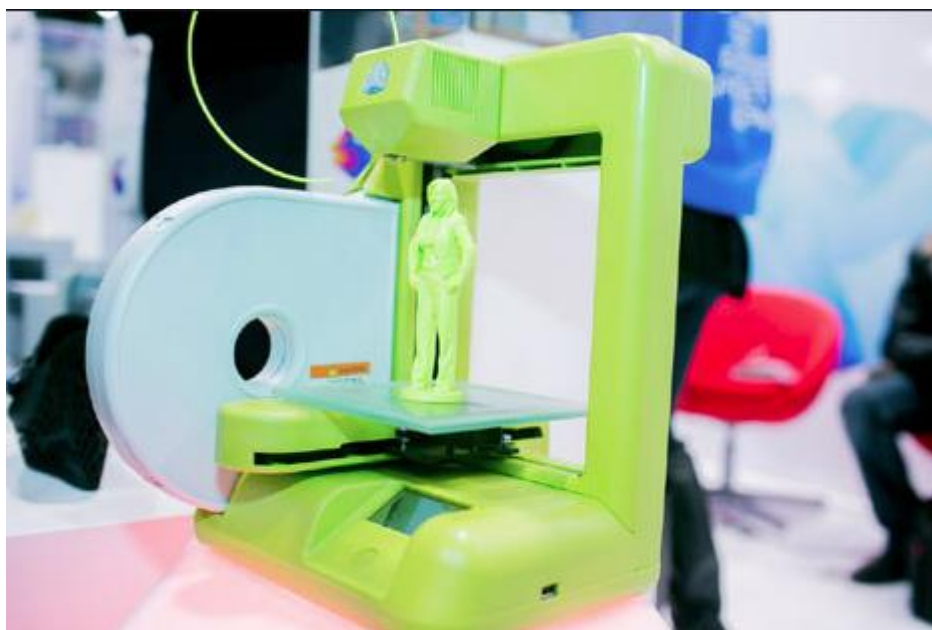


Рисунок 1.13 – 3D принтер

Особливості принтера:

- підвищена надійність;
- не виділяє шкідливих речовин;
- не містить ріжучих матеріалів;
- не має лазерів;

Будівництво

Існує декілька інженерних тривимірних принтерів які на даний момент використовують в сфері будівництва. Технологія будівельного друку працює як будівельний кран, який створює пошарово стіни бетону. 3D принтер за 24 години може побудувати двоповерховий будинок. Після чого потрібно

									Арк.
									30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

встановити вікна і двері, та внутрішнє оздоблення. На рисунку 1.14 зображено будинок збудований за технологією 3D друку.



Рисунок 1.14 – Будинок, збудований за технологією 3D друку

За допомогою FDM 3D принтерів для будівництва виготовляють міцні кріплення. Вони економлять багато часу та грошей на виготовлення різних деталей.

Ювелірні вироби

Використання 3D принтерів в ювелірному мистецтві, стало проривом. Ідеї майстрів реалізуються на новому рівні. Ювелірний тривимірний принтер (SLA) виготовляє воскові моделі, які в подальшому реалізують як майбутній виріб.

Принтери також використовують для виготовлення прес-форм, які в подальшому існують для виливки.

Завдяки високоякісним смолам, створюються міцні вироби, які можна використовувати в побуті. На даний момент, фотополімерні смоли уже використовують в повсякденному друку. Але єдиним обмеженням це є область

									Арк.
									31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

друку моделі. На рисунку 1.15 зображено використання принтерів в ювелірному мистецтві.



Рисунок 1.15 – Реалізація майбутніх виробів за допомогою 3D принтера

Мода

3D принтери поступово освоюють виробництво одягу та взуття. На показах моди, можна уже побачити надрукований одяг. Що до виробництва цього одягу в маси, це лише питання часу.

Надрукована перша пара взуття була в 2011 році. Це були старання шведських студентів.

На сьогодні, уже випускаються моделі кросівок відомих брендів з друкованою 3D підошвою. Ці моделі будуть користуватися попитом, за рахунок практичності та креативності. Перевага такого взуття є врахування форми стопи та розміру для кожного власника індивідуально. На рисунку 1.16 буде зображено модель кросівок випущених компанією Adidas під назвою 4D Futurecraft sneakers.

									Арк.
									32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Рисунок 1.16 – Кросівки Adidas з виготовленою підшвою за технологією 3D друку

Сувеніри та іграшки

Завдяки 3D принтерам, виготовляють унікальні іграшки та сувеніри. Це все легко уже можна зробити. Дітям можна дарувати нові іграшки. Не потрібно купувати нові іграшки і витратити на них багато грошей. Це все можна надрукувати на тривимірному принтері.

На даний момент, технологія дозволяє просто завантажити 3D модель та надрукувати її. Можна обрати будь-який колір та розмір моделі. Для прикладу на рисунку 1.17 зображено друковані моделі іграшок.



Рисунок 1.17 – Надруковані на 3D принтері сувеніри та іграшки

									Арк.
									33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

1.4. Програмне забезпечення для роботи з тривимірними принтерами

Розглянемо найосновніші ПЗ для створення тривимірної моделі та її подальшого друку на 3D принтері.

Спочатку потрібно створити 3D модель та зберегти її в STL файл. Існує 3 варіанти для створення копії моделі:

1. За допомогою 3D сканера, використовуючи програмне забезпечення яке йде в комплекті.
2. Використовуючи кінект, великий вибір платних та безкоштовних програм для сканування за допомогою ігрового контролера.
3. За допомогою фотоапарату і програми **Autodesk 123D Catch**, в якій створення 3D моделі відбувається за рахунок зроблених фотографій.

Якщо потрібно створити нову модель для тривимірного друку, необхідно змодельовати її. Що до 3D редакторів, їх існує досить багато. Один з найпопулярніших – **Autodesk 3Ds Max**. В програмі можна намалювати все, має великий функціонал. Її використовують дизайнери та модельєри у всьому світі. Вона є досить складною, але в Інтернеті є багато будь-яких безкоштовних уроків. Також є безкоштовна ліцензія, якою може скористатися студент.

Наступна програма для створення тривимірних моделей – **SolidWorks**. Це альтернатива найпопулярнішому 3D редактору. Завдяки цій програмі, можна оцифровувати двовимірні креслення. Для роботи з нею потрібно мати хоча б базові знання креслення та геометрії. Уроки для роботи з SolidWorks також можна знайти в Інтернеті.

Ще один редактор від компанії Autodesk це програма – **Autodesk 123 Design**. Програма є цікавою, простою та зручною у використанні. Досить хороший функціонал. Є зв'язок з хмарними технологіями. Для новачків це найкращий 3D редактор. Один з недоліків програми, це відсутність спільнот.

Редактор який був розрахований на дитячу групу – **Thinkcard**. В програмі простий інтерфейс та досить багато готових об'єктів. Готовими моделями можна відразу ділитися в Інтернеті, які можуть використовувати для

									Арк.
									34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

подальшого доопрацювання. Також готові файли моделей легко переносяться в популярну гру Minecraft для дітей.

Після того як модель буде готова, її слід підготувати до друку. 3D принтери не друкують напряму тривимірну модель. Її спочатку потрібно перетворити у зрозумілий для принтера формат STL, та створити для неї G-code. Зазвичай ПЗ йде в комплекті.

Найпопулярніше програмне забезпечення для підготовки 3D моделі до друку – **Cura**. Має широкий вибір налаштувань та плагінів. Температуру можна змінювати під час друку на різних етапах моделі. Розрахунок та створення G-code відбувається швидко. Програмне забезпечення використовує високошвидкісний слайсер.

Cura – універсальне ПЗ, яке немає конкурентів. Хороша якість, швидкість та просте настроювання моделі для друку.

Для 3D принтерів компанії MakerBot є спеціальне ПЗ – **MakerWare**. Вона є дуже зручною та простою в користуванні. В програмі немає багато налаштувань, але всі вони дуже добре працюють. Плюсом програми є те що вона сумісна з китайськими аналогами.

Програмне забезпечення **Repetier host**. Вона є складною у використанні та незрозумілою для новачків. Програма має великий функціонал. Можливість підключати інші слайсери. Працювати в даному ПЗ варто тоді, коли отримаєте досвід у роботі з 3D принтером. Новачкам використовувати дану програму важко та некомфортно.

Висновки до розділу

У даному розділі було описано історію створення та розвитку 3D принтерів та їх технологій. Також було описано сучасні технології тривимірного друку, такі як:

- SLA – стереолітографія;
- SLS – селективне лазерне спікання;
- MJM – метод наплавлення;

									Арк.
									35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				123.KI-41.16	

- LOM – пошарове склеювання плівок;
- FDM – пошарове накладання нитки пластику.

Описано витратні матеріали для FDM 3D принтерів. Одні з найпопулярніших це FDM та PLA, але є також різні незвичайні пластики. Також було здійснено опис областей застосування тривимірних принтерів, для прикладу: медицина, освіта, будівництво, ювелірні вироби, мода, сувеніри та іграшки. Розглянуто програмне забезпечення для роботи з принтерами та створенням 3D моделей.

					123.KI-41.16	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОКАЛІБРУВАННЯ

ПЛАТФОРМИ ДЛЯ 3D ПРИНТЕРА

2.1. Принцип роботи пристрою

Давачі беруть заміри механічно, доторкаючись щупом до поверхні платформи 3D принтера, зображено на рисунку 2.1.

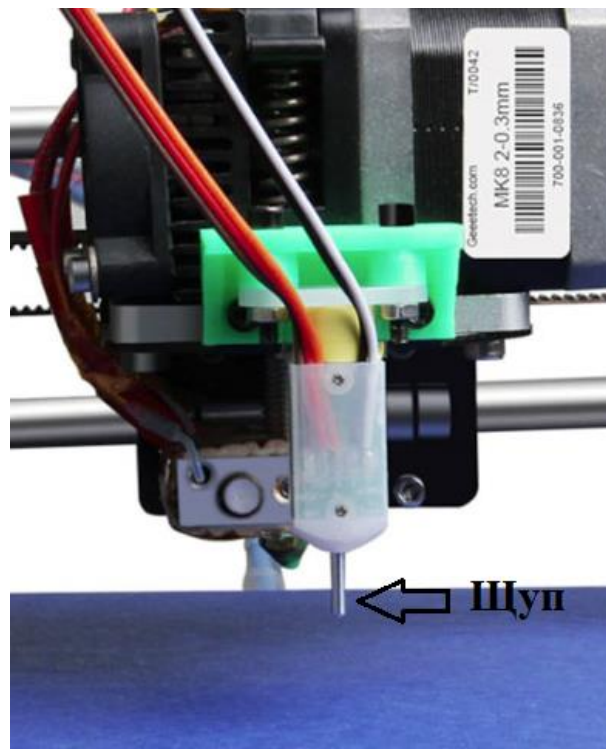


Рисунок 2.1 – Механічний замір щупом до поверхні платформи 3D принтера

Після цього, програмне забезпечення принтера створює карту спотворень стола і компенсує їх під час друку моделі. Найбільше це помагає при друці першого шару моделі, так як від нього багато чого залежить при подальшій роботі принтера. Ясне діло, навіть якщо на принтері встановлена система автокалібрування, платформа принтера як і всі решта осі повинні бути рівними і перпендикулярними один до одного, але якщо у вас наприклад нерівний стіл

									Арк.
									37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

3D принтера, а таке стається доволі часто, тоді датчик автокалібрування може навіть дуже пригодитися.

Оригінальні корейські датчики коштують досить багато. Один з цікавих способів реалізації контактної калібровки - саморобний датчик. Корейські датчики для реєстрації дотику до поверхні використовують так званий датчик Холла, якщо не вдаватися в подробиці то він реагує на зміну магнітного поля, а рух самого щупа здійснюється за допомогою електромагніту який розташований зверху. Саморобний датчик виготовлений іншим способом, щуп буде підніматися за допомогою маленького серводвигуна, а опускатися невеликою пружинкою. Дотики будуть реєструватися оптичним сенсором, такі інколи використовують в ролі кінцевика на 3D принтерах. Готовий виготовлений датчик зображений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Саморобний датчик

2.2. Вибір пристроїв для створення саморобного датчика

Для розробки датчика нам потрібно маленький серводвигун за допомогою якого щуп буде підніматися. Серводвигун – це пристрій дистанційного або автоматичного керування, який за рахунок енергії здійснює механічне

					123.КІ-41.16	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщення. Також оптичний кінцевий стоп-перемикач, який використовується для 3D принтерів, за допомогою якого будуть реєструватися дотики до платформи принтера.

Проаналізувавши ринок, та розглянувши найбільш підходящі параметри для пристрою розробки давача, вибір був зроблений. Щодо серводвигуна на основі потрібних параметрів я обрав новий SG90 digital мікро серводвигун зображений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Серводвигун SG90 digital

Короткий опис серводвигуна:

1. Вага: 9 г.
2. Розмір: 23 x 12.2 x 29мм.
3. Обертаючий момент: 1,8 кг/см (4,8 В).
4. Робоча швидкість: 0,1 с/60 градусів.
5. Діапазон температури: -20 – 60 °С.

З приводу оптичного давача я обрав оптичний кінцевий стоп-сигнал Орто на базі TCST2103 розпаяний на платі роз'ємом 2S JST-XH зображений на рисунку 2.4. Роз'єм є для зручності підключення та індикаторним світло

									Арк.
									39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

діодом. Для визначення початку координат по всіх трьох осях (X, Y, Z) використовуються кінцеві вимикачі. Також вони часто використовуються в 3D принтерах.



Рисунок 2.4 - Оптичний кінцевий стоп-сигнал Opto

Короткий опис оптичного вимикача:

1. Вага: 4,5 г.
2. Розмір: 33 x 10 x 20мм.
3. Діапазон температури: -10 – 50°C.

2.3. Виготовлення корпуса давача за допомогою тривимірного друку

Виготовлення корпуса давача буде здійснюватися за допомогою 3D принтера Anycubic 4Max Pro який зображений на рисунку 2.5. У світі існує багато різних видів пластику які використовуюється для тривимірного друку. Із основних пластиків це - ABS, PLA, NIPS, PETG, FLEX. При виборі пластику нам слід врахувати всі його характеристики. Так як давач весь час при роботі буде знаходитися недалеко від екструдера принтера, температура якого досягає більше 180°C. За допомогою лазерного термометра, виміряли температуру

									Арк.
									40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

123.KI-41.16

середовища в якому буде знаходитись система давача. Середовище в якому він буде знаходитись більше 80°C.



Рисунок 2.5 – 3D принтер Anycubic 4Max Pro

Враховуючи всі параметри у даному випадку нам слід використати пластик PETG. Його висока міцність та термостійкість до 190°C, якраз те що потрібно для корпусу.

Для здійснення 3D друку також потрібно було змодельовати модель корпусу. Було вибрано один з кращих додатків для моделювання. Після зняття розмірів з пристроїв, 3D модель була змодельована у програмі FreeCad та форматована у stl файл для друку. Готова модель зображена на рисунку 2.6.

					123.KI-41.16	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

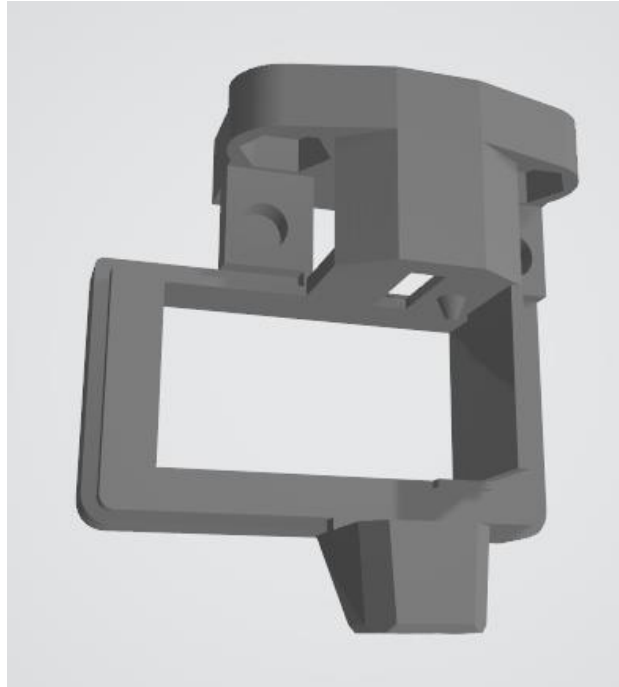


Рисунок 2.6 – 3D модель корпуса датчика

Після того принтер був підготовлений до тривимірного друку. Для друку використовувалась FDM технологія. Підготовка моделі до друку здійснювалась в програмному забезпеченні «Cura». Час друку займав 1 годину. Надрукована модель на принтері зображена на рисунку 2.7.

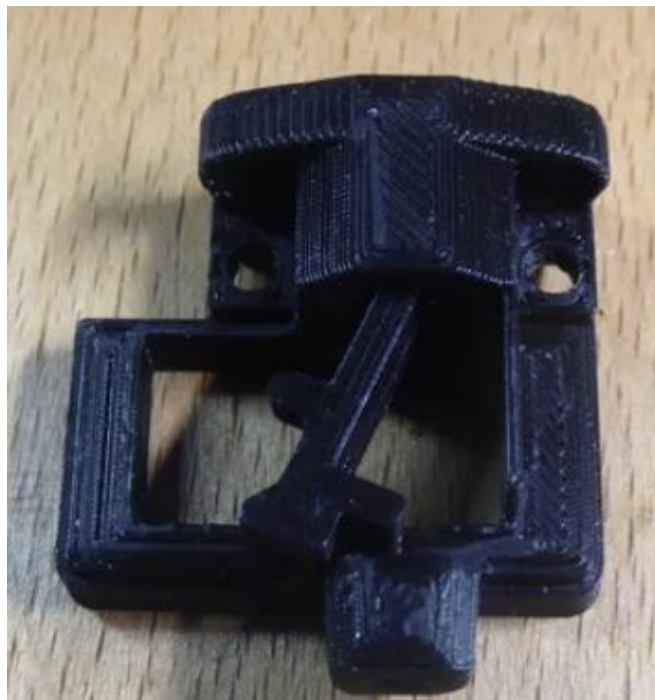


Рисунок 2.7 – Корпус датчика

					123.KI-41.16	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Встановлення та налаштування модуля програмного забезпечення на 3D принтер

Перш ніж почати користуватися принтером з системою давача, потрібно встановити програмний модуль та налаштувати його. ПЗ тривимірного принтера – це програмний код і його основною функцією є читання та відтворення коду G, та управління принтером через інтерфейс. Код G перетворює відповідні команди в електричні імпульси та сигнали, а потім надсилає їх на двигуни та датчики. Одна з найпопулярніших програмних забезпечень на якій працює принтер це Marlin, яка в розробці знаходиться ще з 2010 року.

Для того щоб її завантажити потрібно перейти за посиланням <https://github.com/MarlinFirmware/Marlin>, та натиснути на вкладку Code і кнопку Download ZIP так як зображено на рисунку 2.8.

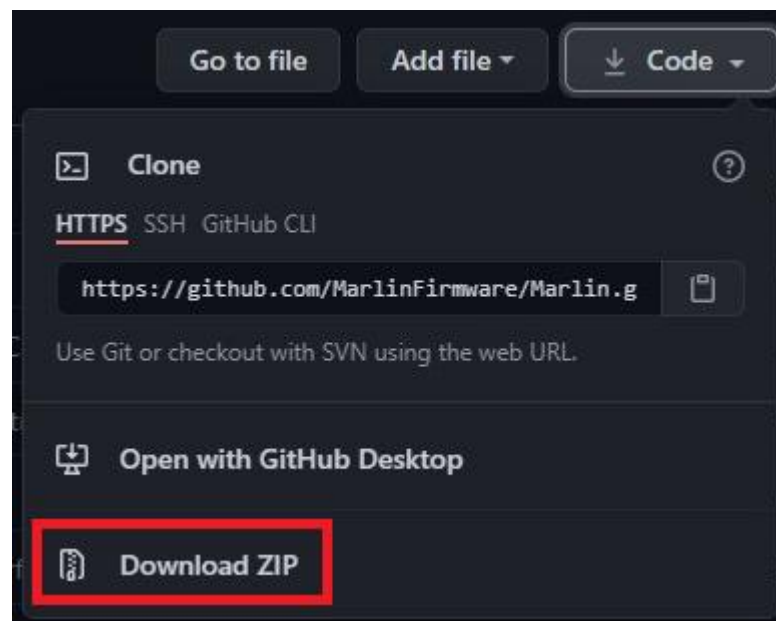


Рисунок 2.8 – Скачування ПЗ

Після чого потрібно розархівувати цей файл в папку за допомогою WinRAR. Додатково потрібно встановити програму Arduino IDE. Ця програма відповідає за налаштування, та встановлення ПЗ на 3D принтер. Перейшовши

					123.KI-41.16	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за посиланням <https://www.arduino.cc/en/software>, необхідно скачати, або отримати додатком в Microsoft зображено на рисунку 2.9.

Downloads



Arduino IDE 1.8.13

The open-source Arduino Software (IDE) makes it easy to write code and upload it to the board. This software can be used with any Arduino board.

Refer to the **Getting Started** page for Installation instructions.

SOURCE CODE

Active development of the Arduino software is **hosted by GitHub**. See the instructions for **building the code**. Latest release source code archives are available **here**. The archives are PGP-signed so they can be verified using **this** gpg key.

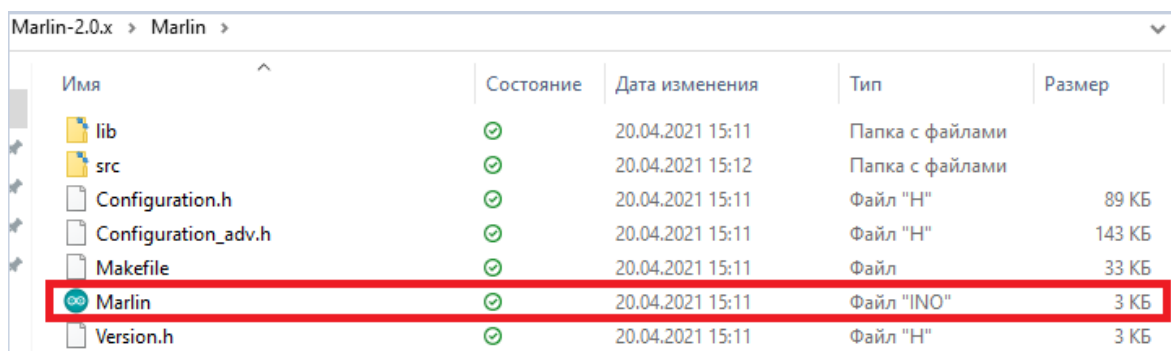
DOWNLOAD OPTIONS

- Windows** Win 7 and newer
- Windows ZIP file**
- Windows app** Win 8.1 or 10 **Get**
- Linux** 32 bits
- Linux** 64 bits
- Linux** ARM 32 bits
- Linux** ARM 64 bits
- Mac OS X** 10.10 or newer

Release Notes Checksums (sha512)

Рисунок 2.9 – Скачування програми Arduino IDE

Наступний крок зображено на рисунку 2.10, відкриваємо папку з скаченою прошивкою, переходим в папку Marlin, та відриваємо застосунок ПЗ.



Имя	Состояние	Дата изменения	Тип	Размер
lib	✓	20.04.2021 15:11	Папка с файлами	
src	✓	20.04.2021 15:12	Папка с файлами	
Configuration.h	✓	20.04.2021 15:11	Файл ".h"	89 КБ
Configuration_adv.h	✓	20.04.2021 15:11	Файл ".h"	143 КБ
Makefile	✓	20.04.2021 15:11	Файл	33 КБ
Marlin	✓	20.04.2021 15:11	Файл ".INO"	3 КБ
Version.h	✓	20.04.2021 15:11	Файл ".h"	3 КБ

Рисунок 2.10 – Відкриття застосунку ПЗ

Вслід відкриття вікно програми Arduino IDE з прошивкою Marlin. У верхньому вікні програми буде декілька вкладок, всі вони відповідають за реалізацію роботи принтера. Одна з основних яка нам потрібна для налаштування це Configuration.h зображена на рисунку 2.11.

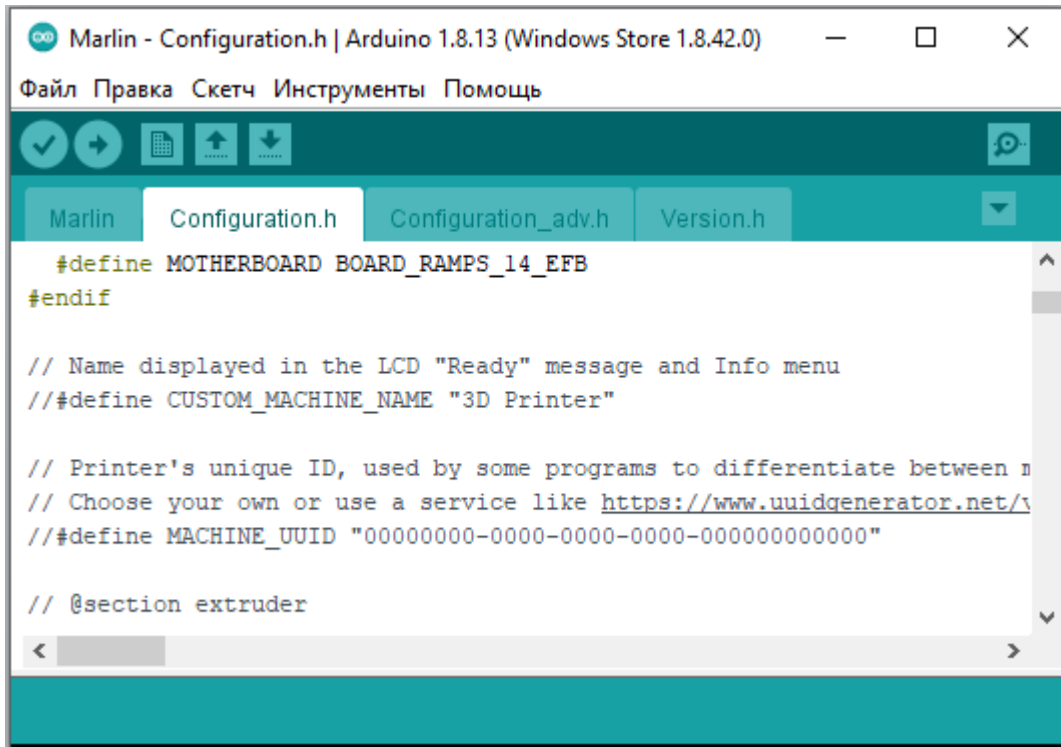


Рисунок 2.11 – Інтерфейс програми Arduino IDE

Далі потрібно замінити рядок назви конфігурації плати на назву вашої плати в 3D принтері. Заміна «MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB» на «MOTHERBOARD BOARD_BTT_SKR_E3_DIP» зображено на рисунку 2.12.



Рисунок 2.12 – Рядок заміни назви плати в конфігурації прошивки

Після цього приступаємо до налаштування параметрів саморобного давача в цій же вкладці. Усі параметри які ми будемо налаштовувати можна знайти за допомогою пошуку в програмі комбінацією клавіш «Ctrl + F» або так як зображено на рисунку 2.13, прописуючи назву цієї команди.

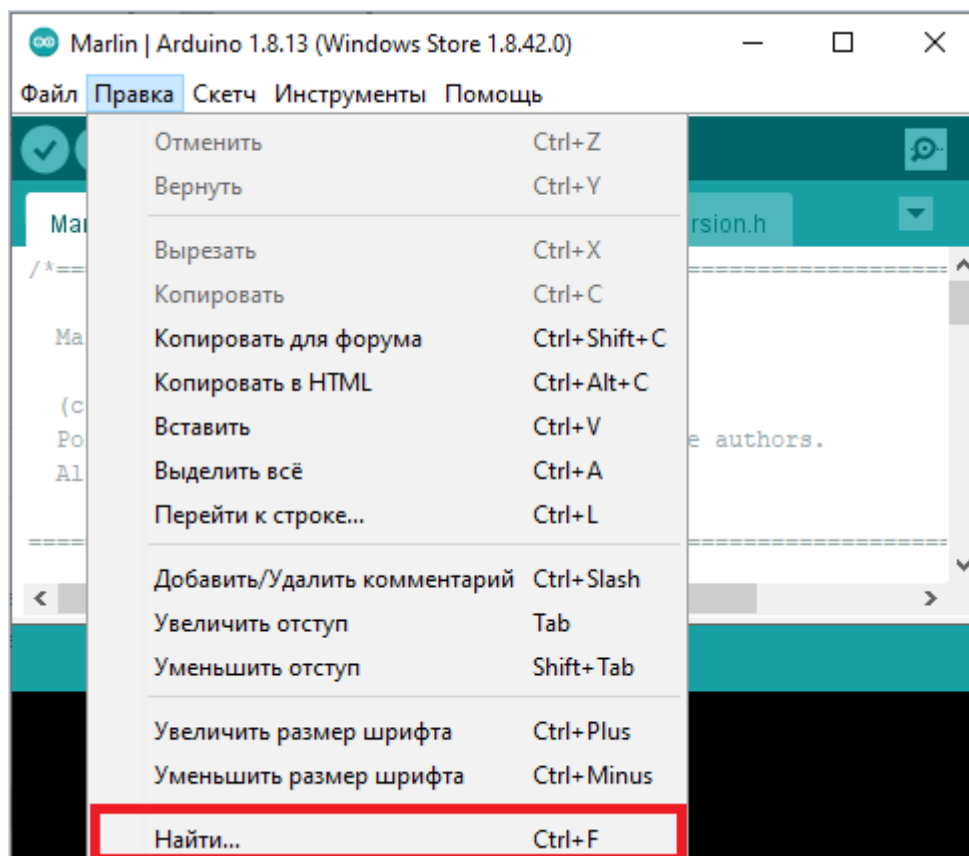


Рисунок 2.13 – Пошук параметрів в програмі

Далі буде перелік команд яким потрібно зробити редагування:

- `#define Z_SAFE_HOMING` – призначена для того щоб вісь Z паркувалася в центрі стола. На даний момент вона не працює через те що закоментована, зображено на рисунку 2.14;

```
//  
//#define Z_SAFE_HOMING
```

Рисунок 2.14 – Закоментована строка коду

Для того щоб її розкоментувати потрібно перед `#define` видалити два елементи `«//»` і тоді ця команда буде дійсна. На рисунку 2.15 зображено уже розкоментовану команду.

```
//  
#define Z_SAFE_HOMING
```

Рисунок 2.15 – Розкоментована строка коду

- `#define Z_MIN_PROBE_USES_Z_MIN_ENDSTOP_PIN` – цю команду потрібно розкоментувати. Так як оптичний датчик буде підключений замість кінцевика осі Z;
- `//#define MIN_SOFTWARE_ENDSTOP_Z` – ось тут потрібно закоментувати, щоб мати можливість опускати вісь Z нижче 0 координат. З відключеною цією функцією завжди уважно слідкуйте коли опускаєте вісь Z, щоб не вдарити сопло в платформу принтера. Якщо ви боїтесь що випадково це зробите, замість цього можна включити `#define SOFT_ENDSTOPS_MENU_ITEM`, тоді в меню принтера появиться пункт дозволяючи включати або відключати цю функцію;
- `//#define ENDSTOPPULLUPS` – для оптичного датчика не потрібно підтягуючий резистор через це ми закоментуємо, але дві наступні команди потрібно розкоментувати;
- `#define ENDSTOPPULLUP_XMIN, ENDSTOPPULLUP_YMIN` – розкоментуємо, через те що потрібні для інших кінцевиків;
- `#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING` та команда `#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING` – мають бути виставлені у false;

									Арк.
									47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				123.KI-41.16	

- `#define NUM_SERVOS 3` – замінюємо 3 на 1 (`NUM_SERVOS 1`), вказуючи цим на серводвигуни;
- `#define SERVO_DELAY { 300 }` – затримка перед наступним рухом, потрібно змінити на `{350}`;
- `#define DEACTIVATE_SERVOS_AFTER_MOVE` – розкоментуємо цю команду;
- `#define Z_PROBE_SERVO_NR 0` – також розкоментуємо, так як серва у нас буде пілчочена до піна `SERVOS 0`;
- `#define Z_SERVO_ANGLES {110,60}` – це кут серви у висунутому та засунутому положенні щупа. Тут важливо не так самі цифри, як різниця між ними;
- `#define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR` – активуємо білінійну калібровку розкоментувавши її;
- `#define RESTORE_LEVELING_AFTER_G28` – також активуємо, щоб карта спотворень не скидалася після команди `G28`;
- `#define Z_MIN_PROBE_REPEATABILITY_TEST` – щоб можна було проводити тест замірів цю команду розкоментуємо;
- `#define NOZZLE_TO_PROBE_OFFSET { -48, -10, 0 }` – цією командою вказуємо відступ давача від сопла, `{-48}` означає 48 міліметрів вліво по осі X, `{-10}` це 10 міліметрів вперед по осі Y.

Після налаштування вище перелічених команд, нажимаємо на галочку зліва зверху в програмі, так як показано на рисунку 2.16, та чекаємо компіляції ПЗ.

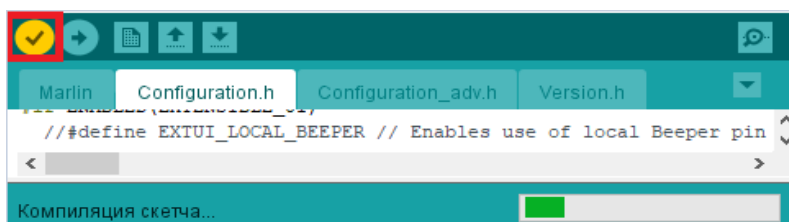


Рисунок 2.16 – Компіляція програмного забезпечення

					123.КІ-41.16	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Дальше при успішній компіляції, в папці прошивки Marlin-2.0.x/.pio/build/STM32F103RC_bitree_512k_USB шукаємо файл firmware.bin зображено на рисунку 2.17.

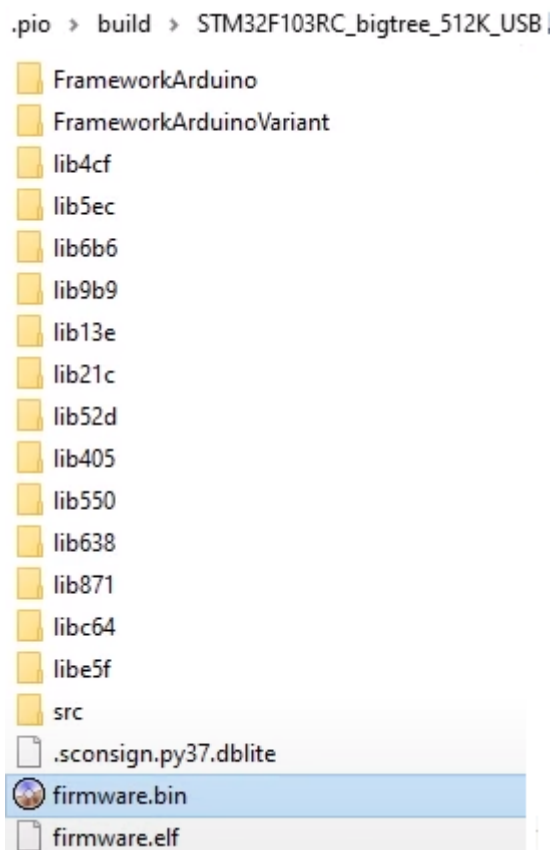


Рисунок 2.17 – BIN File програмного забезпечення

Файл firmware.bin ПЗ потрібно записати на SD карту, після чого вставляєм карту в 3D принтер та запускаємо його, модуль програмного забезпечення автоматично встановиться.

Дальше в застосунку до 3D принтера «Cura» потрібно написати код після першої строки команди G28:

G29

M104 S{material_print_temperature_layer_0}

M109 S{material_print_temperature_layer_0}

Як правильно написати зображено на рисунку 2.18, це зроблено для того щоб калібрування виконувалось після нагріву платформи але до нагріву сопла.

Стартовый G-код

```
G28 ; Home all axes
G29
M104 S{material_print_temperature_layer_0}
M109 S{material_print_temperature_layer_0}
G90
G92 E0 ; Reset Extruder
G1 Z15 F3000 ; Move Z Axis up little to prevent scratching of Heat Bed
G1 X0.1 Y50 Z15 F5000.0 ; Move to start position
G1 X0.1 Y50 Z0.3
G1 X0.1 Y50 Z0.3
G1 X0.1 Y200.0 Z0.3 F1500.0 E12 ; Draw the first line
G1 X0.4 Y200.0 Z0.3 F5000.0 ; Move to side a little
G1 X0.4 Y50 Z0.3 F1500.0 E30 ; Draw the second line
G92 E0 ; Reset Extruder
G1 Z10.0 F5000 ; Move Z Axis up little to prevent scratching of Heat Bed
```

Рисунок 2.18 – Стартовый code G

2.5. Підключення пристроя до системи 3D принтера та його перевірка

Саморобний датчик буде підключений до плати під назвою «BIGTREETECH SKR E3-DIP». Всього є 6 проводів. Перед підключенням до плати тривимірного принтера потрібно об'єднати два 5V провода, щоб дати живлення серводвигуну і оптичному датчику від одного піна.

На рисунку 2.19 зображено які 5V провода потрібно об'єднати в один.

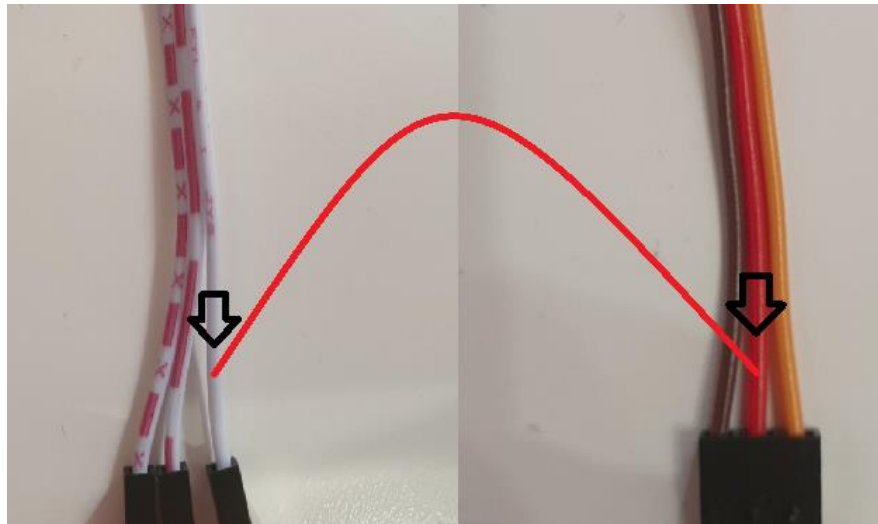


Рисунок 2.19 – Об'єднання двох 5V проводів

Після об'єднання проводів можна робити підключення до плати. Провода серводвигуна підключаємо в порт SERVOS. Два провода які залишились від

					123.KI-41.16	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптичного датчика, підключаємо замість кінцевика осі Z (порт Z-STOP). Підключення до плати зображено на рисунку 2.20.

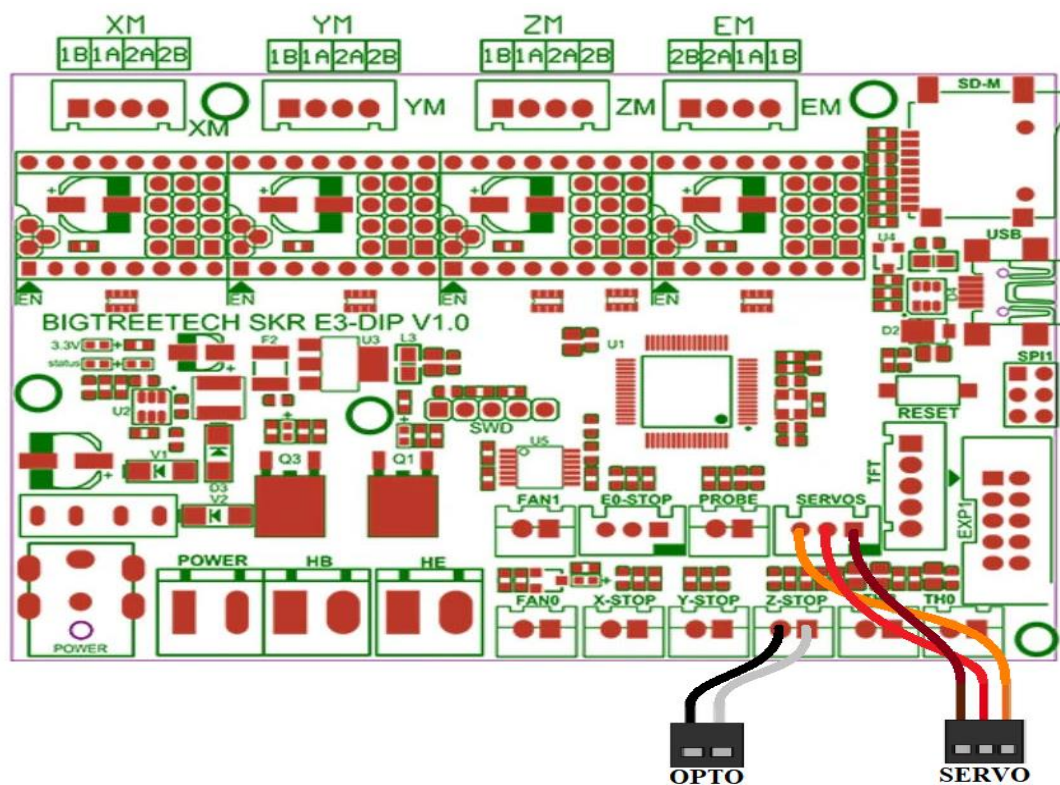


Рисунок 2.20 – Підключення давача до плати

Потім, коли все підключили, кріпимо саморобний давач біля екструдера принтера за допомогою двох гвинтів М3*10. Запускаємо принтер, та перевіряємо роботу давача. Піднімаємо вісь Z вище, та робимо Auto home, вісь X та Y стануть на місця, а екструдер від'їде в центр, щуп опуститься та вісь Z поїде вниз. Потрібно під час цього процесу підставити палець під щуп, щоб впевнитись в тому що оптичний датчик правильно реагує на підйом щупа. Вісь Z має припіднятися і взяти пробу ще раз, якщо все пройшло іменно так, значить давач працює правильно.

Провівши пару тестів з давачом автокалібрування платформи які зображено на рисунку 2.21, було виміряно наступні значення:

- Розкид показань від 0,006 до 0,011 мм.
- Середнє квадратичне відхилення від 0,002125 до 0,004072 мм.

					123.КІ-41.16	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

Recv: Mean: -6.224688 Min: -6.229 Max: -6.219 Range: 0.011
Recv: Standard Deviation: 0.004072
Recv: Mean: -6.224375 Min: -6.230 Max: -6.219 Range: 0.011
Recv: Standard Deviation: 0.003729
Recv: Mean: -6.226750 Min: -6.229 Max: -6.223 Range: 0.006
Recv: Standard Deviation: 0.002125

```

Рисунок 2.21 – Результати тестів

Висновки до розділу

В даному розділі було послідовно описано створення системи автоматичного калібрування платформи для 3D принтера. Було створено саморобний давач, за допомогою серводвигуна та оптичного кінцевика, створено корпус до нього, встановлено та налаштовано програмне забезпечення під систему.

Система автоматичного калібрування платформи повністю справляється зі своїм призначенням. На даний момент давач можна використовуватись на всіх системах в 3D принтерах. Він з легкістю встановлюється в систему і буде якісно виконувати свою роботу, допомагаючи користувачам друкувати якісні моделі без початкових дефектів та не втрачати час на механічну калібровку платформи тривимірного принтера. Також, провівши тести на саморобному давачі та порівнявши їх з оригінальними Корейськими давачами які працюють іншим принципом, можна сказати сміло, що саморобний аналог давача є більш точним ніж оригінальний.

3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Після того, як система автоматичного калібрування для тривимірного принтера готова, потрібно оцінити економічну доцільність виготовлення саморобного давача. Взявши дані з інтернет-магазину, в якому було куплені усі пристрої, найдешевший новий серводвигун коштує 32 грн, а оптичний кінцевик 43 грн.

Було продемонстровано систему автоматичного калібрування, основною метою якого є виготовлення найдешевшого саморобного давача, який матиме усі функції для калібрування платформи 3D принтера. Загальна вартість буде показана в таблиці 3.1. Всі компоненти до пристроя замовлялися в китайському інтернет-магазині. Ціна аналогової продукції в Україні більш ніж в 3 рази вища. Також, якщо купувати комплектуючі оптом, ви можете значно заощадити гроші.

Загальна вартість саморобного давача становить приблизно 190 грн або 6,78 дол. США. До цієї суми також додано виготовлення корпусу на комплектуючі за допомогою тривимірного принтера яка становить 15 грн. Також, вартість моделювання склала приблизно 100 грн, якщо робити замовлення на моделювання. Окрім фінансових витрат, слід також враховувати витрати на складання та підключення до системи 3D принтера, редагування конфігурації прошивки. Це зайняло близько 7 годин, половина з яких використовувалася для обладнання, а інша половина – для програмного забезпечення.

Виходячи з вартості давача, вартість системи набагато нижча, ніж вартість подібних продуктів на ринку. Для прикладу, оригінальний корейський давач автокалібрування коштує мінімум від 650 грн. Запропонований саморобний давач можна вважати економічно вигідним. Навіть зараз ви можете отримати основну функцію давача, який вам потрібен для автоматичного калібрування платформи, за невеликі гроші.

									Арк.
									53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 3.1 – Всі фінансові витрати на розробку саморобного давача.

	Ціна \$
SG90 digital	1,14
Опто на базі TCST2103	1,53
Корпус	0,53
Моделювання	3,58
Сума	6,78

Висновки до розділу

У цьому розділі проводилась економічна перевірка розробленої системи автоматичного калібрування платформи для 3D принтера. Оцінено часові та фінансові витрати. Система є вигідною в виробництві і можливо навіть доступна випуску на комерційній основі.

ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті розроблена система автокалібрування платформи для 3D принтерів з технологією FDM.

Проведено загальний огляд. Зроблено опис роботи системи автокалібрування платформи. Було описано принципи роботи технології.

В роботі описано історію створення 3D принтерів та їх розвиток. Зроблений детальний огляд різних сучасних 3D технологій друку на тривимірних принтерах. Описані принципи роботи технологій. Для кожної технології було описано переваги та недоліки, а також витратні матеріали до кожної з них. Показано в яких сферах найбільш використовують 3D принтери і як їх застосовують. Розказано яке програмне забезпечення використовують для роботи з тривимірними принтерами, а яке для створення нових 3D об'єктів та підготовки їх для друку на принтері.

Проаналізовано доступні компоненти, які підійшли для створення саморобного давача. Для реалізації давача, обрано вдалі компоненти за функціональними та ціновими критеріями.

Розроблено 3D модель для корпусу давача в програмі FreeCad. Після чого була виготовлена за технологією тривимірного FDM друку. Надрукована на 3D принтері.

Проведено встановлення та налаштування модуля програмного забезпечення на 3D принтер, для системи автокалібрування. Налаштування проводилося за допомогою програми Arduino IDE.

Обґрунтовано економічну доцільність виготовлення даного давача. Порівняно із ринковими аналогами. Рекомендовано виготовляти систему на комерційній основі.

					123.KI-41.16	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. LOM print [Електронний ресурс]:

Режим доступу: <https://3ddevice.com.ua/3d-pechat-iz-bumagi-lom/>

14. FDM print [Електронний ресурс]:

Режим доступу: <https://3dplast.biz/a398990-metod-fdm-tehnologiya.html>

15. Застосування 3D принтерів [Електронний ресурс]:

Режим доступу: <https://pro3d.com.ua/a359320-zastosuvannya-druku-scho>

16. Сфери друку [Електронний ресурс]:

Режим доступу:

<https://3d4u.com.ua/uk/blog/post/34-sfery-primeneniya-3d-printerov>

17. Сфери застосування [Електронний ресурс]:

Режим доступу:

<https://3ddevice.com.ua/faq-voprosy-i-otvety-o-3d-printerakh/sfera-primeneniia-3d-printerov>

18. ПЗ для моделювання [Електронний ресурс]:

Режим доступу:

<https://top3dshop.ru/blog/3d-printer-programs-modelling-slicing-fixing-printing.html>

19. ПЗ для принтерів [Електронний ресурс]:

Режим доступу: <https://3dpt.ru/page/soft>

20. Програми для 3D друку [Електронний ресурс]:

Режим доступу: https://3dprinter.ua/3d_printer_soft

					123.KI-41.16	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГ МОДУЛЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА 3D ПРИНТЕР

```
// Choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif

// Name displayed in the LCD "Ready" message and Info menu
#define CUSTOM_MACHINE_NAME "3D Printer"

// Printer's unique ID, used by some programs to differentiate between machines.
// Choose your own or use a service like https://www.uuidgenerator.net/version4
#define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"

// @section extruder

// This defines the number of extruders
// :[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
#define EXTRUDERS 1

// Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Used for Volumetric, Filament Width Sensor, etc.
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75

// For Cyclops or any "multi-extruder" that shares a single nozzle.
#define SINGLENOZZLE

// Save and restore temperature and fan speed on tool-change.
// Set standby for the unselected tool with M104/106/109 T...
#if ENABLED(SINGLENOZZLE)
  #define SINGLENOZZLE_STANDBY_TEMP
  #define SINGLENOZZLE_STANDBY_FAN
#endif

/**
 * Průša MK2 Single Nozzle Multi-Material Multiplexer, and variants.
 *
 * This device allows one stepper driver on a control board to drive
 * two to eight stepper motors, one at a time, in a manner suitable
 * for extruders.
 *
 * This option only allows the multiplexer to switch on tool-change.
 * Additional options to configure custom E moves are pending.
 */
#define MK2_MULTIPLEXER
#if ENABLED(MK2_MULTIPLEXER)
  // Override the default DIO selector pins here, if needed.
  // Some pins files may provide defaults for these pins.
  #define E_MUX0_PIN 40 // Always Required
  #define E_MUX1_PIN 42 // Needed for 3 to 8 inputs
  #define E_MUX2_PIN 44 // Needed for 5 to 8 inputs

```

									Арк.
									58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				123.KI-41.16	


```

#define PARKING_EXTRUDER_SOLENOIDS_DELAY 250 // (ms) Delay for magnetic field. No delay if 0 or
not defined.
// #define MANUAL_SOLENOID_CONTROL // Manual control of docking solenoids with M380 S /
M381

#ifdef ENABLED(MAGNETIC_PARKING_EXTRUDER)

#define MPE_FAST_SPEED 9000 // (mm/min) Speed for travel before last distance point
#define MPE_SLOW_SPEED 4500 // (mm/min) Speed for last distance travel to park and couple
#define MPE_TRAVEL_DISTANCE 10 // (mm) Last distance point
#define MPE_COMPENSATION 0 // Offset Compensation -1 , 0 , 1 (multiplier) only for coupling

#endif

#endif

/**
 * Switching Toolhead
 *
 * Support for swappable and dockable toolheads, such as
 * the E3D Tool Changer. Toolheads are locked with a servo.
 */
// #define SWITCHING_TOOLHEAD

/**
 * Magnetic Switching Toolhead
 *
 * Support swappable and dockable toolheads with a magnetic
 * docking mechanism using movement and no servo.
 */
// #define MAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD

/**
 * Electromagnetic Switching Toolhead
 *
 * Parking for CoreXY / HBot kinematics.
 * Toolheads are parked at one edge and held with an electromagnet.
 * Supports more than 2 Toolheads. See https://youtu.be/JolbsAKTKf4
 */
// #define ELECTROMAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD

#if ANY(SWITCHING_TOOLHEAD, MAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD,
ELECTROMAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD)
#define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_POS 235 // (mm) Y position of the toolhead dock
#define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_SECURITY 10 // (mm) Security distance Y axis
#define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_CLEAR 60 // (mm) Minimum distance from dock for unobstructed
X axis
#define SWITCHING_TOOLHEAD_X_POS { 215, 0 } // (mm) X positions for parking the extruders
#ifdef ENABLED(SWITCHING_TOOLHEAD)
#define SWITCHING_TOOLHEAD_SERVO_NR 2 // Index of the servo connector
#define SWITCHING_TOOLHEAD_SERVO_ANGLES { 0, 180 } // (degrees) Angles for Lock, Unlock
#endif
#ifdef ENABLED(MAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD)
#define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_RELEASE 5 // (mm) Security distance Y axis
#define SWITCHING_TOOLHEAD_X_SECURITY { 90, 150 } // (mm) Security distance X axis (T0,T1)
// #define PRIME_BEFORE_REMOVE // Prime the nozzle before release from the dock
#endif
#ifdef ENABLED(PRIME_BEFORE_REMOVE)
#define SWITCHING_TOOLHEAD_PRIME_MM 20 // (mm) Extruder prime length
#define SWITCHING_TOOLHEAD_RETRACT_MM 10 // (mm) Retract after priming length
#define SWITCHING_TOOLHEAD_PRIME_FEEDRATE 300 // (mm/min) Extruder prime feedrate
#define SWITCHING_TOOLHEAD_RETRACT_FEEDRATE 2400 // (mm/min) Extruder retract feedrate
#endif
#endif
#ifdef ENABLED(ELECTROMAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD)

```

										123.KI-41.16	Арк.
											60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							


```

#define HEATER_5_MAXTEMP 275
#define HEATER_6_MAXTEMP 275
#define HEATER_7_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 150

//=====
//===== PID Settings =====
//=====
// PID Tuning Guide here: https://reprap.org/wiki/PID\_Tuning

// Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.
#define PIDTEMP
#define BANG_MAX 255 // Limits current to nozzle while in bang-bang mode; 255=full current
#define PID_MAX BANG_MAX // Limits current to nozzle while PID is active (see PID_FUNCTIONAL_RANGE
below); 255=full current
#define PID_K1 0.95 // Smoothing factor within any PID loop

#if ENABLED(PIDTEMP)
  //#define PID_EDIT_MENU // Add PID editing to the "Advanced Settings" menu. (~700 bytes of PROGMEM)
  //#define PID_AUTOTUNE_MENU // Add PID auto-tuning to the "Advanced Settings" menu. (~250 bytes of
  PROGMEM)
  //#define PID_PARAMS_PER_HOTEND // Uses separate PID parameters for each extruder (useful for mismatched
  extruders)
      // Set/get with gcode: M301 E[extruder number, 0-2]

  #if ENABLED(PID_PARAMS_PER_HOTEND)
    // Specify between 1 and HOTENDS values per array.
    // If fewer than EXTRUDER values are provided, the last element will be repeated.
    #define DEFAULT_Kp_LIST { 22.20, 22.20 }
    #define DEFAULT_Ki_LIST { 1.08, 1.08 }
    #define DEFAULT_Kd_LIST { 114.00, 114.00 }
  #else
    #define DEFAULT_Kp 22.20
    #define DEFAULT_Ki 1.08
    #define DEFAULT_Kd 114.00
  #endif
#endif // PIDTEMP

//=====
//===== PID > Bed Temperature Control =====
//=====

/**
 * PID Bed Heating
 *
 * * If this option is enabled set PID constants below.
 * * If this option is disabled, bang-bang will be used and BED_LIMIT_SWITCHING will enable hysteresis.
 *
 * * The PID frequency will be the same as the extruder PWM.
 * * If PID_dT is the default, and correct for the hardware/configuration, that means 7.689Hz,
 * * which is fine for driving a square wave into a resistive load and does not significantly
 * * impact FET heating. This also works fine on a Fotek SSR-10DA Solid State Relay into a 250W
 * * heater. If your configuration is significantly different than this and you don't understand
 * * the issues involved, don't use bed PID until someone else verifies that your hardware works.
 */
#define PIDTEMPBED

// #define BED_LIMIT_SWITCHING

/**
 * Max Bed Power
 * Applies to all forms of bed control (PID, bang-bang, and bang-bang with hysteresis).

```

										Арк.
										64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.KI-41.16					


```

* When set to any value below 255, enables a form of PWM to the bed that acts like a divider
* so don't use it unless you are OK with PWM on your bed. (See the comment on enabling PIDTEMPBED)
*/
#define MAX_BED_POWER 255 // limits duty cycle to bed; 255=full current

#if ENABLED(PIDTEMPBED)
  //#define MIN_BED_POWER 0
  //#define PID_BED_DEBUG // Sends debug data to the serial port.

  // 120V 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)
  // from FOPDT model - kp=.39 Tp=405 Tdead=66, Tc set to 79.2, aggressive factor of .15 (vs .1, 1, 10)
  #define DEFAULT_bedKp 10.00
  #define DEFAULT_bedKi .023
  #define DEFAULT_bedKd 305.4

  // FIND YOUR OWN: "M303 E-1 C8 S90" to run autotune on the bed at 90 degreesC for 8 cycles.
#endif // PIDTEMPBED

#if EITHER(PIDTEMP, PIDTEMPBED)
  //#define PID_DEBUG // Sends debug data to the serial port. Use 'M303 D' to toggle activation.
  //#define PID_OPENLOOP // Puts PID in open loop. M104/M140 sets the output power from 0 to PID_MAX
  //#define SLOW_PWM_HEATERS // PWM with very low frequency (roughly 0.125Hz=8s) and minimum state
  // time of approximately 1s useful for heaters driven by a relay
  #define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10 // If the temperature difference between the target temperature and the
  // actual temperature
  // is more than PID_FUNCTIONAL_RANGE then the PID will be shut off and the heater will be
  // set to min/max.
#endif

// @section extruder

/**
 * Prevent extrusion if the temperature is below EXTRUDE_MINTEMP.
 * Add M302 to set the minimum extrusion temperature and/or turn
 * cold extrusion prevention on and off.
 *
 * *** IT IS HIGHLY RECOMMENDED TO LEAVE THIS OPTION ENABLED! ***
 */
#define PREVENT_COLD_EXTRUSION
#define EXTRUDE_MINTEMP 170

/**
 * Prevent a single extrusion longer than EXTRUDE_MAXLENGTH.
 * Note: For Bowden Extruders make this large enough to allow load/unload.
 */
#define PREVENT_LENGTHY_EXTRUDE
#define EXTRUDE_MAXLENGTH 200

//=====
//===== Thermal Runaway Protection =====
//=====

/**
 * Thermal Protection provides additional protection to your printer from damage
 * and fire. Marlin always includes safe min and max temperature ranges which
 * protect against a broken or disconnected thermistor wire.
 *
 * The issue: If a thermistor falls out, it will report the much lower
 * temperature of the air in the room, and the the firmware will keep
 * the heater on.
 *
 * If you get "Thermal Runaway" or "Heating failed" errors the

```

										Арк.
										65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.KI-41.16					

* details can be tuned in Configuration_adv.h

*/

```
#define THERMAL_PROTECTION_HOTENDS // Enable thermal protection for all extruders
#define THERMAL_PROTECTION_BED // Enable thermal protection for the heated bed
#define THERMAL_PROTECTION_CHAMBER // Enable thermal protection for the heated chamber
```

```
//=====
//===== Mechanical Settings =====
//=====
```

// @section machine

// Enable one of the options below for CoreXY, CoreXZ, or CoreYZ kinematics,
// either in the usual order or reversed

```
//#define COREXY
```

```
//#define COREXZ
```

```
//#define COREYZ
```

```
//#define COREYX
```

```
//#define COREZX
```

```
//#define COREZY
```

```
//#define MARKFORGED_XY // MarkForged. See https://reprap.org/forum/read.php?152,504042
```

```
//=====
//===== Endstop Settings =====
//=====
```

// @section homing

// Specify here all the endstop connectors that are connected to any endstop or probe.
// Almost all printers will be using one per axis. Probes will use one or more of the
// extra connectors. Leave undefined any used for non-endstop and non-probe purposes.

```
#define USE_XMIN_PLUG
```

```
#define USE_YMIN_PLUG
```

```
#define USE_ZMIN_PLUG
```

```
//#define USE_XMAX_PLUG
```

```
//#define USE_YMAX_PLUG
```

```
//#define USE_ZMAX_PLUG
```

// Enable pullup for all endstops to prevent a floating state

```
#define ENDSTOPPULLUPS
```

```
#if DISABLED(ENDSTOPPULLUPS)
```

// Disable ENDSTOPPULLUPS to set pullups individually

```
//#define ENDSTOPPULLUP_XMAX
```

```
//#define ENDSTOPPULLUP_YMAX
```

```
//#define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
```

```
//#define ENDSTOPPULLUP_XMIN
```

```
//#define ENDSTOPPULLUP_YMIN
```

```
//#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
```

```
//#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN_PROBE
```

```
#endif
```

// Enable pulldown for all endstops to prevent a floating state

```
//#define ENDSTOPPULLDOWNS
```

```
#if DISABLED(ENDSTOPPULLDOWNS)
```

// Disable ENDSTOPPULLDOWNS to set pulldowns individually

```
//#define ENDSTOPPULLDOWN_XMAX
```

```
//#define ENDSTOPPULLDOWN_YMAX
```

```
//#define ENDSTOPPULLDOWN_ZMAX
```

```
//#define ENDSTOPPULLDOWN_XMIN
```

```
//#define ENDSTOPPULLDOWN_YMIN
```

```
//#define ENDSTOPPULLDOWN_ZMIN
```

										Арк.
										66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

```

    //#define ENDSTOPPULLDOWN_ZMIN_PROBE
#endif

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the probe.

/**
 * Stepper Drivers
 *
 * These settings allow Marlin to tune stepper driver timing and enable advanced options for
 * stepper drivers that support them. You may also override timing options in Configuration_adv.h.
 *
 * A4988 is assumed for unspecified drivers.
 *
 * Options: A4988, A5984, DRV8825, LV8729, L6470, L6474, POWERSTEP01,
 *          TB6660, TMC2100,
 *          TMC2130, TMC2130_STANDALONE, TMC2160, TMC2160_STANDALONE,
 *          TMC2208, TMC2208_STANDALONE, TMC2209, TMC2209_STANDALONE,
 *          TMC26X, TMC26X_STANDALONE, TMC2660, TMC2660_STANDALONE,
 *          TMC5130, TMC5130_STANDALONE, TMC5160, TMC5160_STANDALONE
 * :['A4988', 'A5984', 'DRV8825', 'LV8729', 'L6470', 'L6474', 'POWERSTEP01', 'TB6660', 'TMC2100',
 * 'TMC2130', 'TMC2130_STANDALONE', 'TMC2160', 'TMC2160_STANDALONE', 'TMC2208',
 * 'TMC2208_STANDALONE', 'TMC2209', 'TMC2209_STANDALONE', 'TMC26X', 'TMC26X_STANDALONE',
 * 'TMC2660', 'TMC2660_STANDALONE', 'TMC5130', 'TMC5130_STANDALONE', 'TMC5160',
 * 'TMC5160_STANDALONE']
 */
//#define X_DRIVER_TYPE A4988
//#define Y_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z_DRIVER_TYPE A4988
//#define X2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Y2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z3_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z4_DRIVER_TYPE A4988
//#define E0_DRIVER_TYPE A4988
//#define E1_DRIVER_TYPE A4988
//#define E2_DRIVER_TYPE A4988
//#define E3_DRIVER_TYPE A4988
//#define E4_DRIVER_TYPE A4988
//#define E5_DRIVER_TYPE A4988
//#define E6_DRIVER_TYPE A4988
//#define E7_DRIVER_TYPE A4988

// Enable this feature if all enabled endstop pins are interrupt-capable.
// This will remove the need to poll the interrupt pins, saving many CPU cycles.
//#define ENDSTOP_INTERRUPTS_FEATURE

/**
 * Endstop Noise Threshold
 *
 * Enable if your probe or endstops falsely trigger due to noise.
 *
 * - Higher values may affect repeatability or accuracy of some bed probes.
 * - To fix noise install a 100nF ceramic capacitor in parallel with the switch.
 * - This feature is not required for common micro-switches mounted on PCBs
 *   based on the Makerbot design, which already have the 100nF capacitor.

```

										Арк.
										67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

```

*
* :[2,3,4,5,6,7]
*/
//#define ENDSTOP_NOISE_THRESHOLD 2

// Check for stuck or disconnected endstops during homing moves.
//#define DETECT_BROKEN_ENDSTOP

//=====
//===== Movement Settings =====
//=====

// @section motion

/**
 * Default Settings
 *
 * These settings can be reset by M502
 *
 * Note that if EEPROM is enabled, saved values will override these.
 */

/**
 * With this option each E stepper can have its own factors for the
 * following movement settings. If fewer factors are given than the
 * total number of extruders, the last value applies to the rest.
 */
//#define DISTINCT_E_FACTORS

/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2...]]
 */
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 4000, 500 }

/**
 * Default Max Feed Rate (mm/s)
 * Override with M203
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2...]]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 300, 300, 5, 25 }

//#define LIMITED_MAX_FR_EDITING // Limit edit via M203 or LCD to DEFAULT_MAX_FEEDRATE * 2
#if ENABLED(LIMITED_MAX_FR_EDITING)
  #define MAX_FEEDRATE_EDIT_VALUES { 600, 600, 10, 50 } // ...or, set your own edit limits
#endif

/**
 * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2...]]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 3000, 3000, 100, 10000 }

//#define LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING // Limit edit via M201 or LCD to
DEFAULT_MAX_ACCELERATION * 2
#if ENABLED(LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING)
  #define MAX_ACCEL_EDIT_VALUES { 6000, 6000, 200, 20000 } // ...or, set your own edit limits
#endif

/**

```

										Арк.
										68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	123.KI-41.16					

```

* Default Acceleration (change/s) change = mm/s
* Override with M204
*
* M204 P Acceleration
* M204 R Retract Acceleration
* M204 T Travel Acceleration
*/
#define DEFAULT_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z and E acceleration for printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000 // E acceleration for retracts
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z acceleration for travel (non printing) moves

/**
* Default Jerk limits (mm/s)
* Override with M205 X Y Z E
*
* "Jerk" specifies the minimum speed change that requires acceleration.
* When changing speed and direction, if the difference is less than the
* value set here, it may happen instantaneously.
*/
// #define CLASSIC_JERK
#if ENABLED(CLASSIC_JERK)
#define DEFAULT_XJERK 10.0
#define DEFAULT_YJERK 10.0
#define DEFAULT_ZJERK 0.3

// #define TRAVEL_EXTRA_XYJERK 0.0 // Additional jerk allowance for all travel moves

// #define LIMITED_JERK_EDITING // Limit edit via M205 or LCD to DEFAULT_aJERK * 2
#if ENABLED(LIMITED_JERK_EDITING)
#define MAX_JERK_EDIT_VALUES { 20, 20, 0.6, 10 } // ...or, set your own edit limits
#endif
#endif

#define DEFAULT_EJERK 5.0 // May be used by Linear Advance

/**
* Junction Deviation Factor
*
* See:
* https://reprap.org/forum/read.php?1,739819
* https://blog.kyneticcnc.com/2018/10/computing-junction-deviation-for-marlin.html
*/
#if DISABLED(CLASSIC_JERK)
#define JUNCTION_DEVIATION_MM 0.013 // (mm) Distance from real junction edge
#define JD_HANDLE_SMALL_SEGMENTS // Use curvature estimation instead of just the junction angle
// for small segments (< 1mm) with large junction angles (> 135°).
#endif

/**
* S-Curve Acceleration
*
* This option eliminates vibration during printing by fitting a Bézier
* curve to move acceleration, producing much smoother direction changes.
*
* See https://github.com/synthetos/TinyG/wiki/Jerk-Controlled-Motion-Explained
*/
// #define S_CURVE_ACCELERATION

//=====
//===== Z Probe Options =====
//=====
// @section probes

```

										Арк.
										69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						


```

/**
 * Choose one of the options below to enable G29 Bed Leveling. The parameters
 * and behavior of G29 will change depending on your selection.
 *
 * If using a Probe for Z Homing, enable Z_SAFE_HOMING also!
 *
 * - AUTO_BED_LEVELING_3POINT
 * Probe 3 arbitrary points on the bed (that aren't collinear)
 * You specify the XY coordinates of all 3 points.
 * The result is a single tilted plane. Best for a flat bed.
 *
 * - AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
 * Probe several points in a grid.
 * You specify the rectangle and the density of sample points.
 * The result is a single tilted plane. Best for a flat bed.
 *
 * - AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
 * Probe several points in a grid.
 * You specify the rectangle and the density of sample points.
 * The result is a mesh, best for large or uneven beds.
 *
 * - AUTO_BED_LEVELING_UBL (Unified Bed Leveling)
 * A comprehensive bed leveling system combining the features and benefits
 * of other systems. UBL also includes integrated Mesh Generation, Mesh
 * Validation and Mesh Editing systems.
 *
 * - MESH_BED_LEVELING
 * Probe a grid manually
 * The result is a mesh, suitable for large or uneven beds. (See BILINEAR.)
 * For machines without a probe, Mesh Bed Leveling provides a method to perform
 * leveling in steps so you can manually adjust the Z height at each grid-point.
 * With an LCD controller the process is guided step-by-step.
 */
#define AUTO_BED_LEVELING_3POINT
#define AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
#define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
#define AUTO_BED_LEVELING_UBL
#define MESH_BED_LEVELING

/**
 * Normally G28 leaves leveling disabled on completion. Enable
 * this option to have G28 restore the prior leveling state.
 */
#define RESTORE_LEVELING_AFTER_G28

/**
 * Enable detailed logging of G28, G29, M48, etc.
 * Turn on with the command 'M111 S32'.
 * NOTE: Requires a lot of PROGMEM!
 */
#define DEBUG_LEVELING_FEATURE

#if ANY(MESH_BED_LEVELING, AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR, AUTO_BED_LEVELING_UBL)
 // Gradually reduce leveling correction until a set height is reached,
 // at which point movement will be level to the machine's XY plane.
 // The height can be set with M420 Z<height>
#define ENABLE_LEVELING_FADE_HEIGHT

 // For Cartesian machines, instead of dividing moves on mesh boundaries,
 // split up moves into short segments like a Delta. This follows the
 // contours of the bed more closely than edge-to-edge straight moves.

```

										123.KI-41.16	Арк.
											76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

