

## **Магістерська дисертація**

на тему: Машина для виготовлення пластикової нитки методом екструзії.

2020 рік

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра приладобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

\_\_\_\_\_ **Соколов Георгій Максимович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Машина для виготовлення пластикової нитки методом екструзії.

науковий керівник дисертації Нечай Сергій Олексійович, к.т.н. доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 05 » листопада 2020р. № 3228

2. Строк подання студентом дисертації 12. грудня. 2020

3. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Огляд аналогів за темою магістерської дисертації; 2) Огляд різновидів пластику, який використовується у 3д-печаті; 3) Розрахунок часу охолодження ниті після виходу з сопла; 4) Створення програмного забезпечення для пристрою; 5) Дослідження аеродинамічної симуляції трьох варіантів камери системи обдування ниті; 6) Дослідження датчика товщини; 7) Розробка стартап проекту; 8) Висновки.

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1) Презентаційний лист; 2) Огляд аналогів; 3) Графіки охолодження ниті; 4) Аеросимуляція; 5) Визначення вихідних даних з датчика Холла; 6) Складальний кресленик екструдера; 7) Кресленики.

5. Орієнтовний перелік публікацій «XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,аспірантів та молодих вчених» на тему: «портативні екструдери прутка»

6. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту	Бояринова Катерина Олександрівна		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1)	Розробка схем системи та її елементів	1 листопада 2020	
2)	Розробка графічної частини проекту	10 листопада 2020	
3)	Проведення розрахунків системи	25 листопада 2020	
4)	Розробка стартап проекту	5 грудня 2020	
5)	Оформлення пояснювальної записки	5 грудня 2020	
6)	Представлення дипломного проекту на перевірку керівникові проекту	10 грудня 2020	
7)	Передача матеріалів проекту на перевірку виявлення збігів/схожості текстів Unicheck	11 грудня 2020	
8)	Представлення проекту на рецензію	11 грудня 2020	
9)	Передача електронної версії проекту до бібліотеки	12 грудня 2020	
10)	Представлення проекту до екзаменаційної комісії	15 грудня 2020	

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Соколов Георгій

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_

(підпис)

Нечай Сергій

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра приладобудування**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК  
(підпис)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**  
**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані**  
**технології проектування приладів»**  
**зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно - інтегро-**  
**вані технології**

на тему Машина для виготовлення пластикової нитки методом екструзії.

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПМ-91мп  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ Соколов Георгій Максимович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н. доцент, Нечай Сергій Олексійович \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я ,ПРИЗВЕЩЕ) (підпис)

Консультант Розробка СТАРТАП-проекту \_\_\_\_\_  
доцент доктор економічних наук Бояринова К.О. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент доцент, кандидат технічних наук Аврутов В.В \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я ,ПРИЗВЕЩЕ) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

**ВІДГУК**  
**наукового керівника магістерської дисертації**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**

виконаного (-ої) на тему: Машина для виготовлення пластикової нитки методом екструзії

студентом \_\_\_\_\_ Соколовим Георгієм Максимовичем \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

Обрана тема магістерської дисертації студента Соколова Г.М. дуже актуальна у сучасному світі. Він гарно розібрався у поставленій задачі, розробив короткий критичний огляд аналогів за даною темою, а також розібрався із матеріалами, які використовуються для виготовлення ниті із зазначенням найбільш важливих і значущих питань. Під час роботи виявилася самостійність студента, його рівень теоретичної та практичної підготовки, знання літератури. Проявлена підготовленість студента до прийняття сучасних рішень, умінь аналізувати необхідні джерела літератури, приймати правильні інженерні та наукові рішення з послідуочим застосовуванням сучасних системних та інформаційних технологій. Навчився проводити фізичне та математичне моделювання, обробляти та аналізувати результати експерименту.

Під час написання магістерської дисертації студент взяв участь у «XVI Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених». Тема конференції: «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні». На конференції студент виступав із доповіддю на тему: «Портативні екструдери прутка».

Випускна кваліфікаційна робота Соколова Г.М. виконана у відповідності до вимог, рекомендована до захисту та заслуговує оцінки «відміно», а студент присудження ступеня магістра і присвоєння кваліфікації магістр з автоматизація та комп'ютерно-інтегрованих технологій за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів »з спеціальності 151Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**науковий керівник**  
**магістерської дисертації**

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (Власне ім'я ,ПРИЗВЕЩЕ)

# РЕЦЕНЗІЯ

## на магістерську дисертацію

на здобуття освітнього ступеня магістр

виконаний (-у) на тему: Машина для виготовлення пластикової нитки методом екструзії

(повна назва теми ДП (ДР, МД))

Студентом Соколовим Георгієм Максимовичем

(прізвище, ім'я, по батькові)

Студент Соколов Георгій проявив гарні здібності у написанні магістерської. Актуальність теми набирає оберти особливо у розвинених країнах, де 3д-друк стає повсемісним. Робота повністю відповідає темі дисертації та завдання написані й описані у повному обсязі. Розділ з оглядом аналогів та матеріалів написано у повному обсязі із висновками, недоліками та перевагами. Дуже здивувала робота з симуляції потоку повітря у камері охолодження. Розрахунки представлені у дисертації були правильні, хоч і не складні. Приємно було побачити розділ із самостійно виготовленим стендом для створення графіку датчика товщини для подальшого аналізу. Розділ «стартап проекту» написано у повному обсягу, заповнені всі таблиці, з роботи зрозуміло, що була проведена велика робота з пошуку та аналізу теми. Виходячи з аналізу цього розділу, можна сказати що впровадження стартап проекту має перспективні шанси для виходу на ринок. Технології виготовлення екструдера на потребують високих технологій, що значно спрощує його виготовлення. Оригінальність студента проявилась у конструкції екструдера, яка, на мою думку, є компактна і несе певну оригінальність у даній сфері. Графічні матеріали показують чудову освіченість студента у створенні складних креслеників, хоча на деяких були присутні помилки. Презентаційний аркуш виглядає свіжим, стильним та сучасним.

Випускна кваліфікаційна робота Соколова Г.М. виконана у відповідності до вимогам, рекомендована до захисту та заслуговує оцінки «добре», а студент-випускник Соколов Г.М. – присвоєння кваліфікації «магістр».

### Рецензент

К.Т.Н., ДОЦ

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Аврутов В.В.

(Власне ім'я ,ПРІЗВЕЩЕ)

Печатка установи, організації рецензента (тільки для зовнішнього рецензента)

## ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	1	
2	A4	МД.ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A1	МД.ПМ91мп.01.000	Презентаційний аркуш	1	
4	A1	МД.ПМ91мп.02.000	Огляд аналогів	1	
5	A1	МД.ПМ91мп.03.000	Графіки охолодження ниті	1	
6	A1	МД.ПМ91мп.04.000	Аеросимуляція	1	
7	A1	МД.ПМ91мп.05.000	Визначення вихідних даних з датчика Холла	1	
8	A1	МД.ПМ91мп.06.000	Складальний кресленик екструдера	1	
9	A1	МД.ПМ91мп.08.000	Зд-модель екструдера	1	
10	A1	МД.ПМ91мп.(09..13)	Кресленики	1	
Загальна кількість графічних документів - 8 арк.ф. А1					

				МД.ВМД		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Соколов Г.			Відомість магістерської дисертації	Лист	Листів
Керівн.	Нечай С.О.				1	1
Конс.					КПІ імені Ігоря Сікорського каф. ПБ гр. ПМ – 91мп	
Н/контр.						
Зав.каф.	Киричук Ю.					

## РЕФЕРАТ

### Актуальність

Основним матеріалом у 3д-друці являється пластик. Цей пластик має різні температурні, хімічні, фрикційні та інші характеристики, які в залежності від поставлених задач мають мати ті чи інші характеристики. Підприємці, науковці, вчителі або приватні власники 3д-принтерів можуть лише купувати дорогий, місцями неякісний та стандартний за властивостями матеріал у інших продавців. Вони бажають мати такий пристрій за допомогою якого вони могли виготовити нитку з різними характеристиками з будь якого матеріалу по низьким цінам, який би мав малі габарити. Також у всіх хто використовує 3д-принтери залишається матеріал, який можливо використати повторно, або використати інший пластик, який йде на сміття. Це дозволить значно зекономити на матеріалі для принтера.

**Об'єктом дослідження** даної роботи пристрій для виготовлення ниті для 3д-друку методом екструзії.

**Предметом дослідження** являється розрахунок та створення вузлів необхідних для роботи пристрою, створення програмного забезпечення.

Магістерська дисертація складається із пояснювальної записки, яка містить вступ, 4 основних розділи, список використаних джерел, 53 малюнків, 23 таблиць. Загальний обсяг складає 110 сторінок. Та графічної частини, що містить 2 аркуші ф. А1 графіків, 1 аркуші ф. А1 схем, 1 аркуші ф. А1 складальних креслень та 3 аркуш ф. А1 креслень деталей та презентаційний лист. Загальний обсяг графічної частини складає 8 аркушів формату А1.

**Ключові слова:** екструдер, шнек, 3д-друк.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>	<b>Машина для виготовлення пластикової ниті методом екструзії Пояснювальна записка</b>	<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Розроб.		Соколов						
Перевір.								
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Нечай				<b>ПБФ, КПІ</b>		



## Summary

### Actual continuity

The main material in 3D printing is plastic. This plastic has various temperature, chemical, friction and other characteristics that, depending on the tasks set, should have certain characteristics. Entrepreneurs, scientists, teachers, or private owners of 3D printers can only buy expensive, sometimes low-quality, and standard materials from other sellers. They want to have a device with which they can make a thread with different characteristics from any material at low prices, which would have small dimensions. Also, everyone who uses 3D printers still has material that can be reused, or use other plastic that goes to the trash. This will significantly save on printer material.

**The object of research** of this work is a device for manufacturing a thread for 3D printing by extrusion.

**The subject of research** is the calculation and creation of nodes necessary for the operation of the device, the creation of software.

The master's thesis consists of an explanatory note containing an introduction, 4 main sections, A list of sources used, 53 figures, 23 tables. The total volume is 110 pages. And the graphic part containing 2 sheets F. A1 of graphs, 1 sheets f. A1 of diagrams, 1 sheets f. A1 of assembly drawings and 3 sheet F. A1 of part drawings and a presentation sheet. The total volume of the graphic part is 8 sheets of A1 format.

**Keywords:** extruder, screw, 3D printing.

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		9

## ЗМІСТ

<b>Перелік скорочень.....</b>	<b>12</b>
<b>Вступ .....</b>	<b>14</b>
<b>1 ОГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ПРИЛАДІВ ТА МАТЕРІАЛІВ.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1. Огляд аналогів .....</b>	<b>16</b>
1.1.1 Приклад 1 .....	16
1.1.2 Приклад 2 .....	18
1.1.3 Приклад 3.....	20
1.1.4 Приклад 4.....	22
1.1.5 Приклад 5.....	24
<b>1.2. Матеріали для виготовлення ниті.....</b>	<b>25</b>
1.2.1 PLA .....	25
1.2.2 ABS-пластик для 3D-друку.....	28
1.2.3 PET-пластик для друку.....	30
1.2.4 PVA-пластик для друку.....	32
1.2.5 Нейлон для 3D-друку.....	34
1.2.6 Полістирол для 3D-друку .....	37
1.2.7 Полікарбонат для 3D-друку .....	39
1.2.8 NinjaFlex для 3D-друку .....	42
1.2.9 Laywoo-D3 для 3D-друку .....	43
1.2.10 Laybrick для 3D-друку .....	43
<b>2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>45</b>
<b>2.1 Розрахунок часу охолодження ниті. ....</b>	<b>45</b>
<b>2.2 Програмне забезпечення екструдеру .....</b>	<b>48</b>
<b>2.3 Дослідження аеродинамічних властивостей камери обдуву.....</b>	<b>66</b>
2.3.1 Варіант перший. ....	68
2.3.2 Варіант другий. ....	70
2.3.3 Варіант третій.....	72
<b>3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>75</b>
<b>3.1 Дослідження датчика товщини .....</b>	<b>75</b>
<b>4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «Easyfilament» .....</b>	<b>81</b>

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		10

4.1	Опис ідеї проекту «Easyfilament» .....	81
4.2	Технологічний аудит ідеї проекту «Easyfilament» .....	86
4.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту «Easyfilament» .....	87
4.4	Розроблення ринкової стратегії проекту «Easyfilament» .....	95
4.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту «Easyfilament» .....	99
4.6	Висновки .....	103
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....		105
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....		106
ДОДАТКИ.....		109

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

## Перелік скорочень

ULTEM – це аморфний термопластичний матеріал, що характеризується високою міцністю і термостійкістю.

PEEK – це напівкристалічних полімер з високотемпературної стійкістю.

TPE – термопластичний каучук.

ABS –технічна термопластична смола на основі сополімера акрилонітрилу з бутадієном і стиролом.

PLA – біорозкладаний, біосумісний, термопластичний, аліфатичний полієфір, мономером якого є молочна кислота.

HIPS – високоміцний полістирол.

PET – поліетилентерефталат.

FDM – Моделювання методом пошарового наплавлення.

FFF – аналогічна технологія тривимірної FDM друку, при якій побудова об'єкта йде за рахунок розплавлення нитки пластика, яка через екструдер подається на робочу поверхню.

PVA – полівініловий спирт.

Nylon – сімейство синтетичних поліамідів, використовуваних переважно в виробництві волокон.

Q – кількість теплоти.

A – площа поверхні тіла, через яку передається тепло.

T – температура тіла.

$T_s$  – температура навколишнього середовища.

$\alpha$  – коефіцієнт теплопередачі, що залежить від геометрії тіла, стану поверхні, режиму теплопередачі та інших факторів.

C – теплоємність тіла.

$T_0$  – позначає початкову температуру тіла.

V – об'єм.

$\rho$  – щільність матеріалу.

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		12

$m$  – маса.

$\pi$  – стала.

$h$  – висота циліндру.

$r$  – радіус циліндру.

PTC – термістор з позитивним температурним коефіцієнтом.

NTC – термістор з негативним.

A3144 – це цифровий однополярний датчик.

SS49E – аналоговий датчик від компанії Honeywell, що працює на ефекті Холла.

ТО-92 – тип корпусу.

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач.

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

Сдат – чутливість.

SWOT – метод стратегічного планування, що полягає у виявленні факторів внутрішнього і зовнішнього середовища організації і поділі їх на чотири категорії.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		13

## Вступ

Точність та якість виготовлення деталей методом 3д-друку важливе питання, але є ще не менш важливий момент, це матеріал яким заправляють 3д-принтери.

З кожним роком пристрої за допомогою якого виготовляють деталі, моделі, іграшки та ін. стають кращими. В них з'являються нові, більш потужні, надійні та точні мотори. Більш міцні конструкції корпусу, які менше підтвержені трясці. Нові мікроконтролери, які поліпшують такі характеристики роботи як: швидкість, точність позиціонування, шумність. Також з'являються великі сенсорні екрани для виводу та вводу інформації. Але в пристроях, які виготовляють матеріали для 3д-принтерів ніяких змін не спостерігається вже десятки років. Вони залишаються дорогими, громіздкими та складними у використанні. У вільному продажі легко знайти 3д-принтер, але важко знайти екструдер для виготовлення ниті. Єдиною альтернативою для користувачів залишається купівля готової ниті. По більшій частині вона є дуже дорога, і якщо власник багато друкує, а тим паче залишається багато використаного матеріалу, то для нього створюються фінансові проблеми. Якщо ж купляти дешевий матеріал то дуже часто він може бути з домішками сміття, які закупорюють сопло 3д-принтеру що в свою чергу руйнує процес друку, а в гіршому випадку може призвести до поломок. Ще однією проблемою є наявність того чи іншого матеріалу у продажі. Дуже часто власник зустрічається з проблемою відсутності різноманітності матеріалу та його наявністю на ринку. А з дефіцитним матеріалом, який привозять з закордону виставляють дуже великі ціни.

Декілька компанії створюють малі екструдери для цих цілей, але вони або дуже дорогі, або не мають органів контролю і аналізу виготовленої ниті. Тож в цьому сегменті переважна більшість екструдерів це екструдери, які виготовляються самостійно з підручних матеріалів. Вони здебільшого мають не дуже велику точність виготовлення і мають великі габарити.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

Екструдер складається з декількох вузлів: потужний двигун з редуктором, шнек, який проштовхує матеріал, витягаючий механізм, прилад контролю товщини ниті, вузол складання виготовленої ниті та керуючий блок. Головну роль у виготовленні ниті грає датчик вимірювання товщини ниті та стабільність самої екструзії. Під час роботи після вимірювання певних параметрів інформація відправляється у блок керування, який аналізує подальші дії. При якісній настройці всіх вузлів нить на виході має якість дорогої фабричної ниті з можливістю впливати на основні параметри матеріалу.

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		15

# 1 ОГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ПРИЛАДІВ ТА МАТЕРІАЛІВ

## 1.1. Огляд аналогів

В індустрії 3д-друку масово з'являється потреба у подібного роду пристроїв через масовість і доступність 3д-принтерів на ринку. Екструдери необхідні як для дизайн-студій або компаній, які пропонують послуги 3д-друку, так і для звичайних користувачів, які виготовляють багато моделей в своїх потребах. І це далеко не всі приклади. Сфера 3д-друку, на сьогодні, інтегрована майже у всі сфери.

На сьогоднішній день вже існують компанії, які поставили данні пристрої на конвеєр, а також деякі інженери-саморобки, які створюють подібні екструдери за своїми кресленнями та розрахунками. Запропоновані компанії мають досить гарні продукти зі своїми перевагами та недоліками.

### 1.1.1 Приклад 1

Ехо extruder - це настільна портативна система екструдювання для виробництва пластикової нитки для 3д-принтера в домашніх умовах (Рис. 1.1.1.1).



Рис 1.1.1.1. «Ехо Extruder».

Він поставляється виробником повністю протестованим та зібраним, і він готовий до використання прямо з коробки.

З даним екструдером і 3д принтером власник має вдома міні фабрику з 3д-друку, його витрати на пластик скорочуються на 30%, а виробництво стає

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		16



безвідходним, всі браковані деталі, а отже і гроші, будуть не на звалищі, а знову стануть 3д-моделями, так само можна виробляти пластик з гранул будь-якого кольору і в будь-якій кількості.

#### Принцип роботи екструдера

Після установки заданої температури екструзії і часу для прогріву, включається мотор-редуктор. Пластик з наповненого бункера надходить в нагрівальну зону, там плавиться і видавлюється з фільери у вигляді нитки.

Конструктори розробили унікальну систему намотування нитки на котушку, аналога якої більше немає, нитка виходячи з фільери розгортається на 180 градусів та подається через систему охолодження і рівномірно намотується на котушку, яку в свою чергу можна з легкістю замінити. Така система дала можливість зробити екструдер максимально компактним, в робочому вигляді він вміщається на звичайному столі (рис. 1.1.1.2) [1].



Рис 1.1.1.2. Ехо Extruder у розгорнутому стані.

#### Технічні дані:

- Вхідна напруга 220 В (змінний струм);
- Споживана потужність до 500 Вт;
- Розмір корпусу (в зібраному стані) Д-Ш-В: 675x200x275 мм;
- Розмір корпусу (з відкинутим намотувачем) Д-Ш-В: 930x200x275 мм;
- Температура нагрівальної головки до 300°C;
- Швидкість обертання шнека 22 обор/хв. ;
- Діаметр виробленої нитки 1.75 мм, 2,85 і 3 мм;

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

- Продуктивність до 370 см в хв;
- Похибка діаметра нитки:  $\pm$  до 5% від діаметра нитки;
- Ручне регулювання діаметра нитки;
- Металевий корпус;
- Вага апарату 16 кг.

### 1.1.2 Приклад 2

Noztek Pro НТ (рис. 1.1.2.1).



Рис. 1.1.2.1. Noztek Pro НТ

Нагрівний елемент, що використовується на Noztek Pro, буде підтримувати температуру 300°С протягом тривалого часу.

Поряд з нагрівачами високої щільності розробники додали модернізований ПІД-регулятор температури, який є більш точним і може справлятися з набагато більшими температурами. Термопара була модернізована до більш міцної конструкції, щоб витримувати температуру до 600°С(рис. 1.1.2.2).

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		18



Рис. 1.1.2.2. Сопло та нагрівний елемент екструдера.

Як правило, цей пристрій був розроблений для екструдювання термопластів, таких як ULTEM, PEEK і TPE, які мають високу температуру плавлення. Екструзія цих полімерів вимагає набагато більшого крутного моменту для обертання шнека, і цю версію сконструювано з двигуном постійного струму 17,5 Нм, який працює зі швидкістю 15 об / хв. Якщо вам потрібно екструдувати порошкоподібні, в'язкі або композитні матеріали, ви можете додати додатковий нагрівач, щоб забезпечити розплавлення матеріалу до того, як він досягне кінця сопла.

Ключем до успіху лінійки екструдерів Noztek Pro є їх простота у використанні. Три перемикачі керують нагрівачем, двигуном і охолоджуючим елементом. За допомогою ПД-регулятора користувач може точно контролювати температуру від 50°С до 600°С [2].

Технічна характеристика:

- Конвертує різні термопластичні смоли, в тому числі з Ultem, Фортрон і PEEK як 1.75 мм так і у 3мм товщини.
- Екстрадує при температурі 50-600 градусів Цельсія
- Допуски нитки напруження 1,75 мм (+ .04/ – .04)
- Екстрадує до 2,5 м в хвилину (в залежності від температури екструзії і пластика).
- Виробляє 1 кг нитки всього за 2 години.
- Простий у застосуванні.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		19

### 1.1.3 Приклад 3.

Noztek Xcalibur (Рис 1.1.3.1).



Рис. 1.1.3.1. Noztek Xcalibur

Нова версія noztek Xcalibur 3 має нову операційну систему. Користувачі можуть підключити свій ноутбук або ПК для безпосереднього управління екструдером а також для завантаження дати екструзії після кожної сесії. Це буде пов'язано з системою датчиків допуску, що дозволяє користувачам компілювати і аналізувати незалежну температуру нагрівача, швидкість двигуна і допуск нитки.

Екструдер Xcalibur-один з найбільш передових настільних екструдерів на сучасному ринку. Він має розширений спектр функцій, включаючи потрібні високотемпературні нагрівальні елементи, всі вони призначені для надійної роботи при температурі до 600°. Він був розроблений для розплавлення практично будь-якого полімеру, включаючи високотемпературні термопласти і металеві Порошкові комбінації.

Noztek Xcalibur має спеціально розроблений триступеневий гвинт на основі свого промислового двоюрідного брата, який генерує додатковий внутрішній тиск у стовбурі. Інженери додали дуже потужний двигун постійного

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		20

струму з регульованою максимальною швидкістю 35 об / хв (також доступні більш швидкі Двигуни до 57 об / хв і крутний момент 22 нм) і високим крутним моментом 35 Нм – це необхідно для підтримки постійних обертів шнека при пресуванні високов'язких матеріалів. Цей екструдер здатний видавлювати приблизно 8-10 м в хвилину або приблизно 2 кг на годину.

Технічні характеристики Noztek Xcalibur:

- Три незалежно керовані смуги високотемпературного нагрівача;
- Треступеневий виготовлений на замовлення інженерний гвинт з нержавіючої сталі, призначений для створення тиску в стовбурі;
- Надзвичайно високий крутний момент на двигуні постійного струму, який генерує 35 Нм з максимальною швидкістю 35 об / хв (доступно 57 об / хв 22 нм);
- Змінний канал і шнек;
- Запис даних температури і швидкості двигуна;
- Управління швидкістю обертання двигуна і вентилятора;
- Таймер;
- 7-дюймовий сенсорний екран;
- Бункер з нержавіючої сталі ємністю 1 кг;
- Швидкість екструзії 6-8М в хвилину;
- Шнек: глибина каналу 39cm L-5mm;
- Градієнт від 130мм до 200мм;
- Кут спіралі 22 градуси;
- Висока продуктивність макс 600С.

Програмного Забезпечення Noztek.

Останнє оновлення програмного забезпечення на Xcalibur пов'язує всі функції екструдера віддалено з докладним інтерфейсом на вашому комп'ютері, сприяючи більшому контролю і підключенню до вашого проекту. Інтерфейс дозволить власнику контролювати всю необхідну інформацію, включаючи температуру, швидкість двигуна, навіть тиск в стовбурі. У вас також є

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		21

можливість налаштувати ці параметри, якщо вам потрібно ввести будь-які зміни [3].

#### 1.1.4 Приклад 4.

FilamentMakers від 3DEVO.

Нідерландська компанія розробила екструдер (рис. 1.1.4.1) для виготовлення прутка для 3D-принтерів.

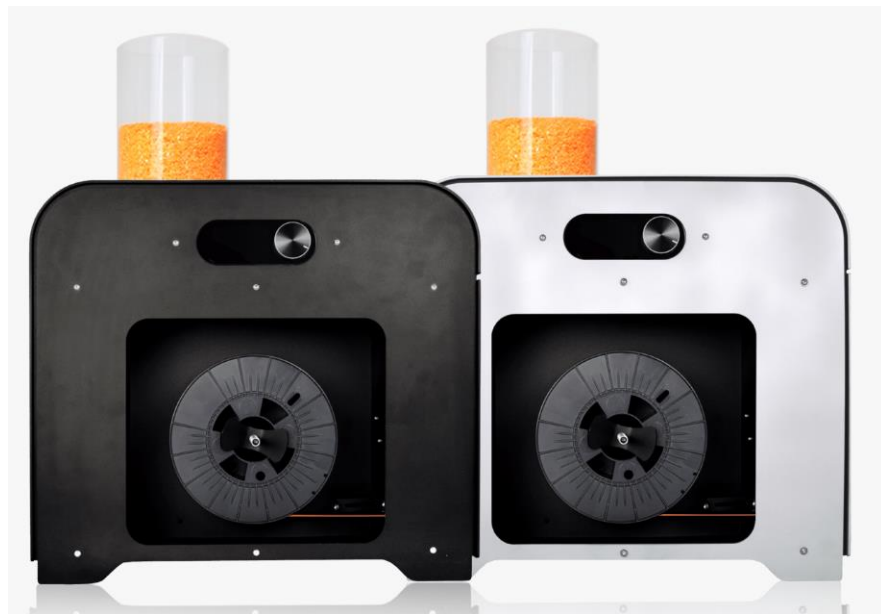


Рис 1.1.4.1. Портативний екструдер FilamentMakers NEXT 1.0. від компанії «3DEVO»

Компанія зосереджена навколо сталого розвитку. Їх мета полягає у тому, щоб допомогти переходу підприємств, освітніх установ і дослідницьких лабораторій до більш стійкої бізнес-моделі, не тільки з економічного боку, але й екологічно чистій практиці 3D-друку. NEXT 1.0 має 7 основних функцій, які, за словами фахівців компанії, виділяють його серед інших подібних пристроїв:

- Створення високоякісної нитки – спеціальна система послідовної екструзії дозволяє легко транспортувати гранули всередину пристрою і перетворювати їх в щільні нитки.
- Вбудований датчик Хоппера – він нагадає користувачеві про те, що гранули закінчуються і пора подбати про дозаправлення.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		22

- Система управління діаметром – користувач самостійно вибирає діаметр готової нитки.
- Система автоматичного намотування готової нитки.
  - Доступний і зрозумілий призначений для користувача інтерфейс, яким можуть користуватися навіть люди, які використовують пристрій вперше.[4]

Пристрій має наступні технічні характеристики:

- Габарити – 506x216x448 мм;
- Потужність – 1300 Вт;
- Температура нагрівання – до 450 градусів;
- Кількість обертів шнеку – від 2 до 15 об/хв;
- Діаметр ниті – від 0.5 до 3 мм;
- Інформативний дисплей в якому є можливість обрати матеріал, температуру, товщину та інші характеристики;
- Система автоматичного намотування готової ниті;
- Оптична система контролю товщини ниті з точністю 43 мікрон.[5]

Серед переваг відмічають зрозумілий інтерфейс, малі габарити, чудовий дизайн та широкий вибір сировини для застосування. Також відмічають такі недоліки як труднощі при протягуванні ниті від сопла до бобини та недосконалість системи подачі гранул.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		23

### 1.1.5 Приклад 5.

Filabot Original (Рис. 1.1.5.1).



Рис. 1.1.5.1. Filabot Original

Найбільш відома розробка, що відрізняється високою продуктивністю. Пристрій призначений для роботи з ABS, PLA і HIPS. В якості матеріалу використовується гранульований пластик, але можливо і використання пластикових відходів за тієї умови, що розмір частинок не перевищує 5мм.

Компанія пропонує вибір з семи кольорів гранульованих барвників для ABS-пластика, що дозволяють надавати готовому матеріалу необхідний відтінок. Барвники поставляються в упаковках по 25гр. Для фарбування одного кілограма ABS будуть потрібні одна-дві упаковки. Для кращих результатів рекомендується використання барвників з гранулами ABS-пластика білого кольору.

Крім того, можливе змішування ABS, PLA і HIPS з вуглеволокном для отримання більш міцних і зносостійких матеріалів. Для отримання подібного композиту потрібно лише змішати пластик з гранулами вуглеволокна і, якщо потрібно, барвника, а потім завантажити готову суміш в бункер.

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		24



Filabot Original володіє найбільш високою продуктивністю серед аналогічних пристроїв. На екструзію одного кілограма прутка йде близько п'яти годин. Температурний діапазон при нагріванні становить 40°C-400°C, що дозволяє експериментувати з широким спектром матеріалів, включаючи композити з деревним наповнювачем, електропровідними добавками та ін.

Діаметр прутка може становити 1,75 мм або 3мм в залежності від насадки. Швидкість екструзії становить 250-750мм в хвилину в залежності від діаметра виготовленого прутка.

Швидкість обертання шнека становить 35 оборотів в хвилину. Споживана потужність пристрою досягає 300Вт в залежності від температури екструзії. Екструдер оснащений фільтром для видалення забруднюючих частинок безпосередньо перед екструзією.

Пристрій оснащений міцним металевим корпусом і має досить компактні габарити, порівнянні з системним блоком комп'ютера: 431x178x203мм [6].

## **1.2. Матеріали для виготовлення ниті.**

Для виготовлення ниті на екструдері необхідно використовувати ті матеріали, які поширені серед 3д-друку. Більшу частину моделей виготовляють такими матеріалами як PLA, ABS, PET. Тож основним пластиком на який потрібно орієнтуватись це ці три різновиди. Хоча бувають і такі задачі де потрібно застосування й інших пластмас. Наприклад, якщо деталь повинна бути м'яка або мати добрі фрикційні та температурні характеристики. Розглянемо одні з найбільш популярних та легко доступних матеріалів для друку на принтері.

### **1.2.1 PLA**

PLA-пластик ( полілактид, ПЛА) - є біорозкладаним, біосумісним, термопластичним аліфатичним поліефіром, структурна одиниця якого-молочна кислота (Рис. 1.2.1.1) [7].

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		25

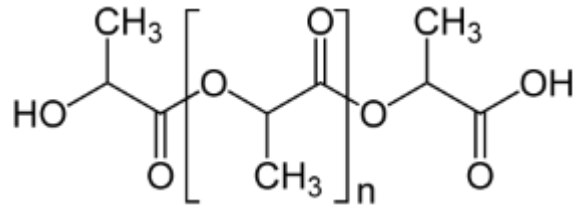


Рис. 1.2.1.1. Молекула полілактиду [8].

ПЛА-пластик виробляють з кукурудзи або цукрової тростини.

Сировиною для отримання служать також картопляний і кукурудзяний крохмаль, соєвий білок, крупа з бульб маніюка, целюлоза.

На сьогоднішній день полілактид активно використовується в якості матеріалу для друку на 3D-принтерах.

Безпечність застосування PLA-пластика

Натуральна природна сировина в складі PLA-пластика дозволяє без загрози для здоров'я людини застосовувати його для різних цілей.

При виготовленні ПЛА-пластика значно скорочуються викиди вуглекислого газу в атмосферу в порівнянні з виготовленням «нафтових» полімерів. На третину зменшується використання викопних ресурсів, застосування розчиняють речовин не потрібно взагалі.

Як правило, PLA-пластик поставляється у вигляді тонкої нитки, яка намотана на катушку.

ТЕХНІЧНІ характеристики PLA-пластика:

- Температура плавлення - 173-178°C;
- Температура розм'якшення - 50°C;
- Твердість (по Роквеллу) - R70-R90;
- Відносне подовження при розриві - 3,8%;
- Міцність на вигин - 55,3 МПа;
- Міцність на розрив - 57,8 МПа;
- Модуль пружності при розтягуванні - 3,3 ГПа;
- Модуль пружності при вигині - 2,3 ГПа;
- Температура твердіння - 60-65°C;

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		26

- Щільність - 1,23-1,25 г / см<sup>3</sup>;
- Мінімальна товщина стінок - 1 мм;
- Точність друку  $\pm 0,1\%$ ;
- Розмір найдрібніших деталей - 0,3 мм;
- Усадка при виготовленні виробів немає;
- Вологопоглинання - 0,5-50%.

Переваги PLA-пластика при 3d-друку:

- нетоксичний;
- широка кольорова палітра;
- при друку немає необхідності в нагрітій платформі;
- розміри стабільні;
- ідеальний для рухомих частин і механічних моделей;
- відмінне ковзання деталей;
- економія енерговитрат через низьку температуру розм'якшення нитки;
- немає необхідності застосовувати каптоновий скоч для змащування поверхні при виготовленні прототипу;
- гладкість поверхні надрукованого виробу;
- отримання більш детальних і повністю готових до застосування об'єктів.

Робота PLA-пластиком на 3D-принтері ведеться за допомогою технології моделювання методом пошарового наплавлення (FDM-Fused Deposition Modeling). Нитка розплавляється, після чого доставляється по спеціальній насадці на поверхню для роботи і осаджується. В результаті побудови моделі розплавленим пластиком створюється повністю готова до застосування модель. Вироби з PLA-пластика піддають шліфуванню та свердлінню, фарбують матеріал акрилом. Однак варто пам'ятати, що предмет з ПЛА потрібно обробляти з обережністю через його крихкість. Ще одним мінусом PLA-пластика є його недовговічність: матеріал служить від декількох місяців до декількох років.

PLA-пластик є ідеальним матеріалом для 3d-друку прототипів і виробів, які не передбачається експлуатувати тривалий час. Це можуть бути Декоративні

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		27

об'єкти, вироби для презентацій і предмети, що вимагають ретельної деталізації [7].

### 1.2.2 ABS-пластик для 3д-друку

ABS-пластик (акрилонітрилбутадієнстирол, АБС) - ударостійкий термопластик, який завоював високу популярність в промисловості і в адитивному виробництві (Рис. 1.2.2.1) [9].

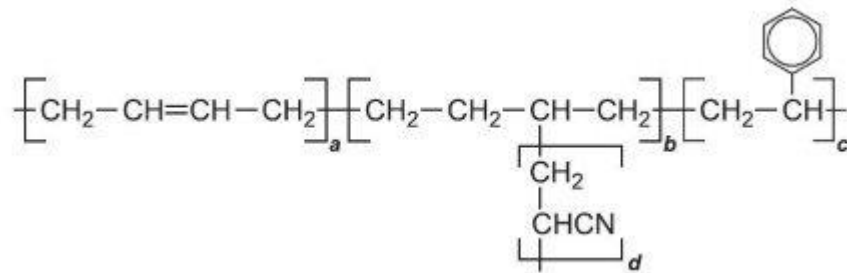


Рис. 1.2.2.1. Молекула акрилонітрилбутадієнстирол [10].

Відмінні механічні та фізичні властивості ABS-пластика обумовлюють можливість застосування цього матеріалу для створення всіляких об'єктів, що мають практичну цінність. ABS-пластик широко застосовується в автомобільній, медичній та сувенірній промисловості, у виробництві спортивного інвентарю, сантехніки, банківських карт, меблів, іграшок та ін.

Відносно невисока вартість ABS-пластика і порівняльна легкість використання в якості витратного матеріалу привели до високої популярності ABS серед ентузіастів 3d-друку. ABS-пластик є одним з найбільш популярних матеріалів для друку методом пошарового наплавлення (FDM/FFF).

Безпека ABS-пластика у друці.

ABS-пластик відносно безпечний і не надає загрози в нормальних умовах. Тим не менш, нагрівання ABS призводить до виділення токсичних парів акрилонітрилу, що означає необхідність елементарних застережень при 3d-друку. Обсяг випарів, як правило, невеликий через відносно повільної витрати матеріалу при FDM-друку. Для забезпечення повністю безпечних умов потрібно лише хороша вентиляція приміщення або витяжка. Варто також мати на увазі,

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		28

що ABS-пластик вступає в реакцію з етанолом, що призводить до виділення стиролу.

Не слід використовувати готові вироби з ABS для зберігання гарячої їжі і напоїв, або алкоголю при будь-якій температурі.

ТЕХНІЧНІ характеристики ABS-пластика:

- Температура твердіння близько - 105°C;
- Міцність на вигин - 41 МПа;
- Межа міцності на розрив - 22 МПа;
- Модуль пружності при розтягуванні - 1627 Мпа;
- Відносне подовження - 6%;
- Усадка при охолодженні до - 0,8%;
- Щільність матеріалу близько - 1,05 г / см<sup>3</sup>.

Варто мати на увазі, що фактичні параметри ABS-пластика для 3D-друку будуть залежати від специфікацій виробника. У багатьох випадках ABS змішується з іншими термопластиками (наприклад, полістиролом), що призводить до зміни температури екструзії, стійкості до певних розчинників та ін.

Переваги та недоліки ABS-пластика

Основним недоліком ABS-пластика можна вважати відносно низьку стійкість до прямого впливу сонячного світла. Крім того, потенційна токсичність матеріалу дещо обмежує застосування у виробництві іграшок, харчової тари та медичних інструментів.

У той же час, ABS-пластик має цілий ряд позитивних якостей:

- Практично необмежена кольорова гамма;
- Вологостійкість;
- Кислотостійкість;
- Масилостійкість;
- Відносно висока теплостійкість, що досягає 115°C у деяких марок матеріалу;

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

- Нетоксичність при відносно низьких температурах і при відсутності впливу алкоголю;
- Підвищена ударостійкість;
- Висока еластичність;
- Висока довговічність за відсутності прямого сонячного світла;
- Легко піддається механічній обробці;
- Хороша цінова доступність;
- Висока розчинність в ацетоні.

Друк ABS-пластиком пов'язана з певними технологічними труднощами через досить високу схильність до усадки, тобто до втрати обсягу при охолодженні. Як наслідок, можливе утворення деформацій і розшарування моделей. Цей момент враховується виробниками, що оптимізують 3d-принтери для друку ABS за рахунок установки підігрівачої робочої платформи і забезпечення тій чи іншій мірі температурного контролю в робочій камері.

Крім можливості механічної обробки, ABS легко розчиняється в ацетоні і в деяких інших розчинниках, що дозволяє виробляти досить великогабаритні моделі зі складових частин шляхом склеювання. Крім того, обробка готових моделей парами ацетону дозволяє згладжувати зовнішні поверхні і досягати повної герметичності [9].

### 1.2.3 PET-пластик для друку

Поліетилентерефталат (PET, PETT, ПЕТ, ПЕТФ, лавсан, поліестер, майлар) – матеріал, добре знайомий користувачам по пластикових пляшках, використовуваним в харчовій промисловості (Рис. 1.2.3.1).

[https://3dtoday.ru/wiki/pet\\_plastic/](https://3dtoday.ru/wiki/pet_plastic/)

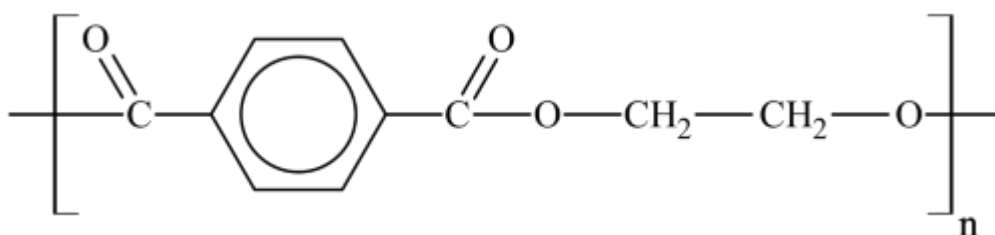


Рис. 1.2.3.1. Молекула Поліетилентерефталат.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		30

ПЕТ отримав найширше застосування завдяки цілому набору корисних властивостей: нерозчинності у воді і органічних розчинниках, стійкості до кислот і слабких лугів, досить хорошою стійкості до високих температур, високої зносостійкості і діелектричності. У той же час, ПЕТ має і певні цікаві властивості, що вважаються недоліками або перевагами в залежності від застосування матеріалу: прозорість до ультрафіолету, здатність пропускати кисень і вуглекислий газ. Крім харчової промисловості ПЕТФ застосовується для виготовлення синтетичних волокон, армування гумотехнічних виробів, виробництва фотоплівки, магнітних стрічок і комп'ютерних дискет [11].

#### ПЕРЕВАГА:

- володіє високою механічною міцністю і ударостійкістю, стійкістю до стирання і багаторазових деформацій при розтягуванні і вигині і зберігає свої високі ударостійкі і силові характеристики в робочому діапазоні температур від  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- володіє високою хімічною стійкістю до кислот, лугів, солей, спиртів, парафінів, мінеральних масел, бензину, жирів, ефіру;
- відрізняється високим опором повзучості, хороші властивості тертя, ковзання і зносостійкість;
- характеризується відмінною пластичністю в холодному і нагрітому стані;
- добре полірується і лакується;
- температура експлуатації виробів:  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$   $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### Характеристики:

- Щільність -  $1,27\text{ г / см}^3$ ;
- Температура експлуатації - від  $-20$  до  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Міцність на розтяг -  $70\text{ МПа}$ ;
- Відносне подовження при розриві -  $50\%$ ;
- Модуль пружності розтягнення -  $3000\text{ МПа}$ ;
- Модуль пружності при вигині -  $2700\text{ МПа}$ ;
- Міцність при вигині -  $70\text{ МПа}$ ;

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		31

- Водопоглинання - 2 %.

#### Застосування у 3D-друці

Однією з особливостей ПЕТФ, що роблять цей матеріал привабливим для 3D-друку є його доступність, особливо в Україні, де цей матеріал отримав особливо широке поширення в харчовій промисловості. Таким чином, можливе використання домашніх переробних установок для виробництва власної нитки [12].

#### 1.2.4 PVA-пластик для друку

Полівініловий спирт або «PVA-пластик» – унікальний матеріал, істотно розширює можливості 3D-друку при використанні принтерів з подвійним екструдером. PVA розчинний у воді, що робить його непридатним для створення довговічних виробів, але дозволяє використовувати в якості опорного матеріалу при друку моделей складної геометричної форми.

Одним з обмежень 3д-друку є неможливість "друку у повітрі", що ускладнює створення навісних елементів. Такі технології, як вибіркоче лазерне спікання (SLS), вирішують цю проблему за рахунок використання порошкових матеріалів, вони розподіляються по всій площі робочої камери де невикористаний матеріал одного шару служить підтримкою для елементів наступного шару.

У випадку ж з FDM-печаткою сам матеріал наноситься вибірково. Відповідно, навісні елементи можуть не мати достатньої опори, все залежить від кута відхилення, але навіть при оптимальному варіанті друк горизонтальних елементів великої довжини (так званих «мостів») можлива тільки на шкоду якості або неможлива взагалі. У таких випадках створюються штучні тимчасові конструкції, звані "опорами" або "підтримками", призначені для видалення після завершення друку.

На жаль, механічне видалення таких конструкцій залишає сліди на готовій моделі, що призводить до необхідності подальшої механічної обробки. У гіршому ж випадку, опори можуть взагалі опинитися поза досяжністю

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		32



механічних інструментів. Останнє можливо при створенні моделей зі складною відкритою внутрішньою структурою.

В якості наочного прикладу можна використовувати Гілбертів куб. (Рис. 1.2.4.1) побудова такої моделі зі стандартними опорами обернеться кошмаром при спробі їх видалення. На щастя, у власників FDM-принтерів з подвійною друкованою голівкою є більш розумна опція: друк композитної моделі з побудовою опор з водорозчинного пластику, тобто PVA.



Рис. 1.2.4.1. Гілбертів куб.

В даному випадку PVA служить в ролі наповнювача пустот, що підтримує шари робочого ABS-пластика. Готову модель буде необхідно витримати в звичайній воді до повного розчинення PVA-пластика.

Час витримки може зайняти досить тривалий час, що досягає декількох годин. Період залежить від розміру моделі і температури води, але може бути скорочений за рахунок періодичного або постійного помішування розчину.

PVA-пластик поставляється у вигляді стандартних котушок з ниткою діаметром 1,75 мм або 3мм. Рекомендована температура екструзії становить 160-175°с. перевищення зазначеної температури може привести до піролізу.

PVA виробляється з різної сировини, включаючи етиленовий газ (що виділяється при дозріванні деяких фруктів і овочів), етиловий спирт і

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		33

нафтопродукти, але в будь-якому випадку в готовому вигляді нетоксичний і не представляє небезпеки для здоров'я.

Будучи водорозчинним, матеріал гігроскопічний (легко вбирає вологу), що слід враховувати при друці. Рекомендується просушування матеріалу перед друком, щоб уникнути деформацій або виділення пари.

Просушку можна здійснити навіть в звичайній духовці: близько шести годин при температурі 80 °С повинно бути цілком достатньо для осушення котушки. В цілому ж, рекомендується зберігати PVA у вакуумній упаковці.

Вартість PVA досить велика і може досягати \$90 за 1кг. В той же час, при правильному підході до побудови опор витрата матеріалу буде відносно невеликий.

Так як матеріал не призначений для виготовлення кінцевих виробів, кольорові версії, як правило, недоступні. Матеріал поставляється в натуральному білому кольорі [13].

#### 1.2.5 Нейлон для 3D-друку

Nylon (PA6, ПА6) відноситься до конструкційних (інженерних) полімерних матеріалів (Рис. 1.2.5.1). Nylon-кристалізується жорсткий пластик з високою міцністю на розрив і стійкістю до зносу. Nylon відрізняється високою температурою розм'якшення і еластичністю при низьких температурах, витримує стерилізацію парою, розігрітим до 140°C. Це дозволяє використовувати його в умовах з температурними перепадами в широкому діапазоні.

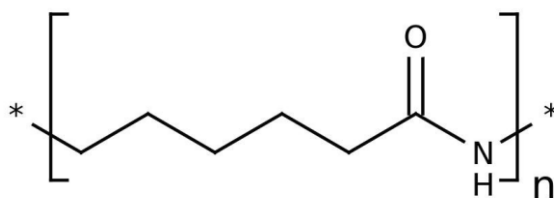


Рис. 1.2.5.1. Молекула нейлону.

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		34

Nylon стійкий до впливу різних хімічно активних речовин-такі як слабкі кислоти, кетони, луги, вуглеводи, масла, спирти і ефіри. Деталі, виготовлені з Nylon, стійкі до ударних і кінетичних навантажень. Nylon може служити хорошим теплоізолятором [14].

Нейлон привабливий в якості матеріалу для 3D-друку через високу зносостійкість, доступності і відмінного коефіцієнта ковзання, що дозволяє використовувати нейлон в підшипниках і інших схожих механізмах, часто без використання мастила.

Незважаючи на широке поширення нейлону в промисловості, використання цього матеріалу в 3D-друку досить обмежене у зв'язку з певними технологічними труднощами. Проте, останнім часом з'являються спеціалізовані витратні матеріали з нейлону, орієнтовані на використання з SLS і FDM-принтерами.

#### Технічна характеристика

- Щільність – 1,134 г/см<sup>3</sup>;
- Гігроскопічність – 3,09%;
- Міцність на розрив – 65,99 МПа;
- Відносне подовження при розриві – 9,5-30%;
- Температура плавлення – 178°C;
- Температура склування – 68,2°C;
- Температура екструзії – 235-260°C;
- Температура піролізу – 350-360°C.

Stratasys Nylon 12 призначений для використання з фірмовими професійними установками Fortus 360mc, 400mc і 900mc, в той час як нейлонові нитки марки Taulman розраховані на застосування з будь-якими побутовими та офісними 3D-принтерами, оптимізованими для роботи з популярним ABS-пластиком. Крім того, компанія Taulman випробовує ряд нейлонових матеріалів, призначених для друку за технологією лазерного спікання, включаючи порошкову версію Taulman 618.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		35

Переваги:

- Гідність
- Висока зносостійкість
- Висока еластичність
- Стійкість до більшості розчинників на органічній основі
- Висока термостійкість
- З легкістю піддається механічній обробці

Недоліки:

- Висока гігроскопічність
- Виділення токсичних парів при піролізі
- Нейлонові нитки марки Taulman доступні в діаметрі 1,75 мм і 3мм
- Використання в 3D-друку

Нейлонові нитки марки Taulman доступні в діаметрі 1,75 мм і 3мм

Технологія друку з використанням нейлону схожа з друком ABS-пластиком, але з деякими відмінностями. Як і ABS-пластик, нейлон схильний до закручування і деформацій при нерівномірному охолодженні, що вимагає використання підігрівача платформи.

Шари нейлону прекрасно схоплюються, що мінімізує ймовірність розшарування моделей. Користувачі пластиків Taulman відзначають міцність моделей на рівні аналогів, виготовлених традиційним методом лиття під тиском.

Нейлон практично не піддається склеюванню, що ускладнює виготовлення великогабаритних деталей зі складових частин. Як варіант, можливе з'єднання нейлонових деталей за рахунок плавки поверхонь, що з'єднуються.

Нейлон піддається фарбуванню за допомогою барвників на кислотній основі.

Нейлон не схоплюється зі склом та іншими гладкими поверхнями, тому при друку рекомендується нанесення на робочий столик малярного скотча, або використання підкладки з деревини.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		36

Зважаючи на високу гігроскопічність нейлону (здатності вбирати вологу) рекомендується просушування нейлонових ниток безпосередньо перед друком. В іншому випадку можливе виділення водяної пари з сопла, що не катастрофічно для екструдера, але може вплинути на якість друку.

#### Використання підручних матеріалів

Деякі любителі вважають за краще використовувати для друку недорогого нейлонову волосінь, що загрожує деякими неприємними наслідками. Як правило, перевага віддається волосіні для тримерів, доступною в діаметрі 3мм, що збігається з діаметром комерційно доступних ABS-ниток для FDM-друку. Проте, подібні "нейлонові нитки" не є чистим нейлоном, що очевидно з огляду на їх надмірної жорсткості, нехарактерної для нейлону. Причиною тому служать добавки - як правило, у вигляді склопластику. Добавки призначені як для збільшення жорсткості, так і зниження вартості матеріалу. Варто мати на увазі, що температура плавлення склопластиків значно вище температури плавлення нейлону і, фактично, перевищує температуру піролізу нейлону. Таким чином, домогтися повного плавлення подібних композитних матеріалів неможливо. Як результат, жорсткі частинки скловолокна сприятимуть підвищеному зносу і забивання сопла екструдера [15].

#### 1.2.6 Полістирол для 3D-друку

Полістирол (HIPS) широко відомий кожному з нас по багаточисленним побутовим виробам і будівельним матеріалам: одноразовому посуді, іграшкам, упаковкам, облицювальним матеріалам, побутовій техніці і т.д. фактично, з моменту широкого впровадження на початку 1950-х цей пластик став одним з найбільш популярних полімерів в світі завдяки низькій вартості і всіляким комбінаціям з іншими пластиками і еластомерами.

Прийнято вважати, що в 3д-друку полістирол з'явився недавно, але це не зовсім так. Одним з популярних сополімерів полістиролу є ABS-пластик. Багато ниток для FDM-друку, що продаються під виглядом ABS, насправді являють собою суміш ABS з полістиролом. Виявити такі зразки досить просто за

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		37

рекомендованою виробником температури екструзії: для чистого ABS досить 180°C-190°C, в той час як полістирол вимагає нагрівання до 240°C.

Насправді, говорячи про недавнє впровадження полістиролу в FDM-друк, ми маємо на увазі використання "HIPS» або" УПС " – ударостійкого полістиролу, що є найбільш поширеним варіантом матеріалу в традиційному виробництві. Ударостійкий полістирол-сополімер стиролу з бутадієновим каучуком. Саме з цього матеріалу створювалися і створюються корпуси електронних пристроїв, хоча останнім часом все більш популярним варіантом стає ABS-пластик.

Проте, HIPS продовжує використовуватися у виробництві і поступово знаходить місце в 3D-друку через легкість, стійкості до кислот і лугів, досить високої міцності і хорошою ціною доступності.

Друк HIPS дуже схожа з друком ABS-пластиком. Матеріал трохи вибагливий з огляду на відносно високий ступінь усадки, що вимагає використання нагрівальної платформи і, як правило, рафтів. Крім того, дуже бажано використання принтерів із закритим корпусом для підтримки навколишньої температури. Єдиною істотною відмінністю є більш висока температура екструзії близько 230°C-240°C, але як вже було сказано, поширені під виглядом ABS-пластика сополімери ABS і полістиролу вимагають аналогічного температурного режиму.

Так як HIPS досить легко розчиняється в Лімонене (очищеному цитрусовому маслі), HIPS може бути використаний в якості матеріалу для побудови опор при друку ABS-пластиком за умови наявності подвійного екструдера. Найбільш відомим і зручним опорним матеріалом вважається водорозчинний полівініловий спирт (PVA), проте цей матеріал незрівнянно дорожчий – приблизно в 4,5 рази. З іншого боку, лімонен теж відносно дорогий, але в цілому використання комбінації полістиролу і Лимонену більш вигідно.

Знову ж таки, для використання HIPS в якості опорного матеріалу при друку ABS необхідно попередньо переконатися у відсутності полістиролу в ABS-нитки, інакше може розчинитися сама модель. Для перевірки досить

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		38

витримати шматочок ABS-пластика в Лимонені протягом декількох годин. Варто мати на увазі, що незважаючи на своє органічне походження, лімонен є досить сильним подразником шкіри і слизових оболонок. Рекомендується використовувати захисні рукавички і окуляри.

HIPS і ABS добре схоплюються, але легко відокремлюються один від одного, що дозволяє видаляти опори вручну без особливих зусиль при досить простій геометрії виробів. На готових моделях практично не залишається слідів від підтримуючого матеріалу, що вигідно відрізняє цей метод від побудови моделі і опор з одного і того ж пластика.

ТЕХНІЧНІ характеристики HIPS:

- Температура екструзії - 230-240°C;
- Межа міцності на вигин - 33 МПа;
- Межа міцності на розрив - 62 МПа;
- Модуль пружності при вигині - 2280 МПа;
- Відносне подовження при розриві - 65%;
- Усадка при охолодженні - 0,8%;
- Щільність матеріалу близько - 1,05 г / см<sup>3</sup>;
- Рекомендована температура столика близько - 90°C.
- Безпека HIPS

HIPS досить безпечний, аж до використання в якості матеріалу для харчових контейнерів. Проте, в HIPS може міститися незначна кількість залишкового мономера-стиролу. Стирол дуже токсичний і може виділятися у вигляді парів при нагріванні HIPS. Рекомендується проводити друк в добре провітрюваному приміщенні [16].

### 1.2.7 Полікарбонат для 3D-друку

Полікарбонат – термопластик, в побутовому вигляді широко використовується в якості міцного замітника звичайного скла (Рис. 1.2.7.1). Крім того, полікарбонат знайшов застосування в якості матеріалу для виготовлення компакт-дисків, контактних лінз, захисного спорядження (наприклад,

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		39

велосипедних шоломів або окулярів). Комбінація прозорості полікарбонату і високої міцності (близько 250 разів вище, ніж у звичайного скла), дозволяє виготовляти навіть куленепробивні скла [17].

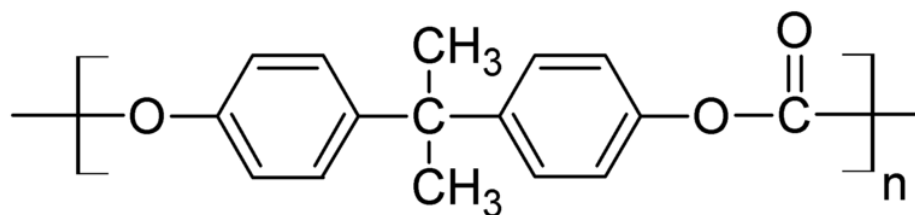


Рис. 1.2.7.1. Молекула полікарбонату [18].

Ще однією перевагою полікарбонату служить висока стійкість до високих і низьких температур - від -40 до 120°C. Крім того, полікарбонат схильний до загасання при впливі відкритого вогню, сприяючи пожежної безпеки, і стійкий до впливу кислот.

Серед недоліків полікарбонату можна виділити досить високу гігроскопічність. Котушки з ниткою рекомендується зберігати в сухих місцях, а бажано у вакуумній упаковці. Крім того, полікарбонат дещо вразливий до ультрафіолетового світла, що з часом призводить до втрати міцності, і вразливий до впливу нафтопродуктів і органічних розчинників [18].

Механічні характеристики:

- Щільність – 1,24 г / см<sup>3</sup>;
- Температура експлуатації – від -10 до +120°C;
- Міцність на розтяг – 52 МПа;
- Відносне подовження при розриві – 98 %;
- Модуль пружності розтягнення – 2000 МПа;
- Модуль пружності при вигині – 2500 МПа;
- Міцність при вигині – 100 МПа;
- Ударна в'язкість непроникна по Шарпі (23°C) – 89 кДж / м<sup>2</sup>;
- Водопоглинання – 1%.

Застосування у 3D-друці

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		40



У FDM-друку полікарбонат зустрічається досить рідко через певні технологічні труднощі, але швидко набирає популярність у міру вдосконалення технології.

Полікарбонат вимагає досить високої температури екструзії, що перевищує 300°C при друці на високій швидкості.

Зважаючи на високу гігроскопічності, безпосередньо перед друком може знадобитися просушка матеріалу. Для цього рекомендується витримати нитку протягом 8-10 годин при температурі в 70°C. В іншому випадку можливе виділення водяної пари при екструзії, замутніння матеріалу і підвищення усадки, що підвищує ризик деформацій. Навіть просушений полікарбонат вимагає використання робочого столика з підігрівом до 90°C-120°C.

Рекомендується використовувати поліімідну плівку (каптон) для кращого схоплювання першого шару з поверхнею робочого столика.

Для того, щоб зберегти прозорості матеріалу і щоб уникнути забивання сопла і розтріскування потрібно знайти правильний баланс температури екструзії і швидкості друку. При друку на швидкості в 30мм/с потрібно нагрів приблизно до 265с, 285с при 60мм/с, 300С при 80мм/с понад 305С при швидкості в 120мм / с. температура затвердіння полікарбонату становить близько 150С.

#### Безпека полікарбонату

Сам по собі полікарбонат безпечний, проте у виробництві цього матеріалу, як правило, використовується бісфенол в якості основної сировини. Бісфенол, в свою чергу, вельми токсичний навіть в невеликих обсягах, аж до спричинення онкологічних захворювань. На жаль, полікарбонати часто містять залишковий Бісфенол (хоч і в виключно малих обсягах), який виділяється при нагріванні. Відповідно, не рекомендується використання виробів з полікарбонату для зберігання гарячої їжі або напоїв. Обмежені заборони на використання полікарбонату в якості харчової тари вже введені в Канаді та країнах ЄС, а також розглядаються в США. Друк, в свою чергу, рекомендується здійснювати в добре провітрюваному приміщенні [17].

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		41

### 1.2.8 NinjaFlex для 3D-друку

Оригінальний матеріал, розроблений компанією Fenner Drives спеціально для використання в FDM-друці. Матеріал являє собою термопластичний еластомер з прекрасною гнучкістю. NinjaFlex володіє еластичністю гуми або силікону, але з високою міцністю на розрив і зносостійкістю. Твердість по Шору становить близько 80-85 за шкалою " А " - на рівні з гумовими прокладками для сантехніки або автомобільними шинами.

Друк NinjaFlex не представляє труднощів, таких як деформація при охолодженні. Усадка матеріалу невелика, а висока пластичність дозволяє уникати розшарування моделі або закручування шарів при нерівномірному охолодженні. З іншого боку, така ж пластичність може викликати певні проблеми з екструзією: якщо відстань між механізмом подачі і соплом занадто велика, нитки може не вистачити жорсткості, щоб проштовхнути розплавлений матеріал. Як результат, можливо згинання і закручування нитки в екструдері.

Найбільш надійним рішенням цієї проблеми є використання екструдерів з прямою подачею і невеликим діаметром валиків заради мінімальної відстані між приводом і хот-ендом. Тобто, не рекомендується використання "боуденівських" екструдерів, де проштовхуючий механізм відділяється від хот-енду " довгим гнучким патрубком, або ж потужних екструдерів з прямою подачею і великими шестернями – NinjaFlex не вимагає великої потужності механізму.

Якщо до друку NinjaFlex використовувалися тверді термопластики (наприклад, ABS), рекомендується "промити" хот-енд і сопло: просто проженіть достатню кількість NinjaFlex вхолосту, поки залишки попереднього матеріалу не будуть повністю видалені. Це допоможе запобігти проблемам з екструзією і сприятливо вплине на якість виготовленої моделі.

Рекомендована температура екструзії становить 210°C -230°C з підігрівом робочої платформи до 35°C. як правило, NinjaFlex легко схоплюється з платформою і між шарами. Проблем з печаттю перших шарів виникати не повинно [19].

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		42

### 1.2.9 Laywoo-D3 для 3D-друку

Спеціальний матеріал, розрахований на імітацію деревини. Фактично, Laywoo-D3 містить мікроскопічні частинки деревини, що і обумовлює унікальний зовнішній вигляд і деякі фізичні характеристики готових виробів. Обсяг натуральної деревини становить близько 40%.

В якості сполучного матеріалу використовується термопластик на зразок полілактіда (PLA). Як результат, матеріал легко піддається екструзії принтерами, оптимізованими для друку популярними PLA і ABS-пластиками.

Laywoo-D3 вельми невибагливий, не вимагає термічного контролю робочої камери або підігріву столика.

Температура екструзії варіюється від 185 °C до 230 °C. При цьому екструзія при відносно низькій температурі дає результат світлих відтінків, а при високій – темного кольору.

Таким чином, користувачі мають можливість візуально імітувати річні кільця за рахунок зміни температурного режиму в ході друку.

Матеріал прекрасно піддається механічній обробці, дозволяючи свердлити і шліфувати готові вироби. Крім того, Laywoo-D3 може бути пофарбований або лакований. Цікавий момент: так як для виробництва використовуються органічні матеріали, Laywoo-D3 не має характерного для ABS або нейлону «пластикового» запаху. Незабарвлені моделі мають запах натуральної деревини.

Також, використання органічних елементів означає відсутність шкідливих випарів при друці та нетоксичність готових виробів, що дозволяє друкувати харчову тару та іграшки.

Laywoo-D3 виробляється німецькою компанією RepRap GmbH за специфікаціями винахідника матеріалу, Кая Парті [20].

### 1.2.10 Laybrick для 3D-друку

Одним з переваг FDM-друку є можливість створення композитів, що імітують всілякі матеріали, включаючи деревину, метали і камінь. Laybrick-дітище відомого винахідника Кая Парті, творця популярного деревного

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		43

композиту Laywoo-D3. На цей раз Кай націлювся на створення імітатора пісковика.

Як і у випадку з Laywoo-D3, матеріал досить невибагливий, не вимагає високої температури екструзії або підігріву платформи. Усадка Laybrick також мінімальна, дозволяє уникати деформацій при охолодженні. В якості наповнювача використовується подрібнений крейда.

Цікавою властивістю Laybrick є різниця в текстурі при нагріванні до різних температур. Температурний діапазон екструзії становить 165°C-210°C. При низьких температурах моделі виходять досить гладкими, а в міру наближення до верхнього порогу стають шорсткими, набуваючи візуальну схожість з натуральним пісковиком. Рекомендується використання охолоджуючих вентиляторів, особливо при друкці у високотемпературному режимі.

Само собою, високий вміст поліефірів, використовуваних в якості основи, обумовлює більш легка вага матеріалу в порівнянні з натуральним аналогом і відповідні фізичні і хімічні характеристики. Таким чином, матеріал слід використовувати лише в якості візуального імітатора пісковика. Тим не менш, матеріал чудово підходить для виготовлення сувенірів або моделювання ландшафту і будівель в архітектурних макетах.

Готові моделі легко піддаються механічній обробці і фарбуванню. Вироби стійкі до температур до 70°C.

Рекомендується друк шарами товщиною від 100 до 400 мікрон.

Матеріал нетоксичний і не представляє небезпеки для здоров'я.

Laybrick досить довго застигає, тому після завершення друку необхідно почекати 2-3 години перед тим, як знімати модель зі столика. Час охолодження залежить від температури екструзії [21].

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		44

## 2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок часу охолодження ниті.

Під час екструзії нить матиме високу температуру, це означає, що її буде легко деформувати під час вимірювання товщини, намотуванні і витягуванні.

Для вирішення питання необхідно в екструдері додаткове охолодження чи ні потрібно розрахувати час охолодження до температури твердіння.

Розраховувати час будемо за допомогою метода Ньютона.

Наприкінці 17 століття британський вчений Ісаак Ньютон вивчав охолодження тіл. Експерименти показали, що швидкість охолодження приблизно пропорційна різниці температур між нагрітим тілом і навколишнім середовищем. Цей факт можна записати у вигляді диференціального рівняння:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha A(T_s - T) \quad (2.1.1)$$

Де  $Q$  - кількість теплоти,  $A$  - площа поверхні тіла, через яку передається тепло,  $T$  - температура тіла,  $T_s$  - температура навколишнього середовища,  $\alpha$  - коефіцієнт теплопередачі, що залежить від геометрії тіла, стану поверхні, режиму теплопередачі та інших факторів.

Оскільки  $Q=CT$ , де  $C$  - теплоємність тіла, то диференціальне рівняння можна записати як:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\alpha A}{c} (T_s - T) = k(T_s - T) \quad (2.1.2)$$

Розв'язок даного рівняння має вигляд:

$$T(t) = T_s + (T_0 - T_s)e^{-k*t} \quad (2.1.3)$$

де  $T_0$  позначає початкову температуру тіла.

Таким чином, температура тіла зменшується експоненціально в міру охолодження, наближаючись до температури навколишнього середовища. Швидкість охолодження залежить від параметра  $k = \frac{\alpha A}{c}$  (коефіцієнта теплопровідності). Зі збільшенням коефіцієнта  $k$  (наприклад, внаслідок збільшення площі поверхні), тіло буде охолоджуватися швидше [22].

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		45

Для прикладу у наші розрахунки візьмемо ПЄТ пластик. Тоді в нашому випадку коефіцієнт  $k=0,15 \text{ Вт/(м*К)}$  [23].

Зробимо табличку на шістдесят секунд з інтервалом в одну секунду (Табл. 2.1.1) та підставимо значення у рівняння.

Таблиця 2.1.1. Залежність температури з часом.

С.	Темп.	С.	Темп.	С.	Темп.	С.	Темп.
0	270,00	15	50,82	30	27,72	45	25,29
1	235,87	16	47,23	31	235,87	46	25,25
2	206,50	17	44,13	32	206,50	47	25,21
3	181,22	18	41,47	33	181,22	48	25,18
4	159,46	19	39,17	34	159,46	49	25,16
5	140,73	20	37,20	35	140,73	50	25,14
6	124,61	21	35,50	36	124,61	51	25,12
7	110,73	22	34,04	37	110,73	52	25,10
8	98,79	23	32,78	38	98,79	53	25,09
9	88,51	24	31,69	39	88,51	54	25,07
10	79,67	25	30,76	40	79,67	55	25,06
11	72,05	26	29,96	41	72,05	56	25,06
12	65,50	27	29,27	42	65,50	57	25,05
13	59,86	28	28,67	43	59,86	58	25,04
14	55,00	29	28,16	44	55,00	59	25,04

Отримаємо значення зменшення температури, які підставимо у графік (Рис. 2.1.1).

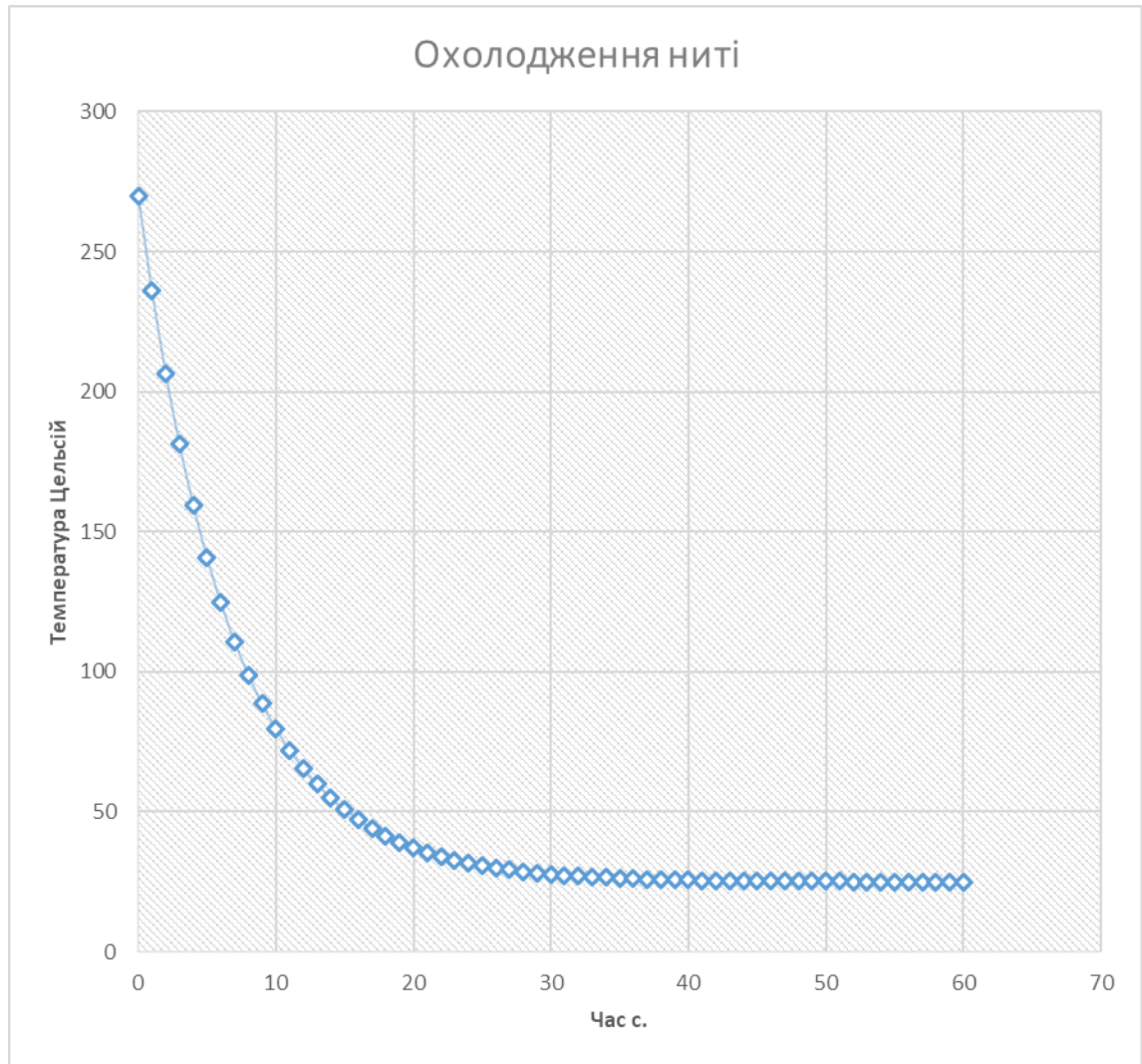


Рисунок 2.1.1. Зміна температури з часом.

На графіку можна побачити, що температура спадає дуже швидко, і для того, щоб нить стала твердою її можна було виміряти необхідно зачекати 12 секунд, так як температура твердіння пластику ПЕТ складає приблизно 70 градусів Цельсія.

Визначимо чи вистачить цього часу.

За характеристиками ми повинні за одну годину виготовити один кілограм ниті.

Знайдемо, яку довжину складатиме один кілограм готової ниті. Для розрахунку використаємо два рівняння, рівняння об'єму від щільності та об'єм циліндру. Почнемо з рівняння об'єму від маси та щільності.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2.1.4)$$

Де  $V$  – Об’єм,  $\rho$  – Щільність матеріалу,  $m$  – Маса.

Наступне рівняння об’єму циліндру. Воно рівне:

$$V = \pi * h * r^2 \quad (2.1.5)$$

Де  $\pi$  – стала,  $h$  - висота циліндру,  $r$  – радіус циліндру.

Відомі наступні дані:  $m = 1$  кілограм,  $\rho = 1270$  кілограм на метр кубічний,  $r = 0,000875$  метрів [24].

Об’єднаємо два рівняння та підставимо значення:

$$h = \frac{m}{\pi * \rho * r^2} \quad (2.1.6)$$

$$h = \frac{1}{\pi * 1270 * 0.000875^2} = 327.36 \text{ м.}$$

Отже, при максимальній швидкості виготовлення швидкість  $V$  ниті може складати:

$$v = \frac{h}{t} \quad (2.1.7)$$

$$v = \frac{327.36}{3600} \approx 0.0909 \approx 9.09 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Висновок. Враховуючи, що відстань від сопла до датчика товщини і витягаючого пристрою складає 30 см нам не вистачає часу для охолодження. Тож між соплом та витягаючим пристроєм необхідно додатково встановити охолоджувач ниті.

## 2.2 Програмне забезпечення екструдеру

В даному розділі буде розглянуто програмний код за допомогою якого виконуються всі операції в екструдері.

Для роботи екструдера та всіх його компонентів необхідний мікроконтролер та програма, яка буде виконувати всі обчислення. Він буде виконувати такі операції як: вводити та виводити інформацію на екран, знімати данні з датчиків та керувати двигунами.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		48



Наша керуюча плата працює на восьмибітному AVR мікроконтролері ATmega328P від виробника Atmel (Рис. 2.2.1). Він має актову частоту 16 МГц, 8 Кбайт пам'яті, 1024 байти оперативної пам'яті, напругу живлення 5 вольт, 10-бітний АЦП та 8-бітний ЦАП. Цього мікроконтролера для даних обчислень вистачить більше ніж необхідно [25].

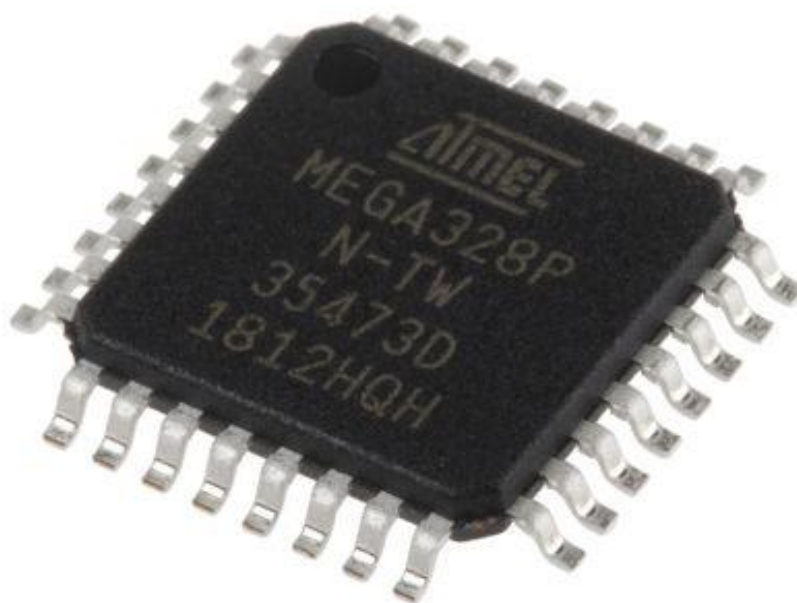


Рис. 2.2.1 Мікроконтролер ATmega328P.

Ввід та вивід інформації здійснюється за допомогою програмуючого сенсорного екрану Nextion 2.8 (Рис. 2.2.2).

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		49



Рис. 2.2.2 Екран Nextion 2.8.

Він має наступні характеристики [26]:

- Розширення екрану – 320x240 пікселів;
- Сенсорна резистивна панель;
- Відтінків кольору – 65536;
- Пам'ять – 4 Мбайт;
- Оперативна пам'ять – 3584 байт;
- Тактова частота – 48 МГц.

За допомогою цього екрану ми зможемо вибрати режим роботи з матеріалом із запропонованого списку команд або ж виставити нестандартні настройки для роботи екструдера таких як температура сопла чи товщина ниті.

Також на цей екран буде виведена інформація про стані роботи в реальному часі. Робочий екран буде мати наступний інтерфейс (Рис. 2.2.3).

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		50

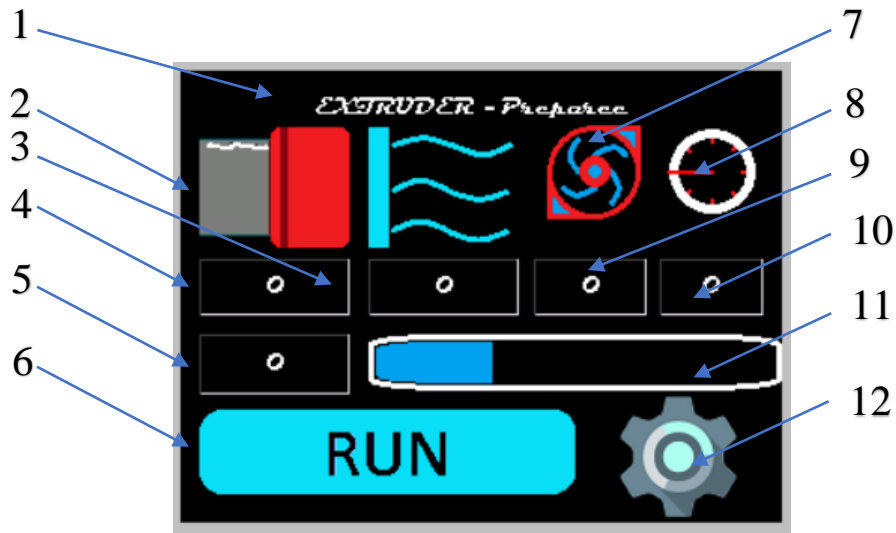


Рис. 2.2.3. Робочий інтерфейс екструдеру.

На (Рис. 2.2.3) Зображено інтерфейс, де виводиться інформація про:

1. Стан екструдеру Готується/готовий;
2. Зображення хот-енда;
3. Температура охолоджуючої рідини;
4. Температура сопла, яка виставлена у програмі;
5. Температура сопла реальна;
6. Кнопка для початку або зупинки роботи екструдеру;
7. Стан роботи насосу;
8. Шкала швидкості обертів витягуючого ролика.
9. Температура охолоджуючої рідини реальна;
10. Товщина ниті в даний момент;
11. Шкала заповнення бобини;
12. Кнопка переходу в налаштування.

Налаштування мають наступний вид (Рис. 2.2.4).

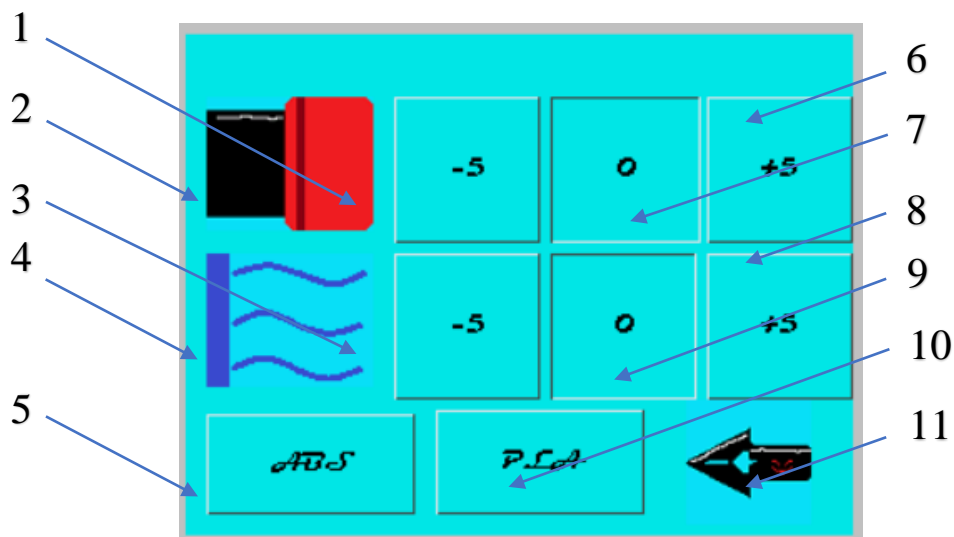


Рис. 2.2.4. Інтерфейс сторінки налаштування.

На (Рис. 2.2.4) зображено меню, у яке ми потрапляємо при натисканні на кнопку «налаштування». На зображенні розташовані наступні елементи:

1. -5 градусів в налаштуваннях температури сопла;
2. Зображення сопла;
3. -5 градусів в налаштуваннях температури охолоджувача;
4. Зображення охолоджувача;
5. Кнопка, яка одразу виставляє налаштування на ABS пластик;
6. +5 градусів в налаштуваннях температури сопла;
7. Поточний вибір температури сопла;
8. +5 градусів в налаштуваннях температури охолоджувача;
9. Поточний вибір температури охолоджувача;
10. Кнопка, яка одразу виставляє налаштування на PLA пластик;
11. Кнопка «назад» до основного меню.

В якості датчика температури сопла та охолоджувача обрали наступний терморезистор – NTC 100K.

Терморезистор (або термістор) - це такий резистор, який змінює свій електричний опір в залежності від температури.

Існує два види термісторів: PTC - з позитивним температурним коефіцієнтом, і NTC - з негативним. Позитивний коефіцієнт означає, що з

підвищенням температури опір термістора зростає. NTC-термістор поводитьсь протилежним способом.

Також термістори відрізняються номінальним опором, яке відповідає кімнатній температурі - 25 C°. Наприклад, популярними є термістори з номіналом 100 кОм і 10 кОм. Такі термістори часто використовують в 3D-принтерах. Ми будемо використовувати термістор на 100 кОм.

Підключення термістора до Ардуіно

Щоб виміряти опір термістора, підключимо його в якості нижнього плеча дільника напруги. Середню ж точку дільника підключимо до аналогового входу Ардуіно — А0 (Рис. 2.2.5).

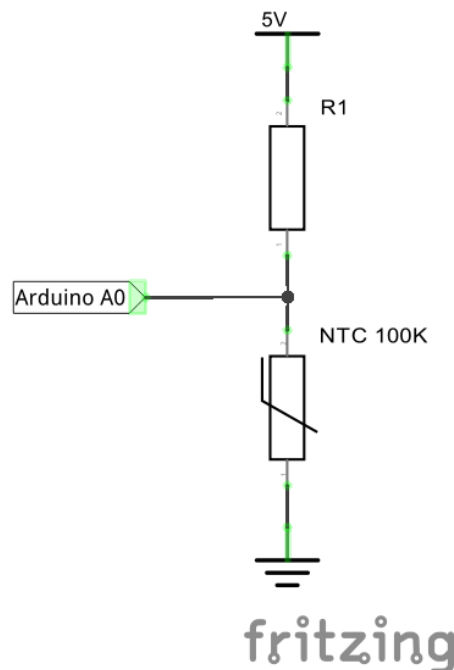


Рис. 2.2.5. Принципова схема підключення.

Програма для обчислення температури на термісторі

Щоб обчислити значення температури використовують формулу

Стейнхарта-Харта:

$$\frac{1}{T} = A + B * \ln(R) + C (\ln(R))^3 \quad (2.2.1)$$

Рівняння має параметри А, В і С, які потрібно брати з специфікації до датчика. Так як нам не потрібно великої точності, можна скористатися модифікованим рівнянням (В-рівняння):

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} * \ln\left(\frac{r}{R_0}\right) \quad (2.2.2)$$

У цьому рівнянні невідомим залишається тільки параметр, у який для НТС термістора дорівнює 3950. Інші параметри нам вже відомі:

- T0-кімнатна температура в Кельвінах, для якої вказується номінал термістора;
- T0 = 25 + 273.15;
- T-шукана температура, в Кельвінах;
- R-вимірний опір термістора в Омах;
- R0-номінальний опір термістора в Омах.

Модифікуємо програму для Ардуіно, додавши розрахунок температури (Рис. 2.2.6).

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

```

#define B 3950 // B-коэффициент
#define SERIAL_R 102000 // сопротивление последовательного резистора, 102 кОм
#define THERMISTOR_R 100000 // номинальное сопротивления термистора, 100 кОм
#define NOMINAL_T 25 // номинальная температура (при которой TR = 100 кОм)

const byte tempPin = A0;

void setup() {
  Serial.begin( 9600 );
  pinMode( tempPin, INPUT );
}

void loop() {
  int t = analogRead( tempPin );
  float tr = 1023.0 / t - 1;
  tr = SERIAL_R / tr;
  Serial.print("R=");
  Serial.print(tr);
  Serial.print(", t=");

  float steinhart;
  steinhart = tr / THERMISTOR_R; // (R/Ro)
  steinhart = log(steinhart); // ln(R/Ro)
  steinhart /= B; // 1/B * ln(R/Ro)
  steinhart += 1.0 / (NOMINAL_T + 273.15); // + (1/To)
  steinhart = 1.0 / steinhart; // Invert
  steinhart -= 273.15;
  Serial.println(steinhart);

  delay(100);
}

```

Рис. 2.2.6. Код програми обчислення температури на ардуіно.

Для обчислення значення наповненості котушки я використав потенціометр номіналом 10 кОм (Рис. 2.2.7) на якому закріплено важіль.



Рис. 2.2.7. Потенціометр на 10 кОм.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		55

Як ми бачимо на зображенні центральна ніжка йде у аналоговий вхід мікроконтролера де він і буде перераховувати опір у відповідну величину наповненості.

Для розрахунку кількості обертів на ролику витягаючого механізму я використав магнітний датчик А3144.

А3144 – це цифровий однополярний датчик, що працює на ефекті Холла, суть якого полягає у тому, що при переміщенні в магнітне поле деякого провідника з постійним струмом, в цьому провіднику виникає поперечна різниця потенціалів. Також називає холловською напругою. Живлення 4,5-24В.

Характеристика [27]:

- Висока температурна стабільність, може використовуватися в автомобільній індустрії
- Тип датчика: уніполярний (низький стан виходу відповідає прикладеному південному полюсу магніту, високий - видаленню магніту; на північний полюс датчики не реагують)
- Робоча напруга 4,5 - 24 В
- Цифровий вихід 25 мА, сумісний з цифровою логікою
- Захист від переплюсовки харчування
- Працює з малими магнітами
- Висока надійність
- Малий розмір

Частина програми, яка виконує розрахунок обертів за хвилину працює по перериванню та має наступний вигляд (Рис. 2.2.8).

```
123 void sens() { // RPM //
124     RPM=60/((float)(micros()-lastflash)/1000000); //расчет
125     lastflash=micros(); //запомнить время последнего оборота
126     delay(50); //задержка для стабильности
127     RPM=constrain(RPM, 0, 360);
128 }
```

Рис. 2.2.8. Частина коду, яка рахує RPM.

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		56



Програма на якому працює екструдер починається з об'яви перемінних(Рис. 2.2.9, Рис. 2.2.10, Рис. 2.2.11).

```

1 // Переменные для фильтра температуры воды
2 float errmeasure = 610.56; // разброс измерения
3 float errestimate = 610.56; // разброс оценки
4 float q = 1; // скорость изменения значений
5 float currentestimate1 = 0.0;
6 float lastestimate1 = 0.0;
7 float kalmangain1 = 0.0;
8
9 // Переменные для фильтра температуры сопла
10 float currentestimate2 = 0.0;
11 float lastestimate2 = 0.0;
12 float kalmangain2 = 0.0;
13
14 // Переменные для фильтра датчика толщины
15 float errmeasure3 = 610.56; // разброс измерения
16 float errestimate3 = 610.56; // разброс оценки
17 float q3 = 1; // скорость изменения значений
18 float currentestimate3 = 0.0;
19 float lastestimate3 = 0.0;
20 float kalmangain3 = 0.0;
21
22 // Значения для измерения с термистора
23 #define B 3950 // В-коэффициент
24 #define SERIAL_R 102000 // сопротивление последовательного резистора, 102 кОм
25 #define THERMISTOR_R 100000 // номинальное сопротивление термистора, 100 кОм
26 #define NOMINAL_T 25 // номинальная температура (при которой TR = 100 кОм)
27
28 // Библиотека шагового двигателя
29 #define STEPS 64 // Количество шагов мотора за один оборот
30 Stepper stepper(STEPS, 7, 8, 11, 12); // Контакты шагового двигателя
31 int motor_Speed; // Скорость вращения шагового двигателя
32
33
34 int speed_Val; // Скорость вращения вала

```

Рис. 2.2.9. Об'ява перемінних.

На (рис. 2.2.9) створенні такі перемінні, які застосовуються при обробці фільтрації значення з датчика температури води, фільтрації значення з датчика температури сопла, фільтрації значень з датчика товщини, значення, які необхідні для точного розрахунку з термісторів, бібліотека та значення для роботи з шаговим двигуном, який буде виконувати функцію направляючої при намотуванні на котушку, та перемінна швидкості обертання валу.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		57

```

37 int i; // Просто переменная
38 int j; // Переменная для millis
39 int infoE = 1; // Вывод информации на экран
40 int infoP = 0; // Вывод информации в порт
41
42
43 boolean Work; // Переменная работы
44
45 // RPM //
46 unsigned long lastflash; // Переменная для функции оборотов
47 int RPM; // Обороты за минуту
48
49
50 int PWM_Motor_Katushka = 3; // Контакт мотора катушки
51 int BOOLEAN_Nosos_ventilyator = 4; // Контакт Насоса и вентилятора
52 int PWM_Motor_Natajka = 5; // Контакт мотора натяжки
53 int PWM_Motor_Val = 6; // Контакт мотора вала
54 int BOOLEAN_Nagrev = 10; // Контакт нагревателя
55 int Buzer = 11; // Контакт динамика
56
57
58 int POT_Nataga = A0; // Потенциометр натяга
59 int DAT_Thickness = A1; // Контакт датчика толщины нити
60 int POT_Katushki = A2; // Потенциометр заполнения катушки
61 int DAT_Temp_Vodu = A3; // Датчик температуры воды
62 int Dat_Temp_Sopla = A6; // Датчик температуры сопла
63
64
65 // Катушка //
66 int pot_Kat;
67 int napolnenie_Kat;
68 int speed_Kat;
69
70
71 // Подтажка //
72 int pot_Podtajka;
73 int speed_Podtajka;

```

Рис. 2.2.10. Об'ява перемінних.

```

76 // Толщина //
77 int dat_Tolsh;
78 int tolsh;
79 int waiting;
80 int read_Tolch;
81 int step_waiting;
82
83
84 // Температура воды //
85 int cold;
86 int dat_Vodu;
87 int temp_Vodu;
88 int nasos;
89
90 // Температура сопла //
91 int hot;
92 int dat_Sopla;
93 int temp_Sopla;
94 boolean soplo;
95
96
97 int Old_nasos;
98 int Old_temp_Vodu;
99 int Old_tolsh;
100 int Old_temp_Sopla;
101 int Old_RPM;
102 int Old_napolnenie_Kat;
103 boolean Old_soplo;

```

Рис. 2.2.11. Об'ява перемінних.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		58

На (Рис. 2.2.10) створенні перемінні, які приймають участь у внутрішніх операціях мікроконтролера, у розрахунку кількості обертів ролика, у обертанні котушки та натяжки. Також мікроконтролеру надається інформація, на які виходи що підключено.

На (Рис. 2.2.11) перелічені перемінні для роботи з розрахунком товщини ниті, температури води, температури сопла, насосом та заповненням котушки.

Для роботи мікроконтролеру при запуску потрібні початкові умови (Рис 2.2.12.).

```
106 void setup() {  
107   Serial.begin(9600); //открыть порт  
108   attachInterrupt(0,sens,RISING); //подключить прерывание на 2 пин при повышении сигнала  
109   //detachInterrupt(0);  
110  
111   pinMode(3, OUTPUT);  
112   pinMode(4, OUTPUT);  
113   pinMode(5, OUTPUT);  
114   pinMode(6, OUTPUT);  
115   pinMode(10, OUTPUT);  
116   pinMode(11, OUTPUT);  
117  
118   Work = HIGH;  
119 }
```

Рис. 2.2.12. Початкові умови при увімкненні живлення.

На (рис 2.2.12) зображено, які контакти ардуіно підключаються як виходи, задається швидкість передачі інформації 9600 бод, та другий пін підключити як переривання.

Перед основним циклом повідомляємо мікроконтролеру про 6 функцій:

1. Розрахунок кількості обертів за хв (Рис. 13);
2. Сигнал про несправність (Рис. 14);
3. Функція фільтрації температури сопла (Рис.15);
4. Функція фільтрації температури охолоджувача (Рис.16);
5. Функція фільтрації товщини (Рис 17);
6. Розрахунок температури з датчика методом Стейнхарта-Харта (Рис. 2.2.13).

```
123 void sens() { // RPM //  
124   RPM=60/((float)(micros()-lastflash)/1000000); //расчет  
125   lastflash=micros(); //запомнить время последнего оборота  
126   delay(50); //задержка для стабильности  
127   RPM=constrain(RPM, 0, 360);  
128 }
```

Рис 2.2.13. Обчислення кількості обертів.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		59

На (рис 2.2.13) частина коду, яка спрацьовує при надходженні сигналу на 2 пін. Коли сигнал поступає, мікроконтролер робить розрахунок скільки пройшло часу з попереднього моменту та видає на результат у кількості обертів за хвилину.

```
131 void alarm() { // ВІР //
132     tone(Buzzer, 800, 5000);
133 }
```

Рис 2.2.14. Сигнал небезпеки.

Коли щось працює несправна або заповнилась котушка викликається ця функція, яка подає тональний сигнал на динамік.

```
137 float filter1(int value) { // функція фільтрації //
138     kalmangain1 = errestimate / (errestimate + errmeasure);
139     currentestimate1 = lastestimate1 + kalmangain1 * (value - lastestimate1);
140     errestimate = (1.0 - kalmangain1) * errestimate + fabs(lastestimate1 - currentestimate1) * q;
141     lastestimate1 = currentestimate1;
142     return currentestimate1;
143 }
```

Рис. 2.2.15. Функція фільтрації з датчика температури сопла.

```
146 float filter2(int value) { // функція фільтрації //
147     kalmangain2 = errestimate / (errestimate + errmeasure);
148     currentestimate2 = lastestimate2 + kalmangain2 * (value - lastestimate2);
149     errestimate = (1.0 - kalmangain2) * errestimate + fabs(lastestimate2 - currentestimate2) * q;
150     lastestimate2 = currentestimate2;
151     return currentestimate2;
152 }
```

Рис. 2.2.16. Функція фільтрації з датчика температури охолоджувача.

```
155 float filter3(int value) { // функція фільтрації //
156     kalmangain3 = errestimate3 / (errestimate3 + errmeasure3);
157     currentestimate3 = lastestimate3 + kalmangain3 * (value - lastestimate3);
158     errestimate3 = (1.0 - kalmangain3) * errestimate3 + fabs(lastestimate3 - currentestimate3) * q3;
159     lastestimate3 = currentestimate3;
160     return currentestimate3;
161 }
```

Рис. 2.2.17 Функція фільтрації з датчика товщини.

На зображеннях згори продемонстровані 3 функції фільтрації, які мають автоналаштування і виконують роль відсічення випадкових перепадів напруги, а також згладжування шумів.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		60

```

164 float func_steinhart(int t) { // Temp //
165     float tr = 1023.0 / t - 1;
166     tr = SERIAL_R / tr;
167     //Serial.print("R=");
168     //Serial.print(tr);
169     //Serial.print(", t=");
170
171     float steinhart;
172     steinhart = tr / THERMISTOR_R; // (R/Ro)
173     steinhart = log(steinhart); // ln(R/Ro)
174     steinhart /= B; // 1/B * ln(R/Ro)
175     steinhart += 1.0 / (NOMINAL_T + 273.15); // + (1/To)
176     steinhart = 1.0 / steinhart; // Invert
177     steinhart -= 273.15;
178     //Serial.println(steinhart);
179
180     //delay(100);
181     return steinhart;
182 }

```

Рис. 2.2.18. Функція обчислення термістора.

На (рис. 2.2.18) зображена функція обчислення опору термістора,, яка потім конвертується у зрозумілі нам градуси Цельсія.

Розглянемо частину коду, яка йде циклічно.

На початку циклу контролер перевіряє надходить чи у порт інформація з екрану (Рис 2.2.19). Якщо на вході наявний сигнал то він його зчитує та перевіряє з заданими умовами. Виходячи з того, яка команда прийшла до контролера він буде вирішувати наступні дії.

```

185 void loop() {
186
187     if(Serial.available()>0) { // Если есть данные принятые от дисплея, то ...
188         String str; // Объявляем строку для получения этих данных
189         while(Serial.available()){str+=char(Serial.read()); delay(10);} // Читаем принятые от дисплея данные байтно в строку str
190         for(i=0; i<str.length(); i++){ // Проходимся по каждому символу строки str
191             if(memcmp(str[i],"info+",6)==0) {i+=2; infoP = 1; }else
192             if(memcmp(str[i],"info-",6)==0) {i+=2; infoP = 0; }else
193             if(memcmp(str[i],"info+",6)==0) {i+=2; infoE = 1; }else
194             if(memcmp(str[i],"info-",6)==0) {i+=2; infoE = 0; }else
195             if(memcmp(str[i],"RUN", 3)==0) {i+=1; Work = HIGH; }else
196             if(memcmp(str[i],"STOP", 4)==0) {i+=2; Work = LOW; }else
197             if(memcmp(str[i],"abs", 3)==0) {i+=2; hot = 250; cold = 50; }else
198             if(memcmp(str[i],"pla", 3)==0) {i+=2; hot = 210; cold = 60; }else
199             if(memcmp(str[i],"hot-", 4)==0) {i+=2; hot = hot - 5; }else
200             if(memcmp(str[i],"hot+", 4)==0) {i+=2; hot = hot + 5; }else
201             if(memcmp(str[i],"cold-",5)==0) {i+=2; cold = cold - 5; }else
202             if(memcmp(str[i],"cold+",5)==0) {i+=2; cold = cold + 5; }
203         }
204     }

```

Рис. 2.2.19. Перевірка чи надходить зовнішні команди.

Ми бачимо, що якщо в порт надійде команда то він виконить одну з наступних дій:

1. Виведе у порт комп'ютера всю інформацію, яка рахується у контролері;
2. Припинить вивід інформації у порт комп'ютера;
3. Виведе інформацію на екран екструдера;

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

4. Припинить вивід інформації на екран комп'ютера;
5. Старт роботи екструдера;
6. Стоп роботи екструдера;
7. Обраний матеріал АБС. Переводить налаштування на роботу з цим матеріалом;
8. Обраний матеріал ПЛА. Переводить налаштування на роботу з цим матеріалом;
9. Зменшити температуру сопла на 5 градусів;
10. Збільшити температуру сопла на 5 градусів;
11. Зменшити температуру охолоджувача на 5 градусів;
12. Збільшити температуру охолоджувача на 5 градусів.

Далі він зчитує інформацію з усіх датчиків та за необхідністю конвертує її.

На (Рис. 2.2.20) зображено код, який зчитує інформацію з потенціометра котушки, та переводить ці значення у відсотки.

```

214 if (1 == 1) { // Датчик наповнення катушки //
215     pot_Kat = analogRead(POT_Katushki);
216     pot_Kat = constrain(pot_Kat, 100, 900);
217     napolnenie_Kat = map(pot_Kat, 100, 900, 0, 100);
218     if (napolnenie_Kat > 95) {
219         alarm();
220     }
221 }

```

Рис. 2.2.20. Розрахунок наповненості катушки.

На (Рис. 2.2.21) зображено зчитування інформації з датчика, який необхідний для регулювання швидкості обертання катушки.

```

224 pot_Podtajka = analogRead(POT_Nataga); // Датчик підтяжки нити //

```

Рис. 2.2.21. Зняття інформації з датчика підтяжки ниті.

На (Рис. 2.2.22) зображено частину коду де відбувається вимірювання товщини ниті. Так як ми міряємо її товщину через 30 см від сопла, ми маємо певну затримку, яку необхідно враховувати при вимірюванні. Ця затримка вимірюється у часі, через який можна знову провести вимір товщини. Знаходиться дана затримка за допомогою інформації кількості обертів та діаметру ролику, який витягує цю саму нить.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		62

```

227 | if (1 == 1){ // Датчик товщини //
228 |
229 |     waiting = 143239 / RPM; // Время через которую делать замер толщины 30см //
230 |     if (tolsh > 200 || tolsh < 150){
231 |         step_waiting = 10;
232 |     } else {
233 |         step_waiting = 1;
234 |     }
235 |     waiting = waiting/step_waiting;
236 |
237 |     if (read_Tolch + waiting > millis()){
238 |         read_Tolch = millis();
239 |         dat_Tolsh = analogRead(DAT_Thickness);
240 |         //dat_Tolsh = filter3(dat_Tolsh);
241 |         dat_Tolsh = constrain(dat_Tolsh, 285, 423);
242 |         tolsh = map(dat_Tolsh, 285, 423, 315, 0);
243 |     }
244 | }

```

Рис. 2.2.22. Зчитування товщини ниті.

Для зняття показання з датчика температури сопла та охолоджуючої рідини використовуються наступні коди (Рис. 2.2.23) (Рис. 2.2.24). У них ми виміряємо, який опір, який відповідний поточній температурі, потім фільтруємо його, щоб прибрати похибки та переводимо опір у температуру по Цельсію за допомогою формули Стейнхарта-Харта.

```

247 | if (1 == 1){ // Датчик температури води //
248 |     dat_Vodu = analogRead(DAT_Temp_Vodu);
249 |     dat_Vodu = filter1(dat_Vodu);
250 |     temp_Vodu = func_steinhart(dat_Vodu);
251 | }

```

Рис. 2.2.23. Вимірювання температури охолоджуючої рідини.

```

254 | if (1 == 1){ // Датчик температури сопла //
255 |     dat_Sopla = analogRead(Dat_Temp_Sopla);
256 |     dat_Sopla = filter2(dat_Sopla);
257 |     temp_Sopla = func_steinhart(dat_Sopla);
258 | }

```

Рис. 2.2.24. Вимірювання температури сопла.

Після того як ми зчитали всю інформацію з датчиків та деяку з них перетворили у необхідні величини ми можемо за запитом відправити їх на екран комп'ютера. Виконується це наступним чином (Рис. 2.2.25).

```

261 | if (infoP == 1){ // Вывод информации датчиков в порт//
262 |     Serial.print((String)" Заполнение Катушки - " + (int)napolnenie_Kat+ ""); //вывод в порт наполнение катушки
263 |     Serial.print((String)" Ускорение Катушки - " + (int)pot_Podtajka+ ""); //вывод в порт сигнал для работы катушки
264 |     Serial.print((String)" Толщина - " + (int)tolsh+ ""); //вывод в порт толщины
265 |     Serial.print((String)" Темп Воды - " + (int)temp_Vodu+ ""); //вывод в порт температура воды
266 |     Serial.print((String)" Темп Сопла - " + (int)temp_Sopla+ ""); //вывод в порт температура сопла
267 |     Serial.print((String)" RPM - " + (int)RPM+ ""); //вывод в порт RPM вала
268 | }

```

Рис. 2.2.25. Відправлення інформації у порт комп'ютера.

Настав час мікроконтролеру аналізувати цю інформацію та розбиратися, що робити з нею далі. Якщо напередодні цього поступила інформація

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		63

приступити до роботи то буде виконуватися наступна частина програми (Рис. 2.2.26). Тут ми визначаємо, які величини необхідно змінити для подальшої роботи, в свою чергу ці величини впливають на швидкість моторів, роботу насосів, положенню шагового двигуна та температуру сопла.

Якщо ж раніше не було такої команди і екструдер знаходиться у вимкненому стані то працює наступна частина коду (Рис. 2.2.27). В ній всі двигуни вимикаються та нагрівний елемент переходить в режим очікування.

```

274 # if ( Work == HIGH ){ // ON //
275
276
277
278 # if ( pot_Podtajka > 550 && speed_Kat < 255 ){ // Мотор котушки //
279     speed_Kat++;
280 } else if (pot_Podtajka < 450 && speed_Kat > 0) {
281     speed_Kat--;
282 }
283
284
285 # if (napolnenie_Kat > 98){ // Мотор котушки заповнен //
286     speed_Kat = 0;
287 }
288
289
290 # if (temp_Vodu > cold + 5){ // Мотор насоса/вентилятора //
291     nasos = 1;
292 } else if (temp_Vodu < cold - 5){
293     nasos = 0;
294 }
295
296
297 # if (temp_Sopla < hot - 5){ // Нагреватель //
298     soplo = HIGH;
299 } else if (temp_Sopla > hot + 5){
300     soplo = LOW;
301 }
302
303
304 # if ( tolsh > 187 && speed_Podtajka > 0 ){ // Мотор натяжи из сопла //
305     speed_Podtajka--;
306 } else if (tolsh < 183 && speed_Podtajka < 255) {
307     speed_Podtajka++;
308 }
309
310
311     speed_Val = 255; // Мотор вала //
312
313
314     motor_Speed = 100; // map it to a range from 0 to 100: // Шаговый двигатель //
315
316 }

```

Рис. 2.2.26. Частина програми коли екструдер працює.

```

319 # if ( Work == LOW ){ // OFF //
320     speed_Val = 0;
321     motor_Speed = 0; // stepper napravleniya
322 }

```

Рис. 2.2.27. Частина програми коли екструдер не працює.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		64



Нарешті настав час коли вся інформація з датчиків зчитана, всі керуючі величини пораховані і можна перейти до етапу виконання програми дій (Рис. 2.2.28). В ній мікроконтролер за заданими величинами обертає мотор котушки, мотор розтягу, мотор валу, шаговий мотор, вентилятора та насоса, а також курування нагрівача.

```

325 if (1 == 1) { // Действия //
326     analogWrite(PWM_Motor_Katushka, speed_Kat);
327     digitalWrite(BOOLEAN_Nosos_ventilyator, nasos);
328     analogWrite(PWM_Motor_Natajka, speed_Podtajka);
329     analogWrite(PWM_Motor_Val, speed_Val);
330     if (motor_Speed > 0) {
331         stepper.setSpeed(motor_Speed); // set the motor speed:
332         stepper.step(STEPS / 100); // step 1/100 of a revolution:
333     }
334     digitalWrite(BOOLEAN_Nagrev, soplo);
335 }

```

Рис. 2.2.28. Частина коду да відбуваються дії над механічними частинами.

В цій частині коду ми за запитом можемо відправити до комп'ютеру інформацію про стан всіх механічних частин (Рис. 2.2.29).

```

338 if (infoP == 1) { // Вывод информации действий в порт //
339     Serial.print((String)" Работа - " + (boolean)Work + ""); // Режим работы
340     Serial.print((String)" Скорость Катухки - " + (int) speed_Kat + ""); // Скорость вращения катушки
341     Serial.print((String)" Насос - " + (int) nasos + ""); // Режим работы насоса
342     Serial.print((String)" Скорость Подтяжки - " + (int) speed_Podtajka + ""); // Скорость натяжки нити
343     Serial.print((String)" Скорость Вала - " + (int) speed_Val + ""); // Скорость вращения вала
344     Serial.print((String)" Скорость Шагового - " + (int) motor_Speed + ""); // Скорость вращения шагового двигателя
345     Serial.print((String)" Сопло - " + (boolean) soplo + ""); // Режим работы нагревателя сопла
346     int k = millis();
347     int p = k-j;
348     j = k;
349     Serial.print((String)" millis="+ (int)p + "");
350     Serial.println();
351 }

```

Рис. 2.2.29. Відправка інформації до комп'ютеру.

В останній частині коду ми відправляємо всю необхідну інформацію на екран екструдеру (Рис. 2.2.30). За необхідністю цю функцію можна вимкнути.

Інформація, яка передається має наступний характер:

- Інформація про стан насосу;
- Інформація про температуру води;
- Інформація про товщину ниті;
- Інформація про температуру сопла;
- Інформація про кількість обертів за хвилину ролика;
- Інформація про наповнення котушки;

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		65

- Інформація про готовність до роботи.

```
353 | if (infoE == 1) { // Вивод інформації на екран //
354 |
355 |
356 |     if (Old_nasos != nasos) {
357 |         Old_nasos = nasos;
358 |         Serial.print((String) "page0.bt0.val="+nasos+" " +char(255)+char(255)+char(255));
359 |     }
360 |     if (Old_temp_Vodu != temp_Vodu) {
361 |         Old_temp_Vodu = temp_Vodu;
362 |         Serial.print((String) "page0.n2.val=" +temp_Vodu+" " +char(255)+char(255)+char(255));
363 |     }
364 |     if (Old_tolsh != tolsh) {
365 |         Old_tolsh = tolsh;
366 |         Serial.print((String) "page0.n3.val=" +tolsh+" " +char(255)+char(255)+char(255));
367 |     }
368 |     if (Old_temp_Sopla != temp_Sopla) {
369 |         Old_temp_Sopla = temp_Sopla;
370 |         Serial.print((String) "page0.n4.val=" +temp_Sopla+" " +char(255)+char(255)+char(255));
371 |     }
372 |     if (Old_RPM != RPM) {
373 |         Old_RPM = RPM;
374 |         Serial.print((String) "page0.z0.val="+RPM+" " +char(255)+char(255)+char(255));
375 |     }
376 |     if (Old_napolnenie_Kat != napolnenie_Kat) {
377 |         Old_napolnenie_Kat = napolnenie_Kat;
378 |         Serial.print((String) "page0.j0.val="+napolnenie_Kat+" " +char(255)+char(255)+char(255));
379 |     }
380 |
381 |     if (Old_soplo != soplo) {
382 |         if (soplo == LOW) {
383 |             Serial.print((String) "page0.t1.txt="+''+"Ready"+'''+char(255)+char(255)+char(255));
384 |         } else {
385 |             Serial.print((String) "page0.t1.txt="+''+"Prepare"+'''+char(255)+char(255)+char(255));
386 |         }
387 |     }
388 | }
```

Рис. 2.2.30. Вивід необхідної інформації на екран екструдера.

### 2.3 Дослідження аеродинамічних властивостей камери обдуву

Коли екструдер почне працювати та в бункері буде насипано матеріал з сопла буде виходити тонка нить, яка згодом вимірюється та намотується на бобину. Для того, щоб розплавити та продавити пластмас через філь'єру можуть знадобитись температури до 300 градусів, а температура твердіння в них близько 100-110 градусів. Так як відстань від кінчика сопла до місця де проходить вимірювання та ролик витягування невелика, потрібно забезпечити охолодження ниті.

Мною було прийняте рішення використати повітряне охолодження на виході з сопла.

Були розроблені три варіанти камери всередині якої знаходились лопатки. Камера мала конусну форму для збільшення швидкості потоку, а лопатки, які

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

знаходяться всередині призначені для розподілення да направлення потоку. Варіанти відрізнялися формою лопаток.

Характеристики камери обдуву були створені і віртуально промодельовані в програмному середовищі «SolidWorks».

SolidWorks (солідворкс, від англ. Solid - тверде тіло і англ. Works - працювати) - програмний комплекс САПР для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Забезпечує розробку виробів будь-якого ступеня складності і призначення [28].

В умовах моделювання необхідно вказати об'єм потоку повітря, який надходить у камеру за певний час. Так як вже обраний вентилятор ми можемо зайти до його характеристик та подивитись, який об'єм повітря він через себе пропускає.

Я обрав наступний вентилятор (MF40201VX-F99-A) (Рис. 1)



Рис. 2.3.1. Вентилятор MF40201VX-F99-A.

Цей вентилятор від виробника «Sunon» має наступні характеристики [29]:

- Габаритні розміри – 40x40x20;
- Напруга живлення – 12 В;
- Потужність – 0.96 Вт;
- Об'єм повітря – 14.4 м.куб/год;
- Швидкість обертів – 8000 об/хв;

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		67

- Шум – 28.5 Дб.

Він чудово підходить до наших потреб через свою потужність, компактність та довговічність.

### 2.3.1 Варіант перший.

Перший варіант має лопатки середньої форми вигину серед трьох представлених варіантів (Рис 2.3.1.1).



Рис. 2.3.1.1 Лопатка першого варіанту.

Підготуємо моделювання. Для цього в «Solidworks» активуємо вкладку «Flow simulation» та створимо новий проект.

Якщо корпус не має замкненої системи програма запропонує створити заглушки для того, щоб закрити отвори і камера стала повністю закрита. Це необхідно щоб створити область вимірювання та почати розрахунки. Наступне що зробить програма, це запропонує область вимірювання з якою ми погоджуємося.

Далі необхідно задати параметри для розрахунку. В місці де стоїть вентилятор на заглушку потрібно задати умову що вхідний потік дорівнює 14.4 м.куб/год, а на вихідних отворах встановити вихідний потік, який теж дорівнює 14.4 м.куб/год. Для запуску симуляції необхідно вказати тиск. На одній із стінок я вказую що тиск дорівнює атмосферному. Тепер програма готова провести розрахунок.

У висновку ми отримаємо наступні дані (Рис. 2.3.1.2).

Швидкість повітря у камері, в залежності від місця, складає від 0.712 до 22.058 метрів за секунду. Найменша швидкість спостерігається на початку в місці розташування вентилятора та у верхній правій частині лопаток. Найбільша швидкість у місті звуження, там де починаються лопатки. Перші лопатки одразу

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		68

забирають частину повітря і далі потік майже до самого кінця йде по колу вздовж корпусу. Середня швидкість повітря по колу складає приблизно 15 метрів за секунду. В загальному потік рівномірний, не має великих перепадів, або завихрень. Весь потік закручується майже в тому місці де буде знаходитися нитка. В загалом нас влаштовує даний варіант корпусу, форма та розташування лопаток.

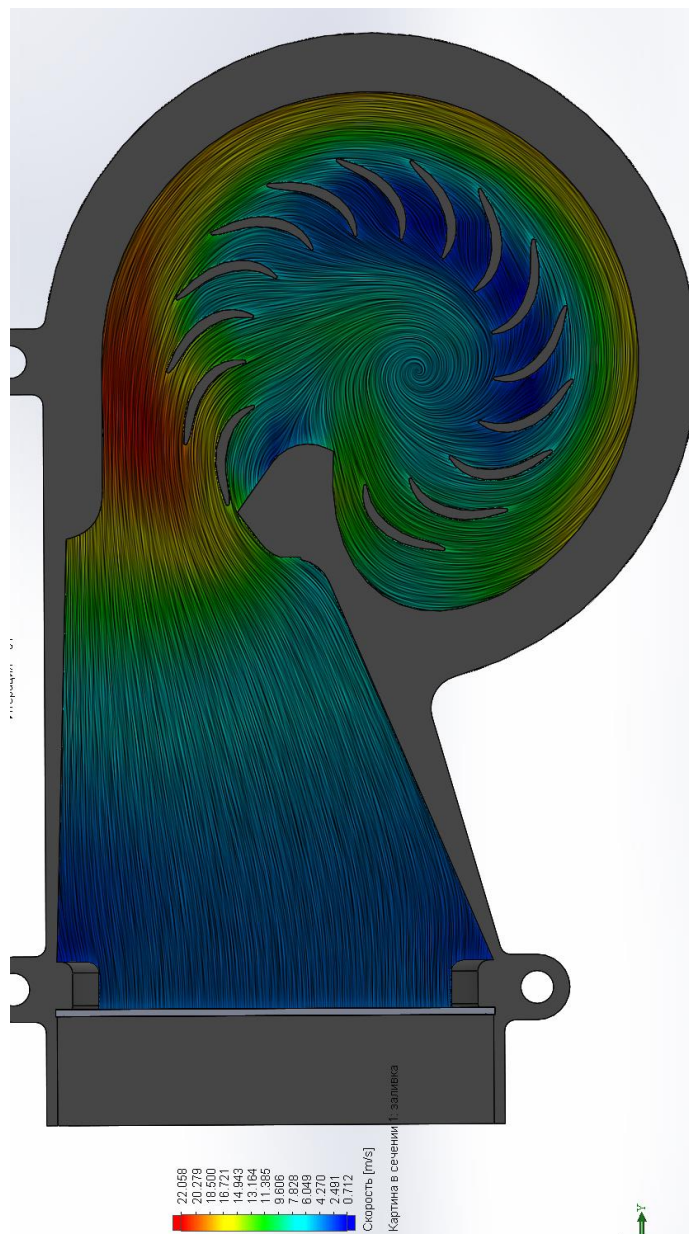


Рис. 2.3.1.2. Швидкість та напрям потоку повітря у варіанті 1.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		69

### 2.3.2 Варіант другий.

Другий варіант має лопатки майже прямої форми вигину серед трьох представлених варіантів (Рис 2.3.2.1).

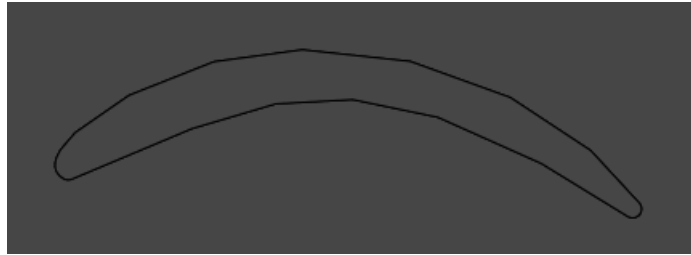


Рис. 2.3.2.1 Лопатка другого варіанту.

Підготуємо моделювання. Для цього в «Solidworks» активуємо вкладку «Flow simulation» та створимо новий проект «варіант 2».

Якщо корпус не має замкненої системи програма запропонує створити заглушки для того, щоб закрити отвори і камера повністю стала закрита. Це необхідно щоб створити область вимірювання та почати розрахунки. Наступне, що зробить програма – це запропонує область вимірювання з якою ми погодимось.

Далі необхідно задати параметри для розрахунку. В місці де стоїть вентилятор на заглушку потрібно задати умову що вхідний потік дорівнює 14.4 м.куб/год, а на вихідних отворах встановити вихідний потік, який теж дорівнює 14.4 м.куб/год. Для запуску симуляції необхідно вказати тиск. На одній із стінок я вказую, що тиск дорівнює атмосферному. Тепер програма готова провести розрахунок.

У висновку ми отримаємо наступні дані (Рис. 2.3.2.2).

Швидкість повітря у камері, в залежності від місця, складає від 0.415 до 25.392 метрів за секунду. Найменша швидкість спостерігається на початку в місці розташування вентилятора та у верхній правій частині лопаток де утворюються завихрення. Найбільша швидкість у місті звуження перед першою, другою, та третьою лопаткою. Перші п'ять лопаток одразу забирають частину повітря і далі потік майже до самого кінця йде по колу вздовж корпусу. Середня

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		70

швидкість повітря по колу складає приблизно 19 метрів за секунду. В загальному потік рівномірний, але має завихрення на третині лопаток, це означає, що з того місця потік не йде і там втрачається зайва енергія.

Весь потік закручується в тому місці де буде знаходитися нитка. Центр закручення більш точний ніж в першому варіанті. В загалом нас влаштовує даний варіант корпусу, форма та розташування лопаток, але втрати п'яти лопаток несуть поганий характер.

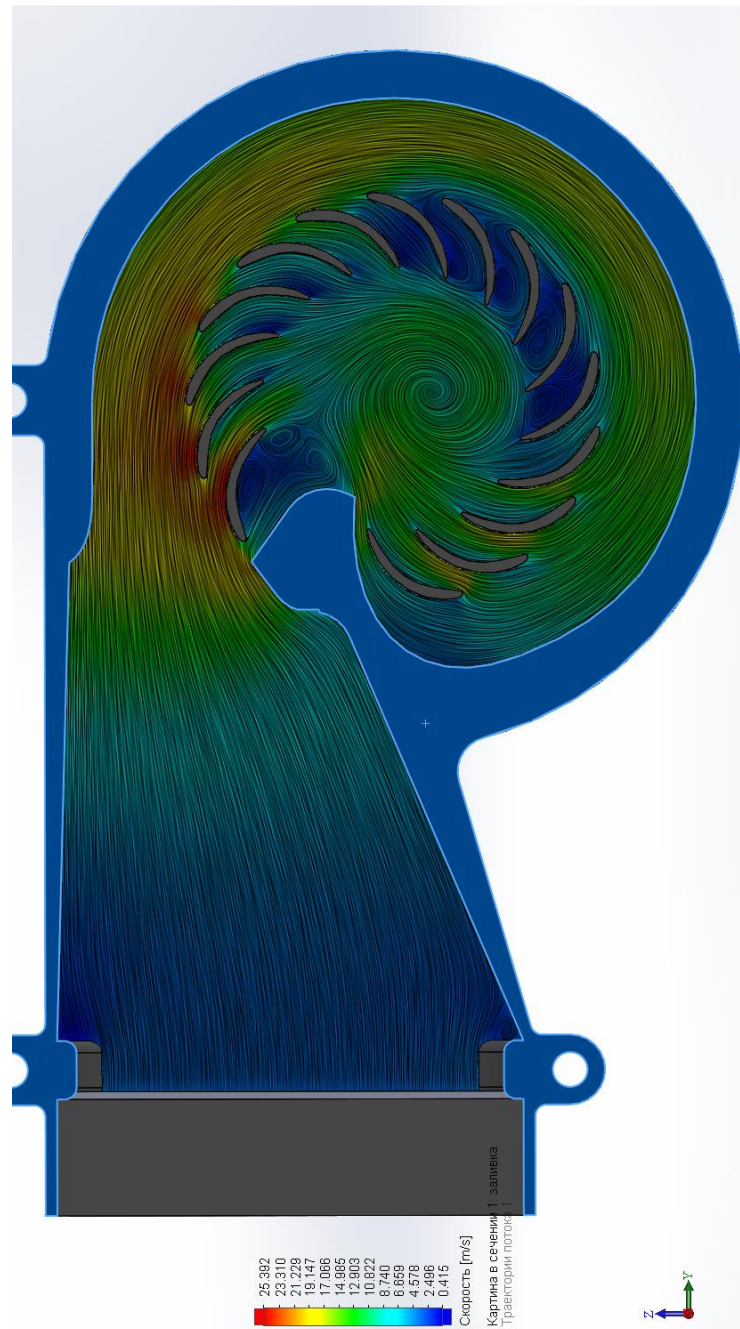


Рис. 2.3.2.2. Швидкість та напрям потоку повітря у варіанті 2.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		71

### 2.3.3 Варіант третій.

Третій варіант має лопатки найбільш зігнутої форми серед трьох представлених варіантів (Рис 2.3.3.1).



Рис. 2.3.3.1 Лопатка другого варіанту.

Підготуємо моделювання. Для цього в «Solidworks» активуємо вкладку «Flow simulation» та створимо новий проект «варіант 2».

Так як корпус не має замкненої системи програма запропонує створити заглушки для того, щоб закрити отвори і камера повністю стала герметична. Це необхідно, щоб створити область вимірювання та почати розрахунки. Наступне що зробить програма – це запропонує створити область вимірювання з якою ми погодимось.

Далі необхідно задати параметри для розрахунку. В місці де стоїть вентилятор на заглушку потрібно задати умову, що вхідний потік дорівнює 14.4 м.куб/год, а на вихідних отворах встановити вихідний потік, який теж дорівнює 14.4 м.куб/год. Для запуску симуляції необхідно вказати тиск. На одній із стінок я вказую, що тиск дорівнює атмосферному. Тепер програма готова провести розрахунок.

У висновку ми отримаємо наступні дані (Рис. 2.3.3.2).

Швидкість повітря у камері, в залежності від місця, складає від 0.520 до 23.512 метрів за секунду. Найменша швидкість спостерігається на початку в місці розташування вентилятора, у верхній та правій частині лопаток де утворюються завихрення, це майже на всіх лопатках. Найбільша швидкість у місті звуження перед першою, другою, третьою лопаткою та у самому кінці закрученого потоку. Перші три лопаток одразу забирають частину повітря і далі потік майже до самого кінця йде по колу вздовж корпусу. Середня швидкість

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		72



повітря по колу складає приблизно 12 метрів за секунду. В загальному потік нерівномірний і має багато завихрень на лопатках з п'ятої по тринадцяту з 15 можливих, це означає, що в тих місцях потік не йде, заплутується і там втрачається енергія та швидкість.

Весь потік закручується по краях від того місця де буде знаходитися нитка. Центр закручення найдавший ніж в інших варіантах. Дана конфігурація лопаток нас не влаштовує. Варіант корпусу, форма та розташування лопаток повністю не підходять и мають незадовільну характеристику.

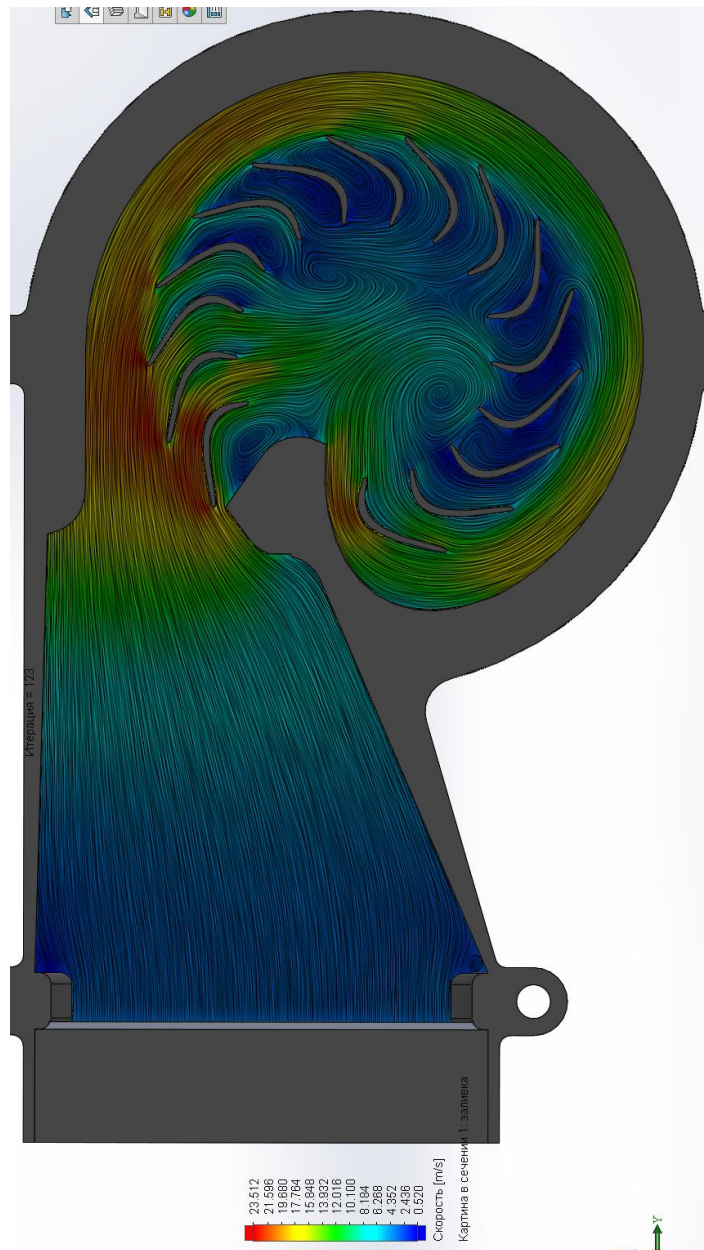


Рис 2.3.3.2 Швидкість та напрям потоку повітря у варіанті 3.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		73

Висновок. З запропонованих варіантів найбільше підходить перший та другий варіант. В кожному з них є свої переваги та недоліки.

Перевага першого варіанту полягає в його рівномірності та стабільності потоку. Недоліки цього варіанту, це мала швидкість потоку, та невідповідність розташування закрученого повітря в місці охолодження нитки.

Перевага другого варіанту у великій швидкості та розташуванні закрученого повітря у місці де проходить нить, але недолік даної схеми у тому, що на деяких лопатках утворюються завихри.

Виходячи з отриманих даних я обрав другий варіант не зважаючи на вихрові утворення в частині лопаток. Другий варіант має найбільшу швидкість потоку в місці де буде охолоджуватись нитка, а також він найбільш точно відповідає положенню де вона буде. Це важливі показники для того, щоб нить максимально сильно охолоджувалася на виході із сопла.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		74

## 3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1 Дослідження датчика товщини

Екструдер складається з багатьох вузлів, і одним з найважливіших вузлів у автономному екструдері є вузол, який вимірює товщину екстудованої ниті. Для нашого екструдера це особливо важливо через те, що товщина сопла може бути значно товще необхідного діаметру, і для того, щоб зменшити цей діаметр до необхідного, нам необхідно її витягнути по довжині.

Можливий варіант коли цього датчика нема, але це важкий, довгий та не стабільний процес підгонки швидкостей оберту шнеку та ролика, який тягне нить. Наш екструдер має бути максимально простий для користувача та максимально ефективний у виробництві. Тож такий варіант ми не розглядаємо.

Для вимірювання товщини є багато варіантів різних датчиків та схем їх використання. Я зупинився на доступному, дешевому та надійному варіанті вимірювання товщини.

Товщина вимірюється контактним методом за допомогою невеликого важеля на якому закріплено невеликий магніт. Цей магніт в свою чергу взаємодіє з магнітним датчиком. Коли на важіль впливає тіло він підіймає чи опускає магніт, який з різною інтенсивністю впливає на аналоговий магнітний датчик (Рис. 3.1.1).

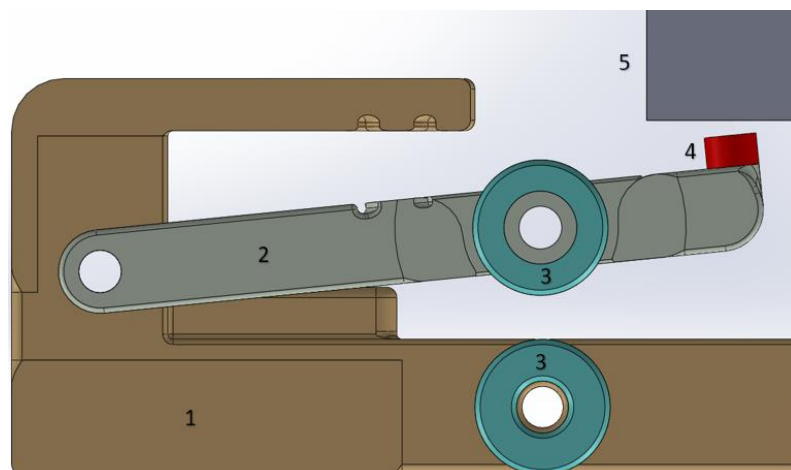


Рис. 3.1.1. Вузол вимірювання товщини. На малюнку зображено: 1- корпус; 2-важіль; 3-опорні підшипники; 4-магніт; 5-магнітний датчик.

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		75

В якості магнітного датчика було обрано датчик Холла «SS49E».

SS49E-аналоговий датчик від компанії Honeywell, що працює на ефекті Холла, суть якого полягає у тому, що при приміщенні в магнітне поле деякого провідника з постійним струмом, в цьому провіднику виникає поперечна різниця потенціалів. Також називають холловскою напругою. Характерна особливість даного датчика полягає у тому, що на його аналоговому виході напруга відповідає напруженості магнітного поля.

Одне з найпопулярніших застосувань даного датчика - датчик положення ручки "газу" електровелосипедів.

Технічна характеристика [30]:

- Напруга живлення – від 2,7 В до 6,5 В;
- Споживаний струм – 6-10 мА;
- Вихідна напруга – від 1в до 1,75 мВ (Середня 1,4 мВ) / Гаусс;
- Межі вимірювання – + - 1000 Gauss;
- Час реакції – 3 мкс;
- Тип корпусу – ТО-92.

Для того, щоб визначити на якому діапазоні відстань необхідно розташовувати магніт відносно датчика, я створив експериментальний стенд (Рис. 3.1.2) на якому поступово збільшував відстань між магнітом і датчиком. Контроль відстані здійснювався за допомогою диску з 20 рівними проміжками, який обертав вал з різьбою шаг якої складав 0.7 мм. Одна позначка на диску складала 0.035 мм відстані між магнітом та датчиком.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		76

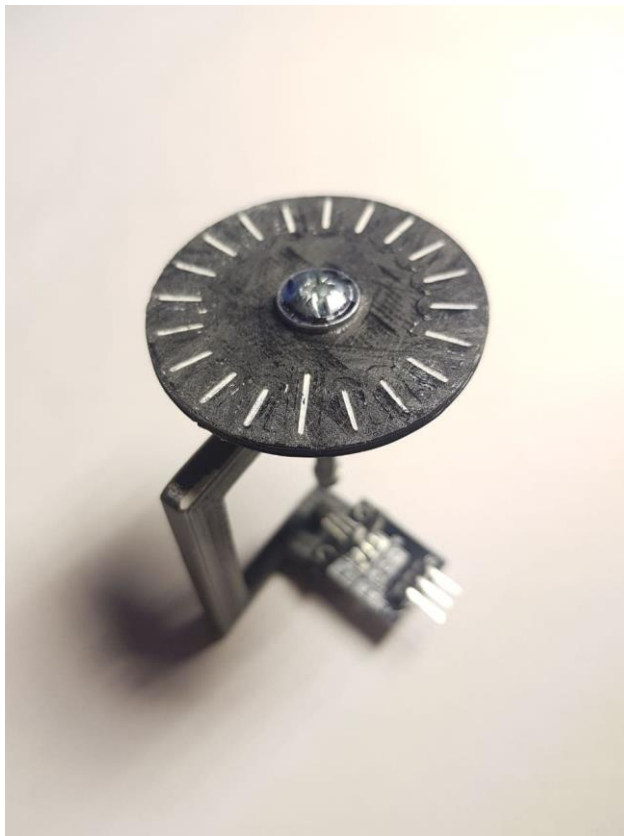


Рис. 3.1.2. Стенд за допомогою якого визначили діапазон чутливості магнітного датчика.

За допомогою мікроконтролера записував, які значення при цьому утворювались. Код програми (Рис. 3.1.3) складається з фільтру, який згладжував похибки, які утворювались на датчику, команди зчитування та команди відправити значення на комп'ютер. Отримані значення являють собою значення АЦП від 0 до 1023 що відносяться як від 0 до 5 вольт пропорційно.

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		77

```

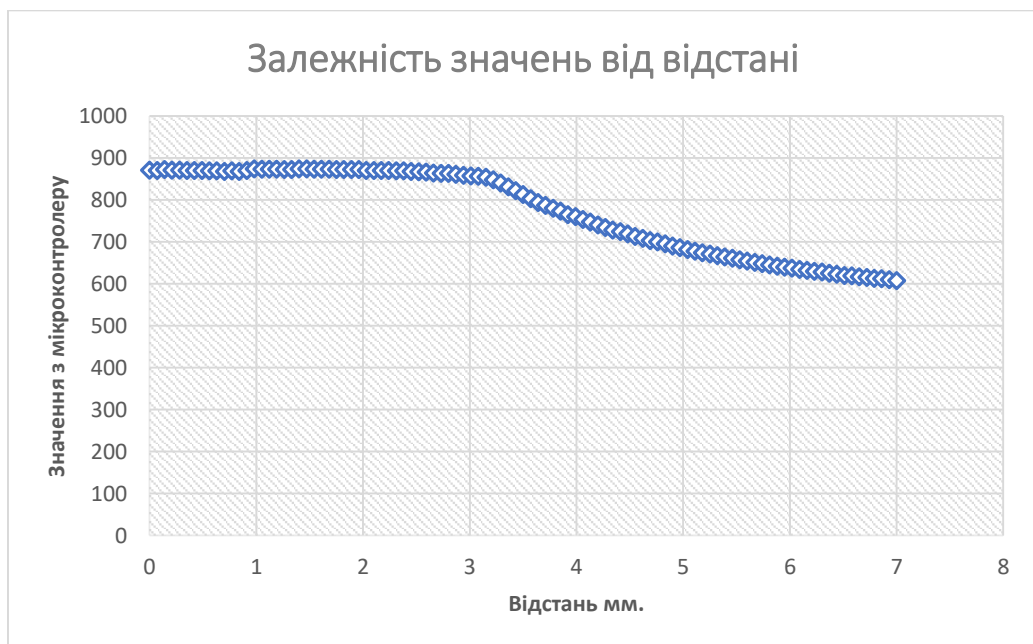
1 // переменные для калмана
2 float varVolt = 0.70; // среднее отклонение (ищем в excel)
3 float varProcess = 0.05; // скорость реакции на изменение (подбирается вручную)
4 float Pc = 0.0;
5 float G = 0.0;
6 float P = 1.0;
7 float Xp = 0.0;
8 float Zp = 0.0;
9 float Xe = 0.0;
10 // переменные для калмана
11
12 void setup() {
13     Serial.begin(9600);
14 }
15
16 void loop() {
17     int var;
18     var = analogRead(A7);
19     int fil_var = filter(var);
20     Serial.println(fil_var);
21 }
22
23 float filter(float val) { //функция фильтрации
24     Pc = P + varProcess;
25     G = Pc/(Pc + varVolt);
26     P = (1-G)*Pc;
27     Xp = Xe;
28     Zp = Xp;
29     Xe = G*(val-Zp)+Xp; // "фильтрованное" значение
30     return(Xe);
31 }

```

Рис. 3.1.3. Програма стенду. На початку задаються значення для роботи фільтру, в кінці функція фільтрування, в середині у циклі команди зчитування та відправлення фільтрованого значення до комп'ютеру.

На першому проході я визначив весь діапазон чутливості датчику (Граф. 3.1.1).

Графік 3.1.1. Залежність значень АЦП від відстані.



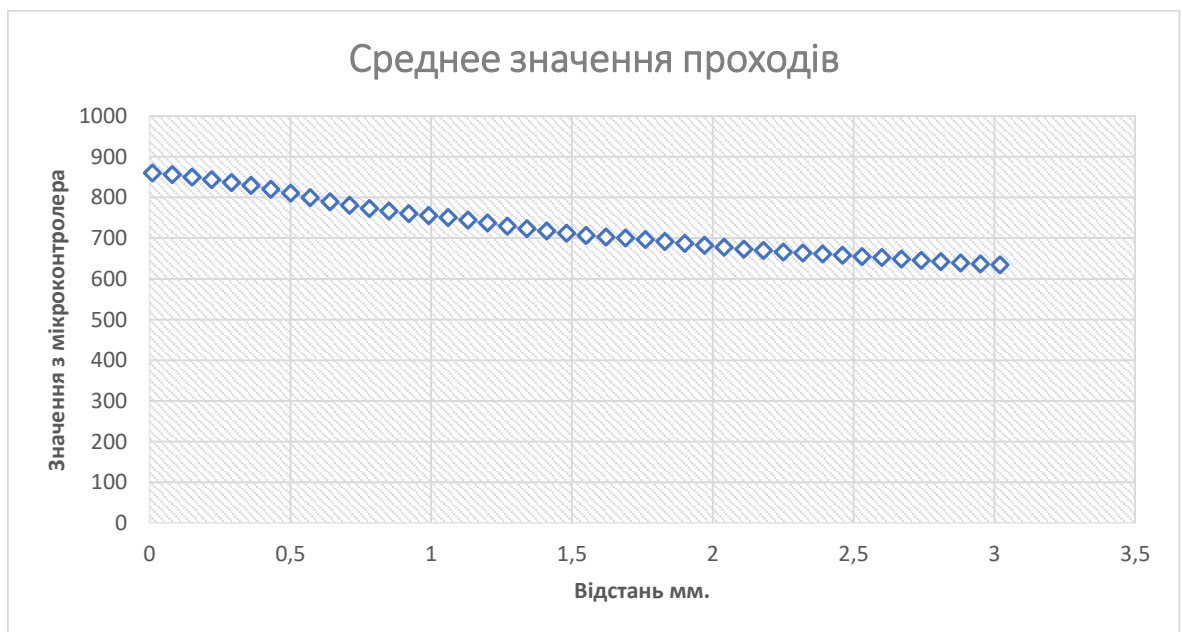
Виходячи з отриманого графіку можна сказати, що на діапазоні від нуля до 3 міліметрів датчик показує максимальне значення і на цьому проміжку утворюється сліпа пляма, у якій вимір неможливий. Починаючи з трьох міліметрів вже можливо проводити вимірювання.

Для наших задач необхідно мати чутливість датчику при вимірюванні ниті в діапазоні від 1.5 мм. до 3.5 мм. Так як саме в цьому діапазоні буде проводитись виготовлення та контроль товщини ниті.

Отже, для вимірювання датчиком товщини нам вистачить його чутливості на відрізок в два міліметри.

Я провів ще одне більш детальне зчитування даних з різницею шагу у 0.035 мм на проміжку від 3 мм. до 6 мм (Граф. 3.1.2) через коефіцієнт, який створюється на важелі. Кількість проходів для підвищення точності виміру була три рази. На графіку зображено відношення середніх значень.

Графік 3.1.2. Залежність значень мікроконтролера на відстані від 3 до 6 мм.



Висновок. Значення на відстані від 3 мм. До 6 мм. нас повністю влаштовують. Вони мають відносно лінійний характер та високу чутливість.

Розрахунок точності датчика товщини.

Для того, щоб визначити, яку чутливість має розроблений датчик, необхідно провести певні розрахунки.

Для збільшення точності вимірювання наш важіль має певну конструкцію, що помножує виміряну товщину на певний коефіцієнт. Відстань до ролика  $L_2$  становить – 42,5 мм., а до магніту  $L_1$  – 61,5 мм. Передаточне відношення  $k_{\text{відн}}$  на ньому наступне:

$$k_{\text{відн}} = \frac{L_1}{L_2} \quad (3.1.1)$$
$$k_{\text{відн}} = \frac{61.5}{42.5} = 1.447$$

Отже всі наші виміри помножуються на цей коефіцієнт.

Чутливість  $S_{\text{дат}}$ , яку ми отримуємо дорівнює діапазон відстані  $L_d$  з графіку 2. поділити на кількість значень мікроконтролера  $T_d$  з цього графіку та поділити на коефіцієнт  $k_{\text{відн}}$ .

$$S_{\text{дат}} = \frac{L_d}{T_d * k_{\text{відн}}} \quad (3.1.2)$$
$$S_{\text{дат}} = \frac{3,01}{226 * 1,447} \approx 0,0092 \text{ мм на одну точку.}$$

Це означає, що ми за допомогою розробленого товщиноміру зможемо забезпечити високу точність виготовлення ниті.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



## 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «Easyfilament»

### 4.1 Опис ідеї проекту «Easyfilament»

В даному розділі здійснено короткий опис ідеї проекту, опис проблеми, яку він вирішує, напрямки його застосування. Визначення сильних, слабких і нейтральних сторін проекту та його конкурентів. Створено морфологічну карту з вказаними різними тимчасовими рішеннями. Пред'явлені необхідні ресурси для створення екструдеру.

#### Інформаційна карта

**Назва проекту** – EasyFilament.

**Автори проекту** – Соколов Георгій.

**Коротка анотація** – Створення пристрою для виготовлення ниті для 3д-принтеру.

**Термін реалізації проекту** – 18 місяців.

**Необхідні ресурси** – Металеві труби, деревина, електронні компоненти, шнек, пластмаса для деталей, 3д-принтер, програма для розробки моделі, програма керування, двигуни, гвинти, гайки, гроші.

**Опис проблеми, яку вирішує проект** – 1) Можливість переробляти пластик від роботи з 3д-принтером, або інший. 2) Можливість отримання необхідних характеристик ниті за значно меншою ціною. 3) Популяризація вторинної переробки матеріалів.

**Головні цілі та завдання проекту** – 1) Вихід на ринок з високою конкуренто здатністю. 2) Створення робочих місць. 3) Створення якісного пристрою.

**Очікувані результати** – Поширення 3д-друку, зменшення відходів у навколишнє середовище, зменшення собівартості деталей, створення робочих місць.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		81

Розглянемо, які напрямки застосування можливі для нашого продукту. Також для кожного із напрямків визначимо основні вигоди, які користувачі можуть знайти для себе (Табл. 4.1.1).

Таблиця 4.1.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення та впровадження на ринок пристрою, що виробляє нитку, яку використовують у 3д-печаті	1. Переробка відходів	Людина, яка займається переробкою відходів зможе без зайвих клопотів та великих внесків перетворити сміття на конкурентний та популярний у продажу товар.
	2. Виготовлення ниті для домашнього використання	Люди, які люблять проводити час у своїх майстернях часто мають 3д-принтери, але матеріали для роботи з ним мають велику ціну і часто він є не по карману для власників. Також у роботі з 3д-друком часто залишаються невдалі моделі та підтримки, які необхідні у роботі, які в подальшому можливо використати повторно. Для цієї категорії людей домашній екструдер буде порятунком у їх захопленні.
	3. Виготовлення ниті на підприємстві з 3д-друку.	Як правило на таких підприємствах залишається дуже багато використаного матеріалу, який в подальшому необхідно

		переробити. Для цих компаній це великий клопіт. Так як необхідно платити за утилізацію. З даним пристроєм вони зможуть не тільки зекономити, але й заробити.
	4. Виготовлення ниті у наукових цілях.	Для вчених і винахідників вкрай важливо отримати результат їх розробок якомога швидше та дешевше, адже модифікацій їх трудів дуже велика і не кожен може їм в цьому допомогти. С цим пристроєм вони дуже прискорять свої розробки, зможуть бути більш гнучкими у часі, фінансах та модифікаціях.
	5. Виготовлення ниті навчальних цілях.	Не всі школи, гуртки та інститути можуть дозволити собі 3д-принтери для навчальних цілей. І це не кажучи про різноманітність та вартість витратного матеріалу. З цим пристроєм вони зможуть економити на матеріалі, збільшити різноманітність а також розробити навчальні плани в сфері використання такого пристрою та способів

		ВИГОТОВЛЕННЯ ПОДІБНИХ НИТОК.
--	--	---------------------------------

Висновок. Ми виділили п'ять основних груп яких може зацікавити наша пропозиція стосовно придбання екструдеру для виготовлення прутка ниті для 3д-принтера. Це люди, які відносяться до навчальної, наукової, підприємницької, перероблюваної та приватної групи. Кожна група має для себе певні переваги на яких можна зробити акцент.

Розглянемо наступні питання. Нам необхідно визначити техніко-економічні характеристики ідеї у порівнянні з найближчими товарами конкурентами, а також виділити серед усіх сильних, середніх та слабких (Табл. 4.1.2).

Таблиця 4.1.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні хар. ідеї	Товари конкурентів				W	N	S
	Мій проект	3devo	filabot	Filamaker			
Гнучкі ціни	Низькі ціни	Високі ціни	Середні ціни	Середні ціни	3devo	Filabot, filamaker	Мій проект
Контроль якості	Високий	Високий	Низький	Середній	filabot	filamaker	3devo, мій проект
Доступ до ресурсів	Середній	Високий	Середній	Низький	filamaker	Filabot, мій проект	3devo
Економія на масштабах	Мала	Середня	Мала	Мала	Filamaker, filabot	Мій проект	3devo
Безпечність	Висока	Висока	Середня	Мала	filamaker	filabot	3devo, Мій проект

Висновок. Провівши аналіз по цим питанням я виділив п'ять основних техніко-економічних характеристик ідей. Вони мають наступні назви: гнучкі ціни, контроль якості, доступ до ресурсів, економія на масштабах та безпечність. Наш стартап-проект має лідерство у трьох з п'яти критеріїв, а у двох інших займає середню позицію.

Створимо морфологічну карту стартап проекту (Табл 4.1.3). В ній буде описано технічні характеристики, які згодом можна покращувати заради конкурентної спроможності та розвитку компанії.

Таблиця 4.1.3. Морфологічна карта.

Морфологічна карта				
Основні параметри	Тимчасові рішення			
	1	2	3	4
нагрівний елемент	індуктивний	Керамічний	резистивний	газовий
Тип пластика	ABC	PLA	ABC, CoPet	ABC, PLA, CoPet, Nylon, и тд.
Наявність контролюючих органів	ні	температурний	Температурний, товщина ниті, швидкість екструзії	інші
Охолодження корпусу	Повітряне	водяне	масляне	Конвекція
Охолодження матеріалу	конвекція	водяне	повітряне	механічне
Упакування продукту	Бобина	відсутні	інше	

Висновок. На початку розробки і впровадження проекту можна використовувати прості технології, які з часом покращувати для конкурентної спроможності, та аналізу ринку. Які покращення будуть необхідні, а які не обов'язкові.

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту «Easyfilament»

Тепер необхідно визначити як нашу ідею проекту реалізувати. Треба знайти, які є технології, які з них наявні у доступі та які доступні для подальшого використання (Табл. 4.2.1).

Таблиця 4.2.1. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Створення екструдеру.	Самостійне виготовлення всіх комплектуючих.	Не всі деталі є можливість виготовити	Певні технології не доступні
2		Частково самостійне виготовлення всіх деталей.	На певний ряд деталей технологія наявна.	Ті деталі, які неможливо виготовити самостійно наявні на ринку за незначною ціною.
3		Замовлення повністю всіх деталей з інших підприємств.	Наявна.	Технологія не доступна обумовлена високою ціною реалізації.
Обрана технологія реалізації проекту: Частково самостійне виготовлення деталей, а частково закупівля вже готових до використання.				

**Висновок.** Було виділено три основні можливі технології реалізації проекту. Проаналізувавши їх я зрозумів, що найкраще підходить технологія, де частина деталей виготовляється на власному устаткуванні, а електронні компоненти замовляються в інших місцях з точки зору економічної доцільності.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту «Easyfilament»

Створимо таблицю, у якій заповнимо такі пункти як: кількість головних гравців, загальний обсяг продажів, динаміку ринку, наявність обмежень для виходу на ринок, вимоги до сертифікацій та норма рентабельності (Табл. 4.3.1).

Таблиця 4.3.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2,4млн грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Певні знання в технологічній сфері, та фінанси. Наявність товарних знаків
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Нема
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	4%

Висновок. На ринку в даний момент часу лише 2 головних гравців. Загальний обсяг продажів 2.4 млн грн. Наявні певні обмеження на вхід до ринку. Специфічних вимог не виявлено та середня норма рентабельності проекту складає 4%.

Розглянемо потребу, яку формує ринок, яка цільова аудиторія можлива для цієї потреби. Визначимо відмінності у поведінці цільових груп та вимоги цих споживачі до товару, який ми запропонуємо (Табл. 4.3.2).

Таблиця 4.3.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		87

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Створення ниті для використання у 3д-принтері з гранул повторного використання	Компанії, які пропонують виготовлення деталей методом 3д-друку	Технічний регламент, сервісна підтримка.	Надійність, довговічність, ремонтно-пригодність, висока продуктивність.
2		Навчальні заклади	Чесність компанії, відкритість у співпраці, сервісна підтримка.	Гнучкість використання, компактність, невелика ціна, економічність.
3		Звичайні споживачі, які купляють у своїх цілях.	Легкість у придбанні товару, послуги у навчанні та доставці, відомість бренду, стильний дизайн.	Малі габарити, низька ціна, економічність, простота використання, безпечність.

Висновок. На ринку з'являється така потреба як, створення ниті для 3д-друку з вторинного матеріалу або з первинного. Ця пропозиція цікавить таку аудиторію як певні компанії, які працюють з 3д-принтерами, навчальні заклади та звичайних споживачів. Кожна група має свою поведінку та вимоги до готового обладнання.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		88



Розглянемо, які фактори загрози нас можуть очікувати. Дуже важливо розібратися в цьому питанні адже саме загрози можуть зруйнувати всі плани на майбутнє (Табл. 4.3.3).

Таблиця 4.3.3. Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Впізнаваність	Повільне розповсюдження бренду через слабку відомість.	Збільшення витрат на рекламну компанію, залучення блогерів, проведення виставок, та конференцій
2	Конкуренція	Поява на ринку подібного товару з схожими характеристиками але з привабливішими умовами.	Випуск оновлень для існуючого товару, створення нових технологій виробництва, в перспективі брендування.
3	Зміна переваг	Є можливість, що для клієнта будуть важливими інші характеристики ніж ті, що запропоновані.	Гнучкість у розробці нових приладів. Розширення товарної лінії.
4	Втрата конкурентних переваг	Конкуренти можуть ввести конкурентні переваги у конструкції приладу.	Заздалегідь заготовлена проривна технологія, яка в разі втрати конкурентної спроможності зможе реанімувати її знову.
5	Зниження купівельної спроможності	Через кризу у людей зменшиться купівельна спроможність.	Оптимізація виробничого процесу, використання більш дешевого матеріалу та зменшення технічних характеристик.

Висновки. Я виділив п'ять найголовніших фактори загроз. На мою думку це: пізнаваність бренду, конкуренція, зміна переваг у клієнта, втрата конкурентних переваг та зниження купівельної спроможності у клієнта. На всі загрози розроблений план з реакції компанії при виникненні певної з переліку загрози.

Також дуже важливими є фактори можливостей. Необхідно проаналізувати ринок та виявити певні можливості на яких можна розробити конкурентоспроможний товар (Табл. 4.3.4).

Таблиця 4.3.4. Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Досконаліші технологій	Нові систем керування, виготовлення, діагностики.	Збільшення якості виготовленої ниті за рахунок сучасних систем контролю.
2	Ціна	Зменшення ціни продукту	Виготовлення дешевого продукту за рахунок країни привабливішими умовами.
3	Компактність	Розміри допустимі для використання не лише на підприємствах	Зменшення компонентів контролю та виготовлення екструдеру. Зменшення деяких деталей задля компактності.
4	Надійність	Стабільна робота протягом довгого часу.	Додатковий етап перевірки готового продукту перед продажом. Контроль якості на кожному етапі, та збільшений коефіцієнт запасу деталей.
5	Нові споживачі	Поява на ринку клієнтів яких раніше не цікавила дана пропозиція.	Своєчасний моніторинг ринку для пошуку таких клієнтів та створення попиту задовго до появи конкурентів.

Висновок. Є фактори можливостей на яких можна зробити ставку для того, щоб стати конкурентопригодними, а також значно розширити клієнтську базу. Це такі можливості як: нові споживачі, надійність, компактність, ціна та досконаліші технології.

Роздивимось особливості конкурентного середовища, в чому проявляється його характеристика а також вплив на діяльність підприємств у цій сфері (Табл. 4.3.5).

Таблиця 5.3.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/ <b>олігополія</b> / монополістична/чиста	Невелика кількість виробників, яка виробляє той самий товар.	Виділення товару серед інших за рахунок якості, універсальності, і тд.
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/ <b>національний</b> /...	Даний тип товару покупають по всьому світі. Та вихід на національний масштаб є більш вигідним.	Створення фішок та адаптацій в залежності від нації.
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ <b>внутрішньогалузева</b>	Товари даної категорії знаходяться в одній галузі	Рентабельніше виробництво, отже, дешевша ціна. Якість краща.
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Товари даної категорії виконують одні функції	Додаткові можливості перед товарами конкурентів.
5. За характером конкурентних переваг - цінова / <b>нецінова</b>	Має кращі характеристики, більший спектр можливостей.	Покращення технологій. Впровадження нових методів.
6. За інтенсивністю - <b>марочна</b> /не марочна	має марочні знаки, авторське право	дає змогу управляти рівнем доданої вартості.

Висновок. Тип конкуренції – олігополія, через невелику кількість виробників. Даний товар має національну конкурентну боротьбу по причинах популярності у всьому світі. За інтенсивністю являється марочна так як має марочні знаки та авторське право.

Зробимо аналіз конкуренції в галузі за Портером (Табл. 4.3.6). В ній ми визначимо вплив прямого конкурента, потенційного конкурента, постачальників, клієнтів та товарів замінників.

Таблиця 4.3.6. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари замінники
	3devo	Filamaker, filabot	В нашому регіоні постачальники досить сильні для забезпечення необхідним матеріалом.	Інформаційно сильні, мають середню закупівельну силу та достатні прибутки	Серед замінників наявні дорогі готові продукти, які не вигідно купувати партіями.
Висновки:	З боку конкурентів боротьба буде слабкою по причинам незаповненості товарами.	Є велика можливість входу на ринок. Потенційні конкуренти також мають шанс вийти на ринок.	Постачальники ні як не впливають на роботу.	Клієнти можуть залишати відгуки на товар, а виконувати побажання чи ні справа виробника.	Обмеження стосуються цінової політики, через що неможливо задавати великі ціни на товар.

Висновки. Проведений аналіз з таблиці 4.3.6. показує, що є один сильний конкурент та дефіцит подібного товару на ринку. Це дає змогу для входу на

ринок. Також можна сказати, що постачальники та клієнти не диктують свої правила, лише товари замітники.

Необхідно провести аналіз факторів конкурентоспроможності для подальшого їх розуміння (Табл. 4.3.7).

Таблиця 4.3.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування ( наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Для багатьох покупців доволі важливим фактором є відношення ціна/якість. В нашому продукті цей фактор буде найкращим.
2	Універсальність	Багато конкурентних продуктів не можуть працювати з великим вибором пластиків, та виготовляти з різною товщиною. Ми же будемо орієнтуватись на широкий спектр можливостей.
3	Простота	Для роботи з цим пристроєм немає потреб в необхідних навичках. Все, що потрібно зробити це – задати матеріал, та товщину. Все інше вона зробить сама.

Висновок. Є три основні фактори конкурентоспроможності. Перший – ціна, для багатьох покупців це дуже важливо. Другий – універсальність, багато хто хоче заплатити один раз, та мати потужній прилад для різних задач. Третій – простота, клієнти хочуть, щоб товар одразу був готовий до роботи і для його використання не потрібно було мати спеціальних знань.

Проведемо порівняльний аналіз слабких та сильних сторін нашого проекту (Табл. 4.3.8).

Таблиця 4.3.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «filabot»

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		93

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з filabot						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Ціна	18		-					
2	Універсальність	13	-						
3	Простота	8			-				

Висновок. Згідно таблиці робимо висновок, що, по даним пунктам конкуренти програють найбільше по універсальності, найменше у простоті та трохи в ціновій політиці. Це дає непогані конкурентні переваги на старті продажу.

Проведемо SWOT аналіз проекту. Це табличка, у якій перетинаються сильні та слабкі сторони з можливостями та загрозами, та робиться аналіз (Табл. 4.3.9).

Таблиця 4.3.9. SWOT- аналіз стартап-проекту

	Сильні сторони	Слабкі сторони
	1. Універсальність 2. Відношення ціна-якість 3. Компактність 4. Ремонт-пригодність	1. Не відомий бренд 2. Мала довіра до товару 4. Швидкість виготовлення
<b>Можливості</b> 1. Нові споживачі 2. Розвиток технологій 3. Зростання купівельної спроможності 4. Вихід конкурентів 5. Надійність 6. Компактність 7. Ціна	Для нових споживачів дуже важливим фактором є низька ціна з високими можливостями. Також ремонт-пригодність заохочує покупців.	За рахунок нових споживачів можна заробити ім'я та стати конкурентами на ринку. За рахунок розвитку технологій підвищити швидкість

Загрози 1. Зміна переваг. 2. Втрата конкурентних переваг 3. Зниження купівельної спроможності 4. Вхід конкурентів	Вхід конкурентів компенсується за рахунок універсальності та відношенню ціни до якості. Також універсальність пом'якшує зміну переваг.	Як най швидше створити клієнтську базу з постійних клієнтів.
---	--	--

Висновки. Для нових споживачів дуже важливим фактором є низька ціна з високими можливостями. Вхід конкурентів компенсується за рахунок універсальності та відношенню ціни до якості. За рахунок нових споживачів можна заробити ім'я та стати конкурентами на ринку.

Створимо таблицю, у якій розглянемо альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту (Табл. 4.3.10).

Таблиця 4.3.10. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	За рахунок відношення ціна/можливості	Висока	один рік
2	За рахунок створення бренду	Середня	півтора роки

Висновки. Є дві альтернативи ринкового впровадження. Перша це – за рахунок відношення ціни до можливостей. Вона забезпечує високу ймовірність отримання ресурсів та швидкий строк реалізації. Інший спосіб це – за рахунок створення бренду. Його ймовірність отримання ресурсів середня, а час, який займає півтора роки.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту «Easyfilament»

Необхідно провести аналіз та зробити вибір цільових груп, на які ми будемо орієнтуватися в подальшому майбутні. Знайдемо їх готовність сприйняти

продукт, орієнтований попит та інтенсивність конкуренції в сегменті (Табл. 4.4.1).

Таблиця 4.4.1. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Наукова сфера	Висока	Висока	Низький	Проста
2	Сфера навчання	Нейтральна	Низька	Низький	Середня
3	Сфера виробництва	Висока	Висока	Середній	Середня
4	Дизайн та архітектура	Середня	Низький	Високий	Висока
5	Приватні особи	Середня	Середній	Середній	Середня

Які цільові групи обрано: Наукова та виробнича сфера.

Висновок. Виділили п'ять основних цільових груп потенційних клієнтів. Найбільш перспективними та прибутковими є наукова сфера. А також сфера виробництва. Далі вигідно буде працювати у сфері дизайнерів та архітекторів, а також з приватними підприємцями. Зовсім не вигідно орієнтуватись на сферу навчання.

Визначимо декілька базових стратегій розвитку, а також знайдемо стратегію охоплення ринку, ключові конкурентоспроможні позиції відповідно обраної альтернативи та альтернативу розвитку проекту (Табл. 4.4.2).

Таблиця 4.4.2. Визначення базової стратегії розвитку

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		96



№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Масовий маркетинг	Створення продукту з найкращими показниками ціна/якість.	Невелика ціна, легкодоступність, простота у ремонті за рахунок масовості та простоті конструкції.	Стратегія лідерства по витратах.
2	Диференційованого маркетингу	Створення продукту з найкращими характеристиками.	Висока точність виробництва, надійність, універсальність.	Стратегія диференціації.

Висновки. Є дві альтернативи розвитку проекту: масовий маркетинг та диференційованого маркетингу. Декілька стратегій розвитку: стратегія лідерства по витратах або стратегія диференціації. У стратегії охоплення ринку найвигідніший варіант – це найкращі показники ціна/якість або найкращі характеристики.

Визначимо базову стратегію конкурентної поведінки. Дізнаємося чи є проект «першопроходьцем», чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента та стратегія конкурентної поведінки (Табл. 4.4.3).

Таблиця 4.4.3. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопроходьцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*

1	Проект не є першопроходьцем.	Компанія буде бо більшій частині шукати нових споживачів.	Певні характеристики такі як товщина ниті, габарити, інтерфейс, принцип роботи буде копіювати.	Стратегія заняття конкурентної ніші.
---	------------------------------	---	--	--------------------------------------

Висновок. Компанія не являється першопроходьцем. По більшій частині буде орієнтована на нових клієнтів. У порівнянні з конкурентом деякі характеристики будуть схожі, що є нормальним. Стратегія, яку прийме компанія це – стратегія заняття конкурентної ніші.

Знайдемо вимоги до товару цільової аудиторії, базову стратегію розвитку, ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап проекту а також вибір асоціації, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (Табл. 4.4.4).

Таблиця 4.4.4. Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартаппроекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Дешевизна, простота інтерфейсу, доступність	Стратегія диференціації	Компактність, ціна, сервісна підтримка, універсальність.	Ціна, дизайн, простота.

Висновки. Вимоги, яку хоче бачити цільова аудиторія наступні: дешевизна, простота інтерфейсу, доступність. Асоціації, які мають з'явитися це – ціна, дизайн, простота. Базова стратегія розвитку – стратегія диференціації. А ключові конкурентоспроможні позиції власного проекту: компактність, ціна, сервісна підтримка, універсальність.

## 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

### «Easyfilament»

Визначимо потребу, яку формує товар, вигоду, яку він пропонує та ключові переваги перед конкурентами, якщо вони є (Табл. 4.5.1).

Таблиця 4.5.1. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Переробка відходів	Можливість повторного використання не потрібних матеріалів	Більша різноманітність використаного матеріалу порівняно з конкурентами.
2	Експерименти	Можливість змінювати налаштування з цілю покращення характеристик.	Більш гнучкі маніпуляції з екструдером порівняно з конкурентами.
3	Мобільність	За рахунок компактності та легкості, прилад є відносно мобільним.	Зменшення ваги за рахунок легких матеріалів.

Висновок. Потреби, які виникають наступні: повторна переробка відходів, можливість експериментувати з матеріалом, мобільність пристрою яким користуються. В кожній потребі є своя вигода, яку пропонує наш пристрій а так же його перевага над конкурентним аналогом.

Необхідно описати три рівні моделі товару. Перший рівень товар за задумом, другий рівень товар у реальному виконані та третій рівень товар із підкріпленням (Табл. 4.5.2).

Таблиця 4.5.2. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Екструдер вигідний для споживача, оскільки його ціна нижча, ніж його аналогів. Також буде відчутна економія при виробництві

	пластику замість покупки в магазинах. Він вигідний для товаровиробника. Оскільки собівартість його виготовлення буде дещо більше, ніж ціна примітивних аналогів, а збут гарантований		
2. Товар у реальному виконані.	Характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Швидкість роботи	М	Тх
	2. Максимальна темп	М	Тх
	3. Точність	М	Тх
	4. Наявність сенсорного екрану.	М	Тх
	5. Гарантія	Нм	Ор
	6. Сервісне обслуговування	Нм	Ор
	Якість: повна перевірка всіх систем перед відправкою		
	Пакування у фірмову упаковку, яку легко зберігати та транспортувати.		
Марка: Організація – EasyFilament, Товар - Maker1.			
3. Товар із підкріпленням	До продажу вас консультують, а також є можливість подивитись на демонстрацію товару власними очима. Після продажу у подарунок йде 1 кг гранул для самостійного тестування вже вдома.		
Товар буде захищено від копіювання за рахунок патентування деяких вузлів а також привабливою ціною, сервісному обслуговуванні, гарантії на товар та універсальністю у матеріалі, який він переробляє.			

Висновки. Товар за задумом це – Екструдер, який вигідний для споживача, оскільки його ціна нижча, ніж його аналогів. Також буде відчутна економія при виробництві пластику замість покупки в магазинах. Він вигідний для товаровиробника. Оскільки собівартість його виготовлення буде дещо більше, ніж ціна примітивних аналогів, а збут гарантований. В якості товару з підкріпленням буде те, що до продажу вас консультують, а також є можливість

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		100

подивитись на демонстрацію товару власними очима. Після продажу у подарунок йде 1 кг гранул для самостійного тестування вже вдома. Товар буде захищено від копіювання за рахунок патентування деяких вузлів а також привабливою ціною, сервісному обслуговуванні, гарантії на товар та універсальністю у матеріалі, який він переробляє.

Порахуємо рівень цін на товари замітники, рівень цін на товари-аналоги, рівень доходів цільової групи споживачів та верхню/нижню межу встановлення ціни на товар (Табл. 4.5.3).

Таблиця 4.5.3. Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межа встановлення ціни на товар.
1	У районі 300-500 грн за 1 кг.	Від 30 до 150 тисяч за пристрій.	Середній. До 25 тисяч грн.	Верхня межа 30 тисяч грн. Нижня межа 20 тисяч грн.

Висновок. Рівень цін на товари аналоги досить широка, починаючи від 30 тисяч грн, до 150 тисяч грн у найбільшого конкурента. Рівень доходів цільової групи, на яку орієнтуємося складає 25 тисяч грн. Виходячи з цього нижня межа на наш товар складає – 20 тисяч грн, а верхня межа складає – 30 тисяч грн. Товар замітник, який виготовляє екструдер складає від 300 до 500 грн за 1 кілограм, що є значно вище від нашого.

Формування системи збуту. В цій таблиці ми розглянемо специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів, Функції збуту, які має виконувати постачальник товару, глибина каналу збуту, оптимальна система збуту (Табл. 4.5.4).

Таблиця 4.5.4. Формування системи збуту

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		101

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів.	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару.	Глибина каналу збуту.	Оптимальна система збуту.
1	Разова покупка	Демонстрація товару та подальша консультація	Робота на всіх рівнях так як клієнтів в цій сфері достатньо.	Невеликими партіями.
2	Покупка малою партією	Перед продажна консультація, демонстрація, після продажне супроводження	Робота як з малими так і з великими компаніями. Обґрунтовано великою прибутковістю в даному сегменті.	Переважно великими партіями.

Висновок. Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів наступна: разова покупка, покупка малою партією. функції збуту, які має виконувати постачальник товару: демонстрація товару та подальша консультація, перед продажна консультація, демонстрація, після продажне супроводження. Глибина каналу збуту: робота на всіх рівнях так як клієнтів в цій сфері достатньо, робота як з малими так і з великими компаніями. Обґрунтовано великою прибутковістю в даному сегменті.

Концепція маркетингових комунікацій. Розглянемо специфіку поведінки цільових клієнтів, канали комунікації, ключові позиції, завдання рекламного повідомлення а концепція рекламного повідомлення (Табл. 4.5.5).

Таблиця 4.5.5. Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими	Ключові позиції, обрані	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення

		користуються цільові клієнти	для позиціонування		
1	Орієнтовані на простоту, відомість бренду, та доступну ціну.	Соціальні мережи, Сарафанне радіо, реклама на вулиці.	Відношення ціна/якість та відомість бренду.	Що це стильний товар, який повинен мати кожен хто займається 3д-друком	Стильний новий бренд, який має найкращі характеристики за цю ціну.
2	Важливі такі якості як надійність, швидкість, рентабельність та подальша консультація.	Рекомендації від компаній користувачів, від експертів у даній сфері, інтернет реклама.	Орієнтованість на клієнта, технічна підтримка та надійність товару.	Що ми є надійною, швидко розширюваною та інноваційною компанією.	Безпечність, швидкість, надійність, інноваційність.

Висновки. Є дві специфіка поведінки цільових клієнтів. Перша - Орієнтовані на простоту, відомість бренду, та доступну ціну. Друга - Важливі такі якості як надійність, швидкість, рентабельність та подальша консультація. Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти: соціальні мережи, сарафанне радіо, реклама на вулиці, рекомендації від компаній користувачів, від експертів у даній сфері, інтернет реклама.

#### 4.6 Висновки

З проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

Є великий вибір напрямку застосування подібних екструдерів. Наприклад наукова сфера, сфера навчання, сфера виробництва і так далі.

Попит у даній сфері тільки набирає оберти через відносну новизну 3д-друку.

Наразі немає наявних конкурентів яких буде важко перегнати, тож зайняти свою нішу буде досить легкою задачею.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		103

Створити майстерню по виготовленню екструдерів не займе багато місця а також не потребує дорогого обладнання.

Матеріали, які необхідні для виготовлення екструдеру можна не дорого купити або виготовити самостійно. Це означає, що собівартість виготовлення також не велика.

Загрози, які можуть виникнути – це втрата конкурентної спроможності, втрата купівельної спроможності у клієнта та мала відомість бренду.

Можливість, яка може виникнути – це поява нових клієнтів там де раніше не було, адже це сфера, яка швидко розвивається та може зачепити багато інших сфер.

Можна сказати, що у майбутньому попит на цю категорію товарів буде великий, а враховуючі що будуть напрацьовані технології, рентабельність буде великою.

Наразі із всіх бар'єрів новизна товару, яка з популярністю розчиниться, а також вихід на ринок досить потужного конкурента з напрацьованими нововведеннями.

Потреба, яку формують клієнти, – це мобільність, бажання експериментувати з матеріалами та переробка домашніх відходів.

Через те, що товар не має швидкодіючого характеру і потребує подальшого його ремонту з проміжком часу, є можливість отримати додаткові кошти на товарах для ремонту та додаткових послугах.

Подальша імплементація товару є доцільним через ряд переваг над конкурентами та ростом ринку [31].

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		104



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі проведеної роботи можна зробити такі висновки.

У сфері 3д-друку гарно розвинені пристрої 3д-печаті, але погано розвинені прилади для виготовлення нить. Нить для покупця являє собою дуже дорогий матеріал для використання. Більшість наявних приладів на ринку не мають інтелектуальних систем і є складними у користуванні, а ті, що мають ці системи, дуже дорогі.

Для вирішення цієї проблеми було запропоновано рішення у вигляді екструдер з мікроконтролером, датчиком товщини та механізмом намотування ниті. Проведено огляд матеріалів, які найчастіше використовуються у 3д-друці. Розроблена комп'ютерна модель пристрою. Були проведені комп'ютерні симуляції повітряного потоку в камері охолодження ниті. Створена програма керування екструдером, яка по заданим характеристикам автоматично починала керувати процесами виготовлення ниті. Експериментально проведено аналіз показань з датчика товщини.

Розроблено аналіз стартап-проекту згідно якого реалізація даної продукції є комерційно привабливою. Виявлено сильні та слабкі сторони конкурентів, розроблено маркетинговий план. Визначилися з цільовою аудиторією та наявністю попиту у кожній з категорій.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		105

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Echo Extruder – Режим доступу: <https://epo3d.com/katalog/ekstruder/echo-extruder.html>
2. Noztek Pro HT – Режим доступу: <https://www.noztek.com/product/noztek-pro-high-temperature-extruder/>
3. Noztek Xcalibur – Режим доступу: <https://www.noztek.com/product/noztek-xcalibur/>
4. Домашнее устройство производства нити для 3D-принтера – Режим доступу: <https://3d-daily.ru/equipment/extruder-next1-by-3devo.html>
5. FILAMENT MAKERS – Режим доступу: <https://3devo.com/filament-makers/#7-winder>
6. Портативные экструдеры прутка. Изготовление филамента. Как самому сделать расходные материалы для 3D-печати – Режим доступу: [https://3dtoday.ru/wiki/made\\_filament/](https://3dtoday.ru/wiki/made_filament/)
7. PLA-пластик для 3D-печати – Режим доступу: [https://3dtoday.ru/wiki/PLA\\_plastic/](https://3dtoday.ru/wiki/PLA_plastic/)
8. PLA НАТУРАЛЬНЫЙ – Режим доступу: <https://monofilament.com.ua/products/standartnye-materialy/pla/pla-naturalnyj-o1-75mm-ves0-5kg>
9. ABS-пластик для 3D-печати – Режим доступу: [https://3dtoday.ru/wiki/abs\\_plastic/](https://3dtoday.ru/wiki/abs_plastic/)
10. ABS НАТУРАЛЬНЫЙ – Режим доступу: <https://monofilament.com.ua/products/standartnye-materialy/abs/abs-plastic>
11. PET НАТУРАЛЬНЫЙ – Режим доступу: <https://monofilament.com.ua/products/inzhinernye-plastiki/pet/pet-naturalnyj-o1-75mm-ves0-125kg>
12. PET-пластик для печати – Режим доступу: [https://3dtoday.ru/wiki/pet\\_plastic/](https://3dtoday.ru/wiki/pet_plastic/)

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		106

13. PVA-пластик для печати – Режим доступа:

[https://3dtoday.ru/wiki/pva\\_plastic/](https://3dtoday.ru/wiki/pva_plastic/)

14. NYLON НАТУРАЛЬНЫЙ – Режим доступа:

<https://monofilament.com.ua/products/inzhinernye-plastiki/nylon/nylon-naturalnyj-ves-05-kg>

15. Нейлон для 3D-печати – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/wiki/neylon/>

16. Полистирол для 3D-печати – Режим доступа:

<https://3dtoday.ru/wiki/polystyrol/>

17. Поликарбонат для 3D-печати – Режим доступа:

<https://3dtoday.ru/wiki/polycarbonate/>

18. PC НАТУРАЛЬНЫЙ – Режим доступа:

<https://monofilament.com.ua/products/inzhinernye-plastiki/pc/pc-naturalnyj-o1-75mm-ves0-5kg>

19. NinjaFlex для 3D-печати – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/wiki/ninjaxflex/>

20. Laywoo-D3 для 3D-печати – Режим доступа:

[https://3dtoday.ru/wiki/laywoo\\_d3/](https://3dtoday.ru/wiki/laywoo_d3/)

21. Laybrick для 3D-печати – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/wiki/laybrick/>

22. Закон охлаждения Ньютона – Режим доступа:

<http://www.math24.ru/%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD-%D0%BE%D1%85%D0%BB%D0%B0%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D0%BD%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0.html>

23. Полиэтилентерефталат – Режим доступа:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%8D%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%84%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D1%82>

24. Настройки печати пластиком PETG – Режим доступа: [https://3d-](https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/petg-parameters/)

[diy.ru/wiki/3d-printery/petg-parameters/](https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/petg-parameters/)

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		107

25.8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash

DATASHEET – Режим доступу:

[https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)

26.BASIC SERIES INTRODUCTION – Режим доступу:

<https://nextion.tech/basic-series-introduction/>

27.Датчик Холла А3144 цифровой – Режим доступу:

[https://arduino.ua/prod186-Datchik\\_Holla\\_A3144](https://arduino.ua/prod186-Datchik_Holla_A3144)

28.SolidWorks – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>

29.Вентилятор 40x40x20, 12V, (MF40201VX-F99-A) – Режим доступу:

[https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/ventilyator-40x40x20-12v-mf40201vx-f99-a\\_148652.html](https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/ventilyator-40x40x20-12v-mf40201vx-f99-a_148652.html)

30.Датчик Холла SS49E аналоговый – Режим доступу:

<https://arduino.ua/prod1474-datchik-holla-ss49e>

31.Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

					<b>МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		108

# ДОДАТКИ

					МД.ПМ.91МП.000.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		109

