

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна
академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра _____ АМтаЕТ _____

До захисту допущено
Завідувач кафедри

(підпис)

_____ д.т.н., професор Канюк Г.І. _____
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«___» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

рівень вищої освіти _____ магістр _____

спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
 робототехніка

освітньо-професійна програма _____

тема «Дослідження та удосконалення системи керування установкою
 виробництва полімерної нитки»

Виконав (ла)

студент (ка) групи ДЕА-23мг _____
 (шифр групи)

_____ **СУМЦОВ Максим Володимирович**
 (ім'я, прізвище)

Керівник роботи

_____ к.т.н., Мезеря А.Ю.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

Рецензент роботи

_____ к.т.н., Буданов П.Ф. _____
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

Консультант _____

(назва розділу)

_____ (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

(підпис)

Засвідчую, що у цій роботі
 немає цитат та вилучень з
 праць інших авторів без відповідних
 посилань
 студент(ка) _____
 (підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут
«Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра __АМтаЕТ__
 Спеціальність __174__
 Освітньо-професійна програма __магістр__

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., професор Канюк Г.І.____
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

_____ **рівня вищої освіти**

студенту (ці) __СУМЦОВ Максим Володимирович__
 (ім'я, прізвище)

1. Тема _____ **Дослідження та удосконалення системи керування установкою виробництва полімерної нитки**

затверджена наказом по академії №_4801-5/3704_від «21»_11_ 2024р.

2. Термін здачі закінченої роботи «_28_»_11_ 2024__ р.

3. Вихідні дані до роботи _____ Існуючі схеми керування установкою виробництва полімерної нитки та їх конструкції, методи керування установкою виробництва нитки, математичні моделі _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які належить розробити):

_____ Аналіз сучасних системи керування установкою виробництва полімерної нитки, аналіз недоліків та переваг існуючих систем керування. Дослідження режимів роботи установкою виробництва полімерної нитки, дослідження перспективних напрямків розвитку, висновки

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Актуальність теми, існуючі системи керування установкою виробництва полімерної нитки, недоліки та переваги систем керування, порівняльний аналіз систем керування, висновки.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «_14_»_09_2024__р.

Керівник

 Мезеря А.Ю.
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

 Сумцов М.В.
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз існуючих систем керування	14.10-28.10	виконано
2	Аналіз характеристик систем керування в різних режимах роботи	28.10-05.11	виконано
3	Порівняльний аналіз	05.11-14.11	виконано
4	Експериментальні дослідження	14.11-28.11	виконано
5	Висновки	28.11	виконано

Студент (ка)


(підпис)

— Сумцов М.В.
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


(підпис)

— Ключка Є.П. —
(ім'я, прізвище)

Зміст

Вступ.....	6
Розділ 1. Аналітичний огляд у галузі досліджуваного об'єкта	9
1.1. Історія оптичного волокна	9
1.2. Поняття оптичного волокна.....	10
1.3. Полімерне оптичне волокно	14
1.4. Метод екструзії	16
1.5. Методи активного контролю за технологічними параметрами	18
1.6. Огляд вітчизняних та зарубіжних публікацій.....	20
Розділ 2. Проектування модуля реалізації активного управління.....	21
2.1. Опис розроблюваного рішення	21
2.2. Підбір компонентної бази	24
2.2.1. Екструзійна установка.....	24
2.2.2. Модуль реєстрації технологічних параметрів	27
2.2.3. Плата для обчислювального забезпечення системи керування ...	29
2.2.4. Механізм протяжки.....	29
2.3. Виготовлення допоміжних компонентів	31
2.4. Алгоритмізація управління	32
Розділ 3. Дослідження впроваджуваного модуля активного управління ..	35
3.1. Підготовка до проведення досліджень	35
3.2. Проведення експериментів	36
3.3. Розрахунок математичної моделі системи положення волокна	38
3.4. Введення та налаштування регулятора контуру регулювання положення	42
3.5. Розрахунок математичної моделі контуру управління діаметром .	47
3.6. Введення та налаштування регулятора зовнішнього контуру	54
3.7. Результати дослідження	58
Розділ 4. Ресурсоефективність та ресурсозбереження	59
4.1. Передпроектний аналіз.....	59
4.1.1. Визначення потенційних споживачів	59

4.1.2. Аналіз конкурентних рішень	61
4.1.3. SWOT-аналіз.....	62
1.2. Ініціація проекту	65
1.2.1. Цілі та результати проекту.....	65
1.2.2. Організаційна структура проекту.....	66
1.3. Планування управління науково-технічним проектом.....	68
1.3.1. Ієрархічна структура робіт проекту	68
1.3.2. План проекту	69
1.3.3. Розрахунок трудомісткості виконання робіт	70
4.4. Бюджет науково-технічного дослідження.....	77
4.4.1. Розрахунок матеріальних витрат НТІ.....	77
4.4.2. Розрахунок амортизаційних відрахувань	79
4.4.3. Основна заробітна плата виконавців проекту.....	80
4.4.4. Додаткова заробітна плата виконавців проекту	82
4.4.5. Відрахування до позабюджетних фондів	83
4.4.6. Накладні витрати	84
4.4.7. Формування бюджету витрат науково-дослідного проекту.....	84
4.5. Визначення ресурсної (ресурсозберігаючої) та економічної ефективності дослідження.....	85
Висновки.....	88
Список використаних джерел	Error! Bookmark not defined.

Вступ

Сьогодні у сфері передачі оптичні волоконні лінії займають чільну роль. Вони покривають величезну площу нашої планети, щоб її мешканці могли скористатися безмежними ресурсами високої швидкості. Все ж таки перспективи поширення цієї технології ще дуже великі, і поки не можна сказати, що «оптика» є в кожному будинку.

Впровадження відбувається поступово, починаючи з мереж глобальних підприємств, потім побудови магістральних ліній, і вже, нарешті, масового розширення у містах задля забезпечення житлових будинків та організацій. Особливістю такого розвитку подій є дорожнеча використання оптоволоконних технологій, складність виробництва та обслуговуючого обладнання.

Однак на оптичні волоконні лінії є попит, і він зростає, тому що недорогі дротові технології не дозволяють впоратися з передачею того масиву інформації, з яким доводиться мати справу щодня. Особливо, коли йдеться про масову цифровізацію всієї нашої життєдіяльності.

Таким чином, дослідження в галузі методів передачі інформації як ніколи актуальні і будуть такими ще досить довго. У зв'язку з чим виникла ідея дослідження та виготовлення одного з видів оптичних ліній шляхом недорогої технології екструзії полімерного матеріалу. Даний метод реалізуємо за умови безпосереднього контролю за процесом виготовлення нитки.

Метою даної є дослідження застосування активного контролю за технологічними параметрами при виробництві світлопровідної полімерної нитки. Особливістю є використання технології екструзії полімерної сировини та досягнення високої якості кінцевого продукту безпосередньо при її виготовленні.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

1. проектування модуля активного контролю;
2. визначення компонентної бази;
3. здійснення апаратної частини системи;
4. програмна реалізація алгоритму управління;

5. проведення робіт із запуску та налаштування системи;
6. математичний опис об'єкта управління із проведенням досліджень.

Ключовим моментом роботи є впровадження у процес дослідження реальної експериментальної складової на устаткуванні з отриманням дослідних зразків світлопровідного волокна, що можливе при застосуванні комплексу теоретичних та практичних навичок у галузі автоматизації процесів.

Автоматизована система, що розробляється, дозволить оцінити можливість виготовлення полімерного світлопровідного волокна низької собівартості, маючи при цьому невисоку величину шлюбу. Також зменшується витрата сировини під час виготовлення нитки, за умови, що дана система спрямована на підвищення ефективності її переробки.

Альтернативні системи мають великі габаритні розміри, з підвищеною вартісною складовою та незначним поширенням. Пов'язано це передусім про те, що галузь інформаційних технологій і передачі перебуває у стадії розвитку та вдосконалення.

Потенційними споживачами виступають такі галузі як телекомунікації, інформаційні технології, медицина, і область застосування у вимірювальних приладах (зокрема атомна промисловість), і навіть повсякденне використання (освітлення, прикраса).

Об'єктом дослідження є світлопровідна полімерна нитка на виході екструзійної установки.

Мета роботи полягає у дослідженні застосування активного контролю за технологічними параметрами при виготовленні полімерної нитки методом екструзії.

В процесі дослідження були проведені експерименти виготовлення полімерної нитки з визначенням групи даних технологічних параметрів для встановлення математичної моделі об'єкта управління впроваджуваного блоку активного контролю для екструзійної установки.

В результаті дослідження встановлено можливість виготовлення полімерної нитки методом екструзії. Виконано програмну реалізацію алгоритму

автоматизованого управління. Отримано математичний опис системи керування активним контролем за технологічними параметрами за допомогою програми Matlab Simulink.

Ступінь застосування – дана робота проводиться за підтримки «Фонду сприяння інноваціям», ведуться дослідження над експериментальною установкою.

Області застосування даної системи, що дозволяє вдосконалити екструзійне обладнання, є виробництво полімерних світловодів для промисловості в атомній галузі та інформаційних технологіях.

Економічна ефективність/значимість роботи полягає у використанні технології екструзії полімерної сировини для виготовлення високоякісної світлопровідної нитки шляхом запровадження безпосереднього автоматизованого керування процесом виготовлення. Розробка дозволяє знизити витрати матеріалу під час виробництва, збільшити продуктивність устаткування, підвищити якість продукції.

У майбутньому планується розширити параметри дослідження при отриманні оптичного полімерного волокна технологією екструзії з метою поліпшення його технічних характеристик і масового впровадження в експлуатацію.

Ключові слова: полімерне оптичне волокно, екструзія, технологічні параметри, активний контроль, система автоматизованого керування, перехідний процес, регулювання.

Розділ 1. Аналітичний огляд у галузі досліджуваного об'єкта

1.1. Історія оптичного волокна

Як технологія передачі світла, закладена в оптичному волокні, історія відома ще з кінця XIX століття. Так у 1840 році Даніель Колладон і Жак Бабінет продемонстрували експеримент зі зміною напрямку світлового променя в струмені води шляхом заломлення (рисунок1). Потім цей же експеримент проводився Джоном Тіндаллом на лекціях у Лондоні, а в 1870 він представив книгу, що розкриває природу світла [1].



Рисунок 1 – Експеримент із відображенням світлового променя у струмені води Практичне застосування технології знайшлося лише у XX столітті. Так у

1920-х роках експериментатори Кларенс Хаснелл і Джон Берд показали, що існує можливість використання оптичних трубок для передачі зображення. А в галузі розвитку оптичного волокна став відомий 1952, а точніше індійський фізик Наріндер Сінгх Капані, який виготовив джгут зі скляних ниток, вперше згадавши термін «оптичне волокно», де для оболонки і серцевини використані волокна, що мають різні показники заломлення. Дзеркальна оболонка і прозоріша серцевина дозволяли уникнути розсіювання світла. Так вдалося досягти, щоб промінь повністю проходив відрізок оптичного волокна. У 1956 році Наріндер Капані вже представив удосконалену технологію, за якої через оптичне волокно передавалося зображення без спотворень і втрат [2].

Переломним моментом історія розвитку оптоволокна стала розробка фахівців компанії Corning в 1970 року. Їм вдалося створити провідник, здатний зберегти залишкову потужність (не менше 1%) оптичного сигналу під час

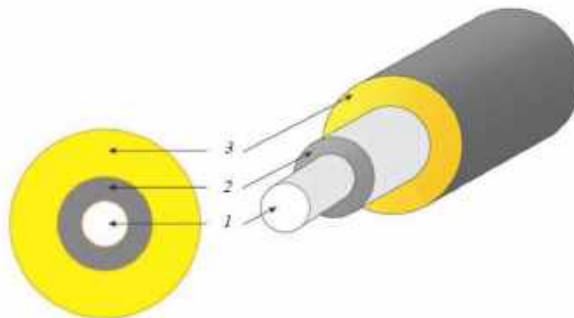
проходження сигналу на відстань одного кілометра. А використання однофазного волокна забезпечувало цілісність сигналу більшій відстані, проти початковим багатофазним волокном, це призвело до можливості передачі великих обсягів даних.

Перше полімерне оптичне волокно було отримано в 1960-х роках компанією DuPont, проте оптичне волокно з кварцового скла перевершувало його за характеристиками передачі сигналу. Так що полімерне оптоволокно особливої популярності на той момент не набуло.

1.2. Поняття оптичного волокна

З розвитком технологічного процесу науки збільшуються обсяги інформації, які треба як обробити, а й передати. Передача ж за допомогою мідних провідників стає ланкою, що гальмує, у сфері інформаційних технологій і призводить до втрати часу. Ресурс часу дуже обмежений і має високу значущість, тому винахід оптичного волокна став ключовим моментом розвитку ліній зв'язку.

Оптичне волокно – провідне, напрямне середовище, в якому передача інформації відбувається по діелектричних оптичних хвилеводів (за допомогою фотонів). Волоконно-оптична лінія зв'язку – це вид ліній зв'язку, в якому використовується оптичне волокно, будова якого представлена на рис2[3].



1 – сердечник; 2 – відбивна (оптична) оболонка; 3 – захисне покриття

Рисунок 2 – Пристрій оптичного волокна

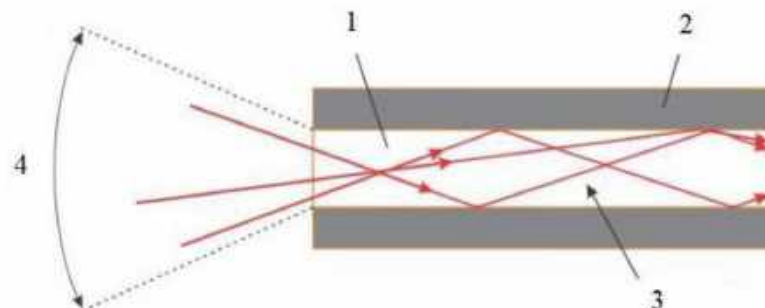
Діапазони характеристик кварцового оптичного волокна занесені до таблиці 1.

Таблиця 1 - Характеристики кварцового оптичного волокна

Параметр	Значення
Довжина хвилі оптичного випромінювання, нм	(100 – 1000000), частіше (760 – 1600) та рідше (380 – 760)
Показник заломлення (ПП) сердцевини	(1,4 – 1,5)
Діаметр осердя/оболонки, мкм	Багатомодове - 50/125, 62,5/125; одномодове – 9/125
Показник загасання сигналу, дБ/км	Має спектральну залежність, від 0,2 і більше
Швидкість передачі інформації, Гбіт/с	До 40 по одному каналу

Волоконно-оптичні лінії зв'язку мають найбільшу швидкість передачі інформації. Тбіт/с [4].

Оптичне волокно працює за принципом повного внутрішнього відображення, що відбувається у ньому. Показник заломлення оптичної оболонки менший за показник заломлення сердечника, а різниця становить близько 1%. Кути поширення світлових хвиль не перевищують деякого критичного значення. Хвилі зазнають повного внутрішнього відображення від оптичної оболонки, застосовується закон заломлення Снелліуса (рисунок 3).



1 – сердечник (світловод); 2 – відбивна оболонка; 3 – перебіг променів; 4 – кути вхідних променів

Рисунок 3 – Принцип функціонування оптичного волокна

Існує ряд параметрів, з яких описується оптичне волокно і яких залежить здатність передавати інформаційний сигнал [3].

Крім характеристик, представлених у таблиці 1, визначаються геометричні параметри – співвідношення діаметрів сердечника та оболонки, тобто неконцентричність (наявність відстані між центрами сердечника та оболонки) та некруглість (еліптичність сердечника та оболонки). Зважаючи на підвищення технологічності виробництва значення даних параметрів зводяться до мінімуму.

Числова апертура – синус максимального кута падіння променя світла на торець волокна, у якому виконується умова повного внутрішнього відбиття. Цей параметр визначає кількість мод, що розповсюджуються в оптичному волокні, також впливає на точність стикування між собою волокон. Числова апертура визначається за формулою (1):

$$NA = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_{серд}^2 - n_{обол}^2} = \sin \theta, \quad (1)$$

де n_0 – показник заломлення середовища навколо волокна, $n_{серд}$ – показник заломлення осердя волокна, $n_{обол}$ – показник заломлення оболонки волокна,

θ - Кут падіння променя світла на торець волокна щодо його осі.

Важливим є такий параметр, як профіль показника заломлення. Він буває ступінчастим (ПП однаковий у всіх точках поперечного перерізу сердечника) або градієнтним (ПП збільшується від оболонки до осі), а також існують складніші профілі.

Однією з основних характеристик оптичного волокна є показник загасання, який є зменшенням потужності оптичного сигналу в міру руху по волокну. Згасання є причиною поглинання (в результаті взаємодії з частинками сердечника та перетворення на тепло) та розсіювання світла (відхилення від вихідної траєкторії поширення з причин неоднорідності та структури волокна). Значення коефіцієнта згасання залежить від довжини хвилі випромінювання, спостерігається спектральна залежність.

Існує характеристика, яка зрештою визначає швидкість і дальність передачі, називається дисперсією. По-іншому, розширення імпульсу визначається залежністю фазової швидкості поширення світла від довжини хвилі випромінювання. Даний параметр необхідно враховувати, оскільки існує така картина, коли при подачі імпульсів з високою частотою вони перекриваються в часі, виникає сигнал з помилками на приймачі.

Описані вище характеристики притаманні будь-якому оптоволокну, але існують фундаментальні параметри, якими розрізняють тип оптоволокну. По-перше, це матеріал, з якого виготовляють оптоволокну. В основному використовують кварцове скло з різним складом, але також набуває широкого поширення оптоволокну з полімерних матеріалів. По-друге, поділяють на два класи за кількістю просторових мод (стабільних станів електромагнітного поля), що поширюються, - одномодові і багатомодові. На відміну від одномодових волокон, багатомодові волокна мають більше обмеження дальності передачі сигналу і швидкості, а також вище значення загасання. Це з проявом межмодової дисперсії [3].

Число мод визначається за параметром V , який визначається за формулою (2):

$$V = \pi \cdot d / \lambda \cdot NA, \quad (2)$$

де d – діаметр серцевини оптоволокну, мкм,

λ – Довжина хвилі, мкм,

NA – Чисельна апертура.

У результаті можна виділити кілька основних видів широкопоширених типів оптоволокну:

- кварцове одномодове;
- кварцове багатомодове;
- кварцове оптичне волокно із полімерною оболонкою;
- полімерне багатомодове;
- полімерне одномодове.

Останні два типи волокна, особливості яких описані в наступному пункті, становлять інтерес в цій роботі.

1.3. Полімерне оптичне волокно

Полімерні оптичні волокна використовуються, коли йдеться про передачу інформації на невеликі відстані (сотні метрів).

Зі зростанням різноманітності полімерних матеріалів та поліпшення їх властивостей, а також високої потреби в системах зв'язку з передачею оптичного сигналу зі швидкістю кілька гігабіт за секунду домашніх та організаційних мереж, особливо при відносно коротких лініях зв'язку (десятки-сотні метрів), призводять до можливості використовувати полімерні оптичні волокна (ПОВ) [5]. Перспективи розвитку дуже великі, тому що у світі вся оптоволоконна інфраструктура не справляється, що пов'язано з бурхливим зростанням пристроїв інтернету речей, а також переходу на 5G-мережі.

ПОВ в даний час стоять поряд з мідними проводами, коаксіальними кабелями, крученими парами, а при передачі інформації на невеликі відстані – навіть із поширеними кварцовими волокнами. Але щоб досягти високих показників під час передачі інформації, виготовлення ПОВ пов'язані з низкою особливостей.

Структура ПОВ схожа за будовою на кварцову, також має три основні складові (сердечник, оболонка та захисне покриття) (рисунк2).

Як матеріал для сердечника використовують такі види полімерів [5]:

- поліметилметакрилат (ПММА);
- полістирол (ПС);
- полікарбонат (ПК);
- фторовані полімери.

Матеріалами оболонки є полімери, що мають показник заломлення менше на невелику величину, ніж у сердечника, і забезпечують хорошу адгезію до нього.

Характеристики для оптичних полімерних волокон зведені в таблицю 2[6].

Таблиця 2 - Характеристики полімерного оптичного волокна

Параметр	Значення
Матеріал виготовлення оболонки	поліетилен (ПЕ), хлорований ПЕ, поліамід (ПА), полівінілхлорид (ПВХ)
Коефіцієнт світлопропускання (довжина хвилі (400 - 760) нм), %	ПММА: (89 - 92); ПС: (85 - 90); ПК: 86
Довжина хвилі оптичного випромінювання, нм	(360 - 2000)
Показник заломлення (ПП) сердечника	ПММА: 1491; ПС: 1,590; ПК: 1,586
Робоча температура, °С	ПММА: 85; ПК: 140
Діаметр сердечника/зовнішньої оболонки, мкм	(200)- 1000)/на(20) - 50) більше діаметра сердечника
Показник загасання сигналу, дБ/км	Має спектральну залежність, від 0,15 і більше
За кількістю поширення мод	Одномодові та багатомодові

Стійкість полімерів до впливу радіації одна із умов застосування полімерного оптоволокна у сфері атомної промисловості. Вона залежить від будови на молекулярному рівні. Так найбільшу стійкість мають полімери, що мають у складі макромолекули бензольні ядра. Серед радіаційно-стійких полімерів застосовують такі, як ПС, ПЕ, поліаміди, ПММА [6].

Переваги оптичних полімерних волокон у порівнянні з кварцовими

полягають у володінні наступних характеристик: менша вартість, більш висока гнучкість, а також менша маса. Менша маса при більшому діаметрі сердечника (у типовому випадку – близько 1 мм) полегшує операції зі з'єднання оптоволокон. Зменшуються вимоги до точності виготовлення та встановлення конекторів. Як джерела випромінювання при використанні видимого спектру можуть бути застосовані дешевші лазери та світлодіоди [5].

Головна перевага ПММА перед іншими світлопровідними полімерами полягає у найбільшому коефіцієнті світлопропускання, практично відповідаючи показнику для кварцового скла.

Всі ці особливості ведуть до можливості зменшення загальної вартості полімерної оптоволоконної системи.

Процес виготовлення полімерного оптичного волокна з ПММА виробництві заснований на технології міжфазної гель-полімеризації. Полягає він в отриманні заготовки під певною температурою і за часом полімеризацією метилметакрилату з використанням агента перенесення ланцюга та ініціатора полімеризації, з подальшою витяжкою у волокно. Діаметр волокна визначається лише швидкістю витяжки, відсутні активні системи контролю. Подальший процес нанесення оболонки є комплексним досить складним процесом при формуванні кабельної лінії, а структура має кілька шарів, які описані в статті [7].

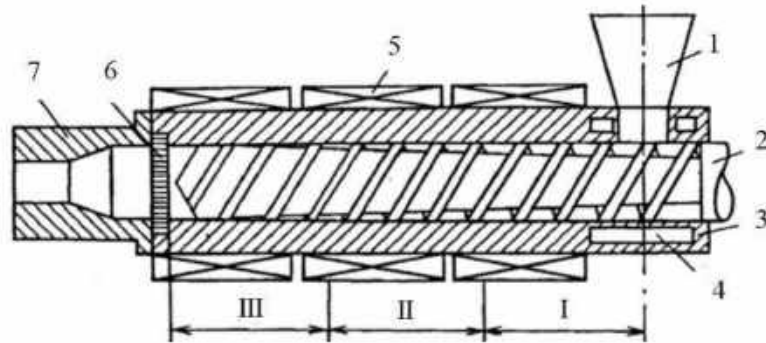
Широка сфера застосування, невисокі вимоги до точності виготовлення, порівняно з кварцовим волокном, поліпшення характеристик полімерних матеріалів, здешевлення виробництва - все це говорить про великі перспективи розвитку полімерного оптичного волокна, і про необхідність виробляти і досліджувати даний продукт.

1.4. Метод екструзії

Екструзія – це технологічний метод, призначений для переробки полімерних матеріалів. У ньому використовується безперервне просування та видавлювання полімерів через формуючу головку, при цьому відбувається нагрівання та розплавлення матеріалу. Профіль виробу та заготівлі визначається формою вихідного каналу [8].

Структура одношнекового екструдера представлена на рис.4.

Процес екструзії здійснюється послідовно, шнек просуває матеріал по ділянках екструдера (зони I-III (рис.4)), у яких відбувається певний етап цілого процесу.



1 – бункер; 2 – шнек; 3 – циліндр; 4 – порожнина для охолоджувальної рідини; 5 – нагрівач; 6 – грати; 7 – формуюча головка

Рисунок 4 – Структура екструдера

I зона – живлення екструдера, II зона – пластикація полімерів, III зона – дозування розплаву. Існує також зона, в якій відбувається видавлювання розплаву через канал формуючої голівки.

Розподіл на ділянки умовний, виконано для загального уявлення, оскільки процес екструзії залежить багатьох чинників. Наприклад, тип полімеру, температура обробки, швидкість обертання шнека - впливають на загальний процес, зміщуючи зони.

Якість екструзії залежить від виду вихідної сировини (гранули, порошок, стрічки), і чим рівномірніше воно, тим вища якість.

На першому етапі відбувається надходження сировини з бункера та ущільнення в просторі між витками шнека в зоні I. Зменшується глибина нарізки шнека дозволяє проводити ущільнення і стиск сировини в зоні I. Різниця значень сил тертя полімеру між внутрішньою стінкою циліндра і поверхнею шнека сприяє руху гранул сировини.

При переході в зону II відбувається нагрівання та початок плавлення полімеру, що прилягає до поверхні циліндра. Розплав поступово накопичується

та впливає на пробку, зменшуючись у ширину. Оскільки глибина різблення шнека зменшується в міру просування матеріалу із зони I в зону III, тиск, що виникає, змушує пробку щільно притискатися до гарячої стінки циліндра, і полімер плавиться.

Корок, що утворюється, починає розпадатися на окремі фрагменти в кінці зони II. У наступну зону, зону дозування потрапляє розплавлена маса з твердими включеннями.

Просування розплаву з частинками твердого полімеру, що називається гетерогенною речовиною, супроводжується виділенням тепла, пов'язаного зі зсувними деформаціями в ньому. Продовжується гомогенізація речовини, яка проявляється у вигляді однорідної розплавленої маси, із усередненою в'язкістю та температурою розплавленої частини.

При екструзії основними технологічними параметрами є температура нагрівання полімеру, тиск розплавленої маси, температура зонування, режими охолодження продукту, а також швидкість екструзії.

При використанні сировини з дуже високою в'язкістю розплавленого матеріалу перешкоджає виготовлення виробів методом екструзії, приводячи до різних дефектів через великий опір перебігу розплаву, виникає нестійкий режим руху потоку [8].

Найбільш широке поширення термопластів, що застосовуються для екструзії, набули ПЕ, ПП, ПС, ПК та ін. Полімер ПММА може бути оброблений як литтям, і методом екструзії. Це визначається попередньою підготовкою термопласту.

1.5. Методи активного контролю за технологічними параметрами

Існують різні методи вимірювання фізичних параметрів світлопровідної полімерної нитки. У цьому дослідженні розглядаються положення та діаметр полімерної нитки, зміна яких впливає на результуючу якість продукту.

Вимірювання діаметра полімерної нитки може відбуватися різними методами. У таблиці 3 зведено основні способи [9].

Таблиця 3 – Способи вимірювання діаметра нитки

Тип способу	Переваги	Недоліки
Механічний з використанням ручного інструменту (контактний), наприклад, штангенциркуль, мікрометр.	Метод дешевий, швидкий при одноразових вимірах.	Висока похибка вимірювань, низька швидкість при багаторазових вимірах.
Пневматичні (контактний/безконтактний)	Можливість використання методу у випадках, де інші неможливі.	Невисока точність, складність конструкції.
Оптичні (Безконтактний), наприклад, лазерні прилади.	Щодо проста реалізація, висока точність, відсутність контакту з вимірюваним об'єктом.	Неможливість застосування в середовищі, де проходження оптичного променя утруднено.
Електричні (Безконтактний), наприклад, індуктивні прилади.	Висока точність та швидкість вимірювання.	Висока ціна, вимір можливий для металевих об'єктів

Визначення діаметра полімерної нитки часто провадиться за фактом її виготовлення механічними методами, тобто відсутня безперервний контроль у процесі виготовлення. Введення безпосереднього контролю під час виробництва є одним із методів покращення якості кінцевого продукту.

Ефективність оптичного методу вимірювання діаметра в даному випадку найбільша, з огляду відсутності фізичного контакту з матеріалом і можливістю створення керуючого впливу при формуванні готової нитки на етапі полімеризації (нитка пластична) безперервно при її виробництві.

Серед оптичних методів вимірювання діаметра у разі розрізняють [10]:

- метод затінення;
- метод триангуляції;
- метод світлового перерізу.

Так як у розробці контролюється одночасно два фізичні параметри, і процес обробки показань цих параметрів складають деяку залежність, тоді найбільш підходящим методом є метод затінення.

1.6. Огляд вітчизняних та зарубіжних публікацій

Дослідження статей та публікацій видавництва Elsevier на сайті ScienceDirect дозволило перейнятися у проблематику та сучасний стан розвитку технологій та науки з обраної тематики. Аналіз статей призводить до постановки та шляхів вирішення проблем, а також методів дослідження з кожного типу завдань, що становлять основу магістерської дисертації.

Наприклад, статті [11,14, 17,19,20] демонструють дослідження методу та можливостей друку за технологією FDM та параметри екструзії матеріалу. Аналіз статей [13, 15, 16] показав, що додавання різних, точно певних компонентів у матрицю термопластика дозволяє отримати нові типи матеріалів, з характеристиками, значно що виділяються експлуатаційну якість на тлі існуючих. Було знайдено статтю [12] про дослідження певного виду шнека у вигляді конусного пропелера, яке становить визначальне значення при екструзії матеріалу, що позначається на властивостях видавлюваного матеріалу.

У статті [18] дуже детально представлено виготовлення екструдера, що є аналогом нашої розробки, але таким, що поступається в плані технології активного контролю. У статті [5] наведено типи полімерів і можливості виготовлення для створення ниток, що оптично проводяться. Вчені з університету ІТМО у жовтні 2020 року представили варіант модернізації оптичного волокна, при якому забезпечується більш ефективна передача даних, що представлено в статті [21]. Вчені з Нідерландів, США та Китаю опублікували в журналі Nature Photonics результати дослідження з рекордного досягнення швидкості передачі інформації з оптоволокна до 255 Тбіт/с. А інженерам з Німеччини в 2019 році вдалося досягти швидкості передачі по одному каналу до 500 Гбіт/с. У разі огляд статей показує високу зацікавленість світової вченої спільноти як тематикою екструзії матеріалів, так і областю досліджень оптичного волокна. Все це може також говорити про великі перспективи розвитку полімерного оптичного волокна.

Розділ 2. Проектування модуля реалізації активного управління

2.1. Опис розроблюваного рішення

При розробці системи увага орієнтована на процес підвищення якості виготовлення полімерної нитки (полімерного світлопровідного волокна). У цьому проекті це реалізується шляхом впровадження модуля програмно-апаратної частини до системи екструдювання полімерної нитки за допомогою екструдера.

Конструкція пристрою, що розробляється, подається у вигляді модульної системи. Модульність конструкції забезпечує простоту виготовлення, легкість модернізації, зручність використання та обслуговування.

Пристрій поділено на такі частини. Компонентні модулі:

- шнекова система;
- нагрівальна система;
- приводний двигун із редуктором;
- блок живлення;
- модуль керування шнеком;
- блок реєстрації технологічних параметрів;
- модуль витяжки полімерного волокна;
- система охолодження;
- центральний блок керування системою;
- корпус пристрою.

Система автоматизованого управління діаметром світлопровідного волокна екструзійної установки, що розробляється, володіє наступними функціями:

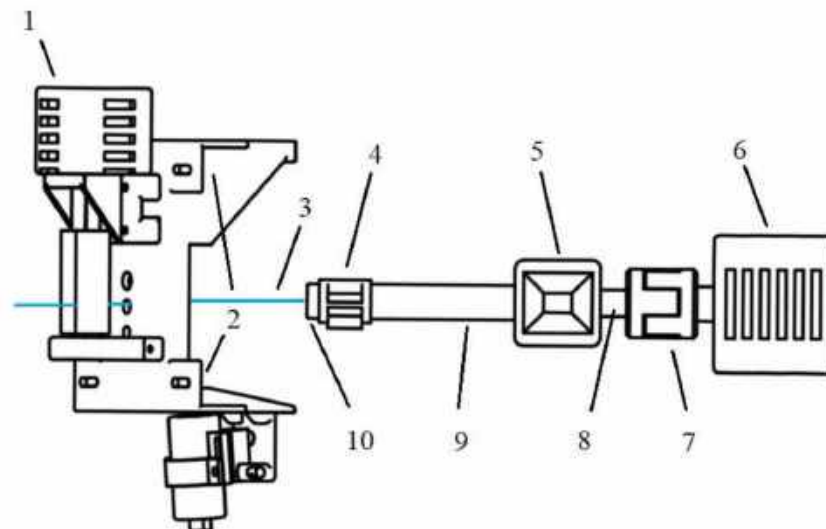
1. визначення положення волокна на виході екструзійної установки;
2. розрахунок діаметра волокна в режимі реального часу під час

виготовлення;

3. керування температурою нагрівання сировини екструзійної установки;
4. керування швидкістю подачі сировини;
5. регулювання швидкості протягування світлопровідного волокна;
6. збір та обробка інформації в контролері про положення та діаметр.

Система представляє собою модуль, репрезентуючий собою доповнюючу компоненту екструзійної установки. Він націлений на здатність бути встановленим в екструзійні системи з мінімальними змінами в компонентному та програмному забезпеченні.

На рис 5 представлено схему системи.



1 – механізм протяжки; 2 – блок контролю параметрів; 3 – світлопровідне волокно; 4 – нагрівальний елемент; 5 – бункер для сировини; 6 – електричний привід; 7 - механізм передачі крутного моменту; 8 – вал шнека; 9 – циліндр шнека; 10 - формуюча головка (фільєра)

Рисунок 5 – Схема системи полімерної нитки

Процес виготовлення світлопровідного волокна та формування його діаметра описаний нижче.

Полімерні гранули, сировина для виготовлення волокна, знаходяться в бункері. певну форму у вигляді кола з діаметром, у нашому випадку, 2 мм.

волокно безперервно природно і примусово починає охолоджуватися, витягується за допомогою механізму протяжки, після якого вже набуває остаточної форми. Так сукупність впливів на волокно від фільтри до виходу з механізму протяжки є визначальним для формування готового продукту. Через вплив протяжки, поки волокно не затверділо, відбувається зміна її форми, є розтягнення продукту під зовнішніми впливами. Щоб його регулювати, в систему під час виробництва закладається параметр положення у просторі на цій ділянці, що впливає на діаметр. З огляду на відсутність безпосереднього контролю діаметра при цьому процесі виникають стрибкоподібні, нерівномірні рухи продукту, діаметр має хвилюподібну форму.

Пропозиція введення безпосереднього регулювання діаметра полімерного волокна є необхідністю запобігання неприпустимій формі готового продукту.

З технічної точки зору роботи системи та для проведення експериментів визначено два контури. Оскільки є залежність значення діаметра від положення волокна при зовнішній дії протяжки, контури включаються каскадно (рисунок 6). Запланована похибка волокна при цьому управлінні повинна становити не більше $\pm 0,02$ мм.

Подано два контури, де зовнішній – регулює діаметр волокна, внутрішній – положення.

На рис 6 представлено схему системи управління.

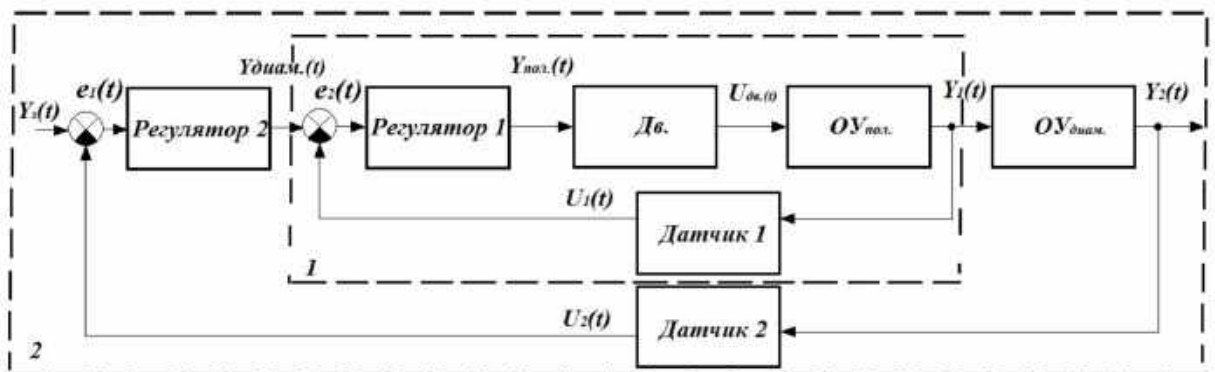


Рисунок 6 – Схема системи управління

Завдання значення діаметра полімерної нитки $Y_3(t)$ надходить на вхід системи у зовнішній контур. У суматорі обчислення відхилення (помилки неузгодженості) $e_1(t)$ фактичного значення $U_2(t)$ з Датчика 2 (вимір діаметра) від заданого $Y_3(t)$. Обчислене значення відхилення надходить у Регулятор 2, який, використовуючи необхідні, відповідно до $e_1(t)$ алгоритми, виробляє керуючу дію $Y_{\text{діам.}}(t)$. Ця дія є сигналом для внутрішнього контуру. Помилка неузгодженості $e_2(t)$ – результат обчислення різниці між $Y_{\text{діам.}}(t)$ та $U_1(t)$ з Датчика 1 (вимір положення) – є вхідним сигналом для Регулятора 1. Той у свою чергу також виробляє необхідний керуючий сигнал $Y_{\text{пол.}}(t)$ на механізм протяжки Дв., який впливає на полімерне волокно та її положення ОУпол.. Положення волокна щодо екструдера $Y_1(t)$, або сигнал з ОУпол., надходить на Датчик 1 у зворотному зв'язку, а також впливає на сам діаметр ОУдіам.. Значення діаметра $Y_2(t)$ є вихідний змінної системи управління, також даний сигнал йде на Датчик 2 числового значення при обчисленні помилки.

Регулятори, впливаючи на ОУ, зменшують помилки неузгодженості, та при точному налаштуванні, $e_1(t)$ і $e_2(t)$ прагнуть до нуля. Це означає, що на виході системи забезпечується стабільний діаметр полімерного волокна з високою точністю при виробництві. Однак варто враховувати, що висока точність залежить ще від інших факторів, наприклад, якості екструзії, зовнішнього на систему.

2.2. Підбір компонентної бази

2.2.1. Екструзійна установка

Виробництво світлопровідного полімерного волокна було вирішено виконати методом екструзії. Для реалізації цього рішення застосовується екструзійна установка, на основі BestRuder від компанії Bestfilament. Опишемо компонентні блоки.

Застосовується шнековий модуль, зовнішній вигляд якого представлений рис7.



Рисунок 7 – Шнековий модуль з бункером та механізмом передачі крутного моменту на вал

Нагрівальний елемент 220 кільцевого типу, забезпечує рівномірний прогрів сировини, зовнішній вигляд якого представлений на рис.8.



Рисунок 8 – Кільцевий нагрівальний елемент екструдера

Забезпечення обертання шнека та видавлювання сировини здійснюється асинхронний двигун з редуктором. Управління виконує блок FX1000A. Характеристики двигуна представлені в таблиці.4[24].

Таблиця 4 – Технічні характеристики двигуна DKM із редуктором

Параметр	Значення
Найменування	9SDGC-60F2P
Живлення, В	220
Потужність, Вт	60

Діапазон швидкості, об/хв	регулювання	(90 - 1400)
Номінальний крутний момент, мН·м		490 при 1200 об/хв, 140 при 90 об/хв
Вбудований захист		Теплова спрацьовування при 130 °С

Управління нагріванням із видачею команди на можливість запуску двигуна для обертання валу шнека здійснюється за допомогою регулятора Sestos D1S Digital PID.

Характеристики регулятора представлені у таблиці 5[25].

Таблиця 5 – Технічні характеристики регулятора

Параметр	Значення
Найменування	Sestos D1S
Живлення, В	(12 – 24)
Діапазон контрольованої температури, °С	(-200 – 600) для PT100
Точність контролю, °С	0,1
Період опитування, з	0,5
Тип використовуваних датчиків	К, S, Wre, Т, Е, J, В, N, С, U50, PT100
Тип регулювання	ПІД

Зовнішній вигляд регулятора представлений на рис9.



Рисунок 9 – Регулятор температури нагрівача екструдера

2.2.2. Модуль реєстрації технологічних параметрів

Для вимірювання положення та діаметра оптичного волокна, яке в процесі виготовлення знаходиться у розм'якшеному стані, вплив контактними вимірювальними приладами неприпустимий. В огляді було розглянуто різні методи вимірювання, але вирішено використовувати оптичний безконтактний метод затінення, оскільки зовнішній вплив інших методів негативно впливає на якість продукту.

Для реалізації цього методу використовується датчик лінійного зображення. Було розглянуто два датчики: TSL1401 та TCD1304DG (на рис 10 показаний зовнішній вигляд датчика TCD1304DG). Враховуючи переваги технічних характеристик (таблиця 6) кожного виду, при проведенні експериментів використовувалися обидва датчики.



Рисунок 10 – Зовнішній вигляд датчика TCD1304DG

Основні технічні характеристики зведені до таблиці 6 [26,27].

Таблиця 6 – Технічні характеристики датчиків лінійного зображення.

Параметр	Значення	
Тип датчика	TSL1401	TCD1304DG
Напруга живлення, В	(3 – 5)	(3 – 5,5)
Частота роботи, МГц	До 8	До 2
Кількість пікселів, шт	128	3648
Щільність пікселів, пікс/дюйм	400	3175
Відстань між пікселями, мкм	8	8

Ціна, грн	100	320
-----------	-----	-----

Для проектованого рішення датчик служить для визначення зони незасвічених пікселів, перетворення сигналу з яких у звичний для людини вигляд значення положення, а потім програмного обчислення діаметра волокна.

Для отримання достовірних даних датчика важливо забезпечити падіння променя світла на пікселі датчика при його прямолінійному проходженні від джерела світла до датчика лінійного зображення. Використання лампи розжарювання або світлодіодів побутового застосування не справляються з цим завданням, оскільки мають розсіяний промінь світла і не забезпечують точного освітлення пікселів датчика, для цього використовується лазер невисокої потужності. Вирішено використовувати найдоступніший варіант від фірми Laserland.

Основні технічні характеристики лазера, що використовується, наведені в таблиці 7, а зовнішній вигляд якого представлений рис 11.

Таблиця 7 – Технічні характеристики лазера LaserLand

Параметр	Значення
Живлення, В	5
Потужність, мВт	100
Довжина хвилі, нм	(635 - 850)



Рисунок 11 – Лазер Laserland

У сукупності компоненти лазера і датчика є модуль для реєстрації

технологічних параметрів, які взаємодія і управління становлять систему.

2.2.3. Плата для обчислювального забезпечення системи керування

Як плати, яка об'єднуватиме апаратні частини системи в єдиний модуль, забезпечувати подачу сигналів для управління процесом обрано найбільш поширену для навчання і створення нескладних систем плату Arduino Uno на базі мікроконтролера AVR Atmega328P-PU. Ця плата підходить з її ключових особливостей, розглянутих нижче [28].

1. Широкий діапазон живлення плати: (7 – 12) (рекомендований), - зручність підключення до зовнішнього блоку живлення.
2. Робоча напруга: 5 В, - проста інтеграція з датчиками, персональний комп'ютер.
3. Підтримка цифрових входів/виходів з ШІМ для управління швидкістю обертання двигунів: 6 шт.
4. Підтримка аналогових входів для зчитування даних із датчиків: 6 шт.
5. Частота роботи: 16 МГц - період дискретизації таймера 0,0625 мкс, що дозволяє реалізувати переривання за таймером, необхідні для вирішення завдань вимірювання положення та обчислення діаметра волокна, здійснити регулювання контурів управління.

2.2.4. Механізм протяжки

Було розглянуто два двигуни для забезпечення функціонування протягування волокна. Перший двигун постійного струму колекторного типу IG22C0110-401K1R у складі з понижувальним редуктором та передачею моменту до валів намотника через зубчасту передачу має високу інерційність і слабо піддається точному регулюванню, має значні втрати при передачі моменту.

Для виконання якісного управління з мінімальними інерційними складовими, можливістю точно та ефективно здійснити протяжку був обраний кроковий двигун з прямим приводом NEMA 17 42BYGH47-401A (рисунок12).

Технічні характеристики представлені у таблиці8.



Рисунок 12 – Кроковий двигун NEMA 17 42BYGH47-401A

Таблиця 8 – Технічні характеристики крокового двигуна

Параметр	Значення
Модель	NEMA 17 42BYGH47-401A
Крок, градуси	1,8
Напруга живлення постійного струму ,В	12
Струм, А	1,2 (2 фази)
Момент утримання, кг·см	4,4
Кількість висновків	4

Для безпечного та максимально ефективного керування кроковим двигуном використовується драйвер ТВ6600 (малюнок13). Технічні характеристики представлені у таблиці9.



Рисунок 13 – Драйвер керування кроковим двигуном TB6600

Таблиця 9 – Технічні характеристики драйвера крокового двигуна

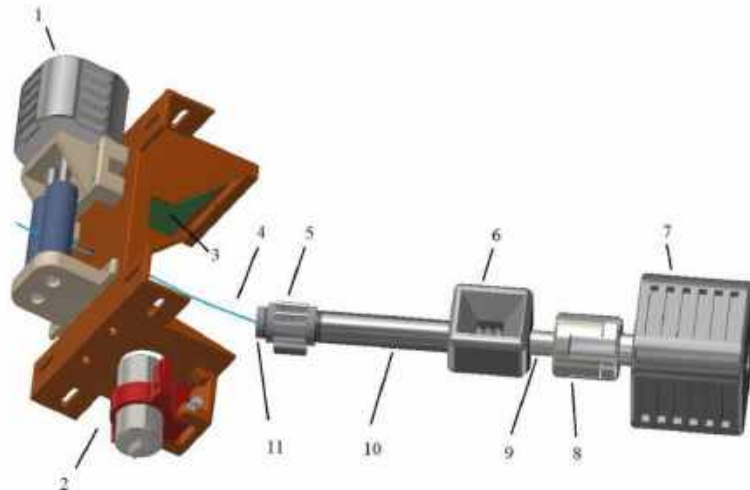
Параметр	Значення
Модель	TB6600
Точність, кроків	32
Сумісність, тип крокового двигуна	42, 47, 86; (2 фази)
Напруга живлення постійного струму, В	(10 – 42)
Струм, А	1,5 (піковий 3,0 А)
Захист, тип	Температурна та захист від перевантаження по струму

2.3. Виготовлення допоміжних компонентів

Для функціональної реалізації системи, проведення експериментів та досліджень було вирішено створити самостійну основу (каркас), на якій будуть розміщуватись компоненти. Також є такі компоненти, як кріплення механізму протяжки, кріплення лазера. Завдяки каркасу забезпечується можливість регулювання та точного підстроювання взаємно розташованих компонентів системи, дозволяє скоригувати напрямок поширення світлового променя лазера

на датчик, а також тіні, що створюється полімерним волокном.

На основі обраного обладнання за допомогою САПР Autodesk Inventor було отримано 3D-модель каркасу. На рис 14 представлений загальний вигляд моделі-складання.



1 – механізм протяжки; 2 – корпус з тримачем лазера; шнека; 10 – циліндр шнека;

Рисунок 14 – Модель системи, побудова якої здійснювалася з допомогою САПР

2.4. Алгоритмізація управління

Під час роботи датчик засвічується лазерним приладом, тобто всі пікселі перебувають у стані перетворення електричного заряду в тих, на які потрапило світло. У процесі читання кожного пікселя приймається рішення про виявлені об'єкти датчика. Так об'єкт, а саме полімерне волокно, що досліджується, перетинаючи промінь лазера, відкидає тінь на відповідних пікселях. Хоча і волокно є світлопровідним, зона за ним залишається затінена, через різні значення показників заломлення середовища і волокна, а також відсутності контакту з ним. Кількість пікселів, що опинилися в тіні об'єкта використовуються для визначення його положення, також сприяють обчисленню розміру поперечного перерізу волокна, що в свою чергу може говорити про

діаметр об'єкта, так як форма фільєри на виході екструдера має круглий переріз.

У сукупності при написанні програмного забезпечення та з урахуванням особливості роботи датчика період опитування та обробки даних із датчика склало 17 мс, це реалізовано в основному циклі програми. Отримані дані необхідні подальшому проведенні експериментів.

Програмне забезпечення для двигуна протяжки реалізовано за принципом переривання таймером, вбудованого в плату управління Arduino. Це необхідно, щоб забезпечити точну та своєчасну роботу програми без затримок на видачу імпульсів із певною частотою. Також за цим принципом реалізовано регулятори контурів управління.

Зараз використовується П-регулятор, налаштований вручну для проведення експериментів.

Код алгоритму не представлений, тому що є основою для формування цілісного ПЗ, і надалі планується подання заявки на патентування програми для ЕОМ.

Так у програмному забезпеченні був відпрацьований алгоритм відповідно до часової діаграми лінійного датчика зображення (рисунок 15).

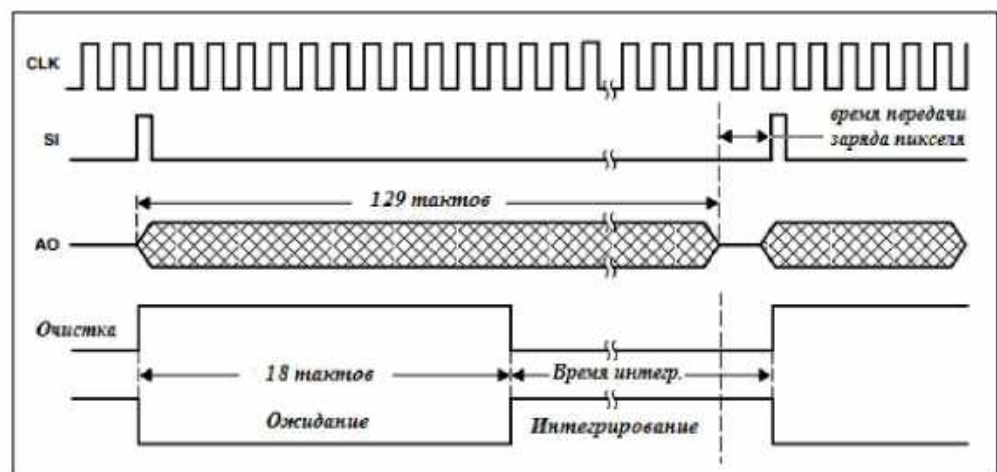


Рисунок 15 – Тимчасова діаграма фотодіодного датчика

Час інтегрування – це між позитивними імпульсами SI (Початок інтегрування) з відрахуванням 18 тактів очікування (синхроімпульсів).

Посилання позитивного імпульсу в SI запускає новий цикл очищення та запису даних пікселів та налаштування інтеграції. Повинно статися мінімум $(n + 1)$ тактових імпульсів, де n – кількість пікселів, доти, як наступний позитивний імпульс буде поданий SI.

Змінюючи час інтегрування, можна отримати бажану вихідну напругу на виводі, уникаючи насичення широкого діапазону рівня освітленості.

Для керування кроковим двигуном механізму протягування використовується спеціалізований драйвер TB6600, який виконує перемикання фаз двигуна. Драйвер підключається до контролера і отримує сигнали на дозвіл запуску, напрямок та імпульси на обертання двигуна.

У програмі preset встановлюється період роботи таймера переривань, з частотою якого подаються сигнали на керування двигуном. Також у цьому блоці визначаються інші параметри, наприклад, встановлюється швидкість передачі послідовного з'єднання режим роботи висновків контролера.

У програмі реалізована процедура на здійснення синхроімпульсу, необхідного для роботи датчика, а також функції інтегральної та диференціальної складових регулятора, які потім за відповідним законом застосовуються та видають сигнал, спрямований на зменшення помилки неузгодженості.

В основному телепрограми відбувається читання та обробка даних із датчика. Виконується обчислення значення діаметра, описується закон управління, виведення даних через послідовний порт на екран комп'ютера обробки отриманих значень положення, діаметра, помилки неузгодженості, і навіть завдання цільового значення діаметра (положення волокна).

Розділ 3. Дослідження впроваджуваного модуля активного управління

3.1. Підготовка до проведення досліджень

Суть проведення експериментів – отримання даних із датчика та параметрів процесу для визначення математичної моделі системи з подальшим синтезом регулятора, застосуванням його в реальних умовах з перевіркою відповідності реакції отриманої системи при стабілізації діаметра того, що було визначено математично.

Запуск обладнання включає комплекс заходів, націлених на безпечний пуск та підтримку в роботі системи з використанням вибраних компонентів. Облік різних параметрів, які впливають процес виготовлення волокна, при налаштуванні системи вимагає ретельного підходу, оскільки дослідження має бути максимально об'єктивно. Також має спостерігатися повторюваність результатів експерименту.

Список параметрів, що враховуються під час запуску обладнання та виготовлення волокна за допомогою екструзійної установки:

- температура екструдуювання сировини;
- швидкість валу шнека подачі сировини;
- взаємне розташування датчика, фільєри та механізму протягування полімерного волокна;
- період дії двигуна протяжки;
- частота переривань процесі регулювання при утримання положення нитки;
- примусове охолодження.

За допомогою пакетів прикладних програм математичних розрахунків PTC Mathcad, Matlab Simulink та електронної таблиці Microsoft Excel обробляються дані експериментів, визначаються параметри знаходження коефіцієнтів ПФ, моделюються системи, синтезуються регулятори.

3.2. Проведення експериментів

Як приклад впливу параметрів процесу виготовлення на якість отриманого осердя полімерного волокна показані зразки, представлені на рис 16.

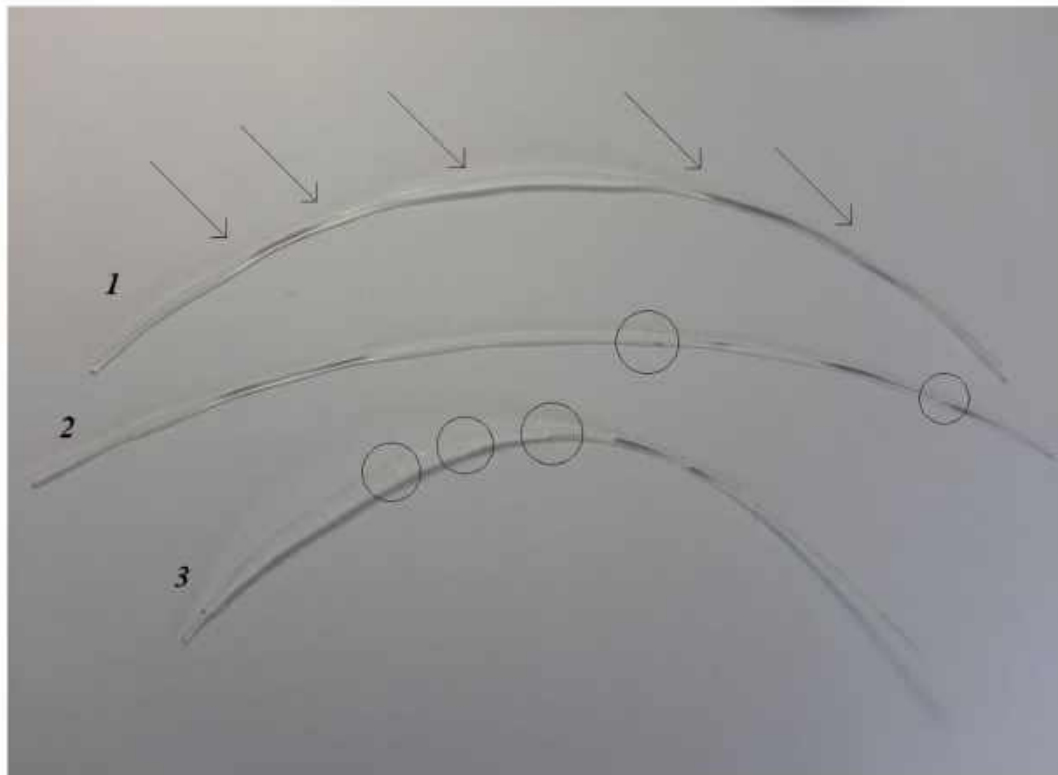


Рисунок 16 – Зразки отриманої полімерної нитки під час проведення експериментів

Було встановлено, що за високої температури сопла екструдера більше 220 °С утворюється безформна маса, що випливає з фільери, що перешкоджає утворенню продукту, що є показником невдалої настройки параметрів. Експериментально та з урахуванням вимог виробника гранул полімерів ПММА, обрана температура 200 °С.

На рис 16 на зразку 1 помітний дефект хвилеподібної форми волокна, що говорить про нерівномірний процес затвердіння і сильний вплив двигуна протяжки. Шляхом встановлення температури сопла екструдера в 200 ° С і встановлення примусового охолодження, волокно виходить правильної форми, рівномірного профілю.

На рис16 на зразку 2 помітний дефект нерівномірної структури (бульбашки повітря), що говорить про низьку швидкість подачі матеріалу, так як двигун протяжки витягує матеріал з фільєри значно сильніше, ніж він видавлюється шнеком при подачі.

На рис16 на зразку 3 помітні зміни у формі, пов'язані з рівномірно чергується впливом двигуна, згідно з програмою, і відображає вплив впливу двигуна протяжки на діаметр нитки, що виготовляється. Структура нитки відповідає вимогам, без бульбашок повітря.

Зміна положення полімерного волокна у процесі експериментів представлена рис17.



Рисунок 17 – Зміна положення волокна при дії двигуна-протяжки з реєстрацією даних

Суть експериментів полягала в тому, щоб налаштувати систему до стану, коли світлопровідна полімерна нитка мала б структуру, що відповідає зразку 3 малюнка16. Проводячи маніпуляції щодо зміни параметрів, представлених на початку розділу, досягли відносно стабільне отримання полімерної нитки (а також повторюваність даних з датчика в результаті експерименту, про цикл роботи програмного забезпечення), достатнє для проведення досліджень управління, про які йтиметься у наступних розділах.

3.3. Розрахунок математичної моделі системи положення волокна

Проводячи серію експериментів з знаходження математичної моделі внутрішнього контуру, відповідно до алгоритму програми, через кожен вибраний момент часу подавалися сигнали на двигун протяжки, щоб отримати реакцію зміни положення нитки полімерної при впливі двигуна протяжки. Протягом 60 секунд записано дані з датчика. На рис18 представлено експериментальну залежність.

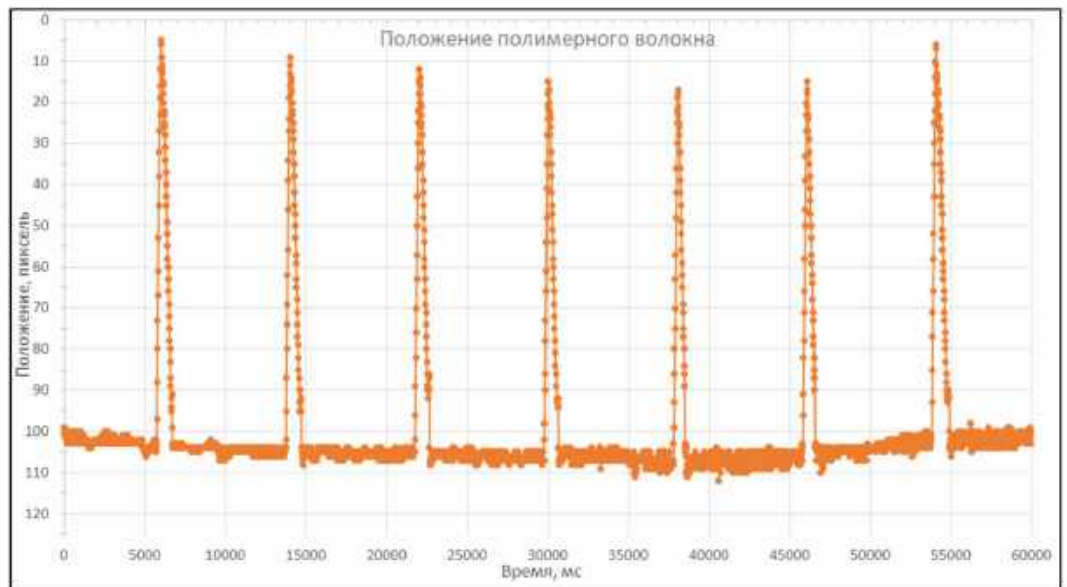


Рисунок 18 – Залежність положення світлопровідного волокна від ступінчастої дії двигуна протягування у часі

Даний графік несе загальну інформацію про те, що спостерігається періодичність процесу, а кількість даних більше 3500. Щоб встановити характеристику, слід збільшити масштаб і накласти кожен відрізок графіка, що повторюється. Так було отримано такі результати, представлені рис19.

Точками позначено значення положення у кожний відповідний момент часу для кожного експерименту. На графіку суцільною тонкою лінією позначено середню лінію досліджуваної залежності, точками – результати окремих експериментів.

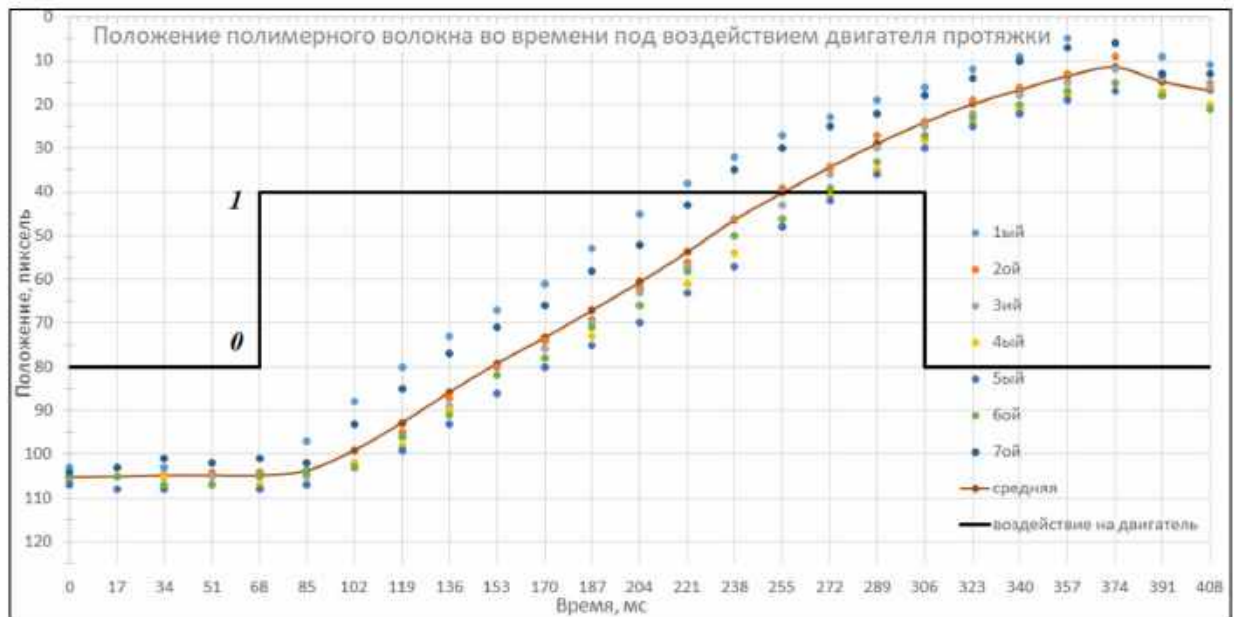


Рисунок 19 – Залежність положення нитки від ступінчастої дії двигуна протяжки у часі з визначенням середньої лінії із серії експериментів

Характеристика по середній лінії відображає реальну поведінку об'єкта і може бути описана математично, характеристики окремих дослідів значно відрізняються один від одного і не можуть бути прийняті як опис об'єкта. Суцільною товстою лінією є моменти впливу двигуна на об'єкт управління.

За графіком рис19 можна зробити висновок, що після початку впливу двигуна протяжки через 17-34 мс вже відбувається реакція у відповідь по положенню волокна. Однак помітна достатня сильна затримка при знятті впливу двигуна протяжки, вона становить близько 68 мс. Затримка помітна порівняно, але практично, розраховані значення достатні незначні.

До отриманої характеристики об'єкта було проведено дотичну та отримано її рівняння, знайдено параметри для визначення математичної моделі об'єкта (значення по осі ординат у початковий момент часу і значення часу при перетині дотичної осі абсцис L). На рис 20 наведено визначення параметрів моделі за характеристикою об'єкта. Суцільною лінією показана характеристика об'єкта, уривчастою – дотична.

Отримане рівняння дотичної:

$$y(x) = -0,382x + 138,168, \quad (3)$$

У зв'язку з особливостями проведення експериментів рис положення волокна відображено у зворотному порядку, у рівнянні дотичної (3) знак мінус перед коефіцієнтом кута нахилу.

За формою характеристики об'єкта передбачається опис його реальною ланкоюю, що інтегрує:

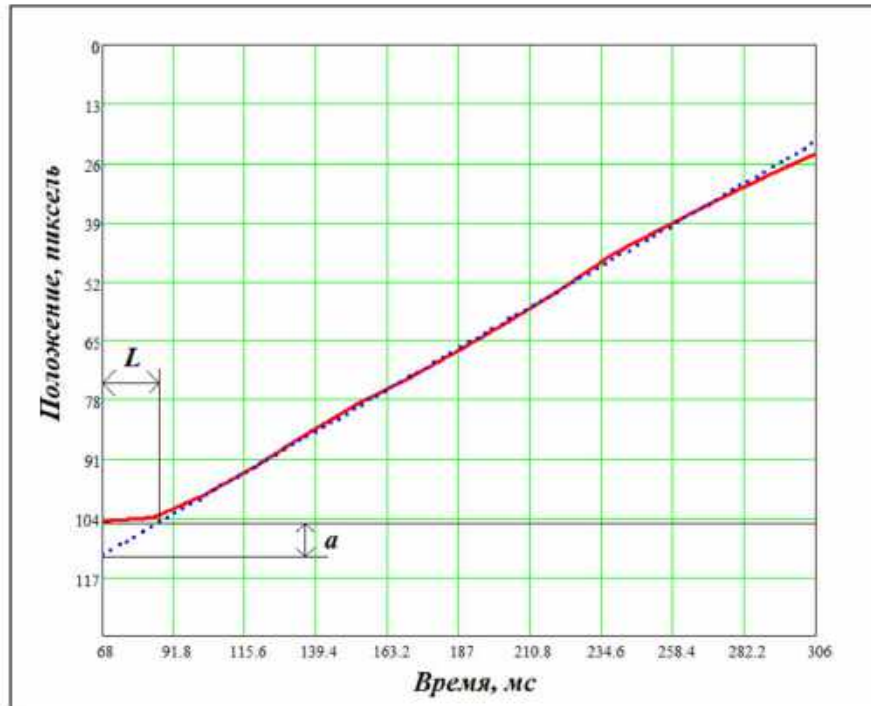


Рисунок 20 – Знаходження параметрів щодо кривої експериментальних даних

$$W(s) = \frac{k}{s(Ts+1)}, \quad (4)$$

де $W(s)$ – передавальна функція ланки;

k - коефіцієнт посилення;

s – оператор Лапласа;

T - постійна часу.

З графіка дотичної знайдено параметри:

- $a = 112,192 - 105 = 7,192$;
- $L = 86,802 - 68 = 18,802$.

Значення величини k моделі відповідає значенню кута нахилу дотичної

без знака мінус, тобто $k = 0,382$. Постійна часу моделі знайдена з графіка та відповідає L , тобто $T = 18,802$.

У результаті модель (4) набуде вигляду:

$$W(s) = \frac{0.382}{s(18.802s+1)} \quad (5)$$

Отримана передатна функція (5) була набрана в Matlab Simulink для визначення відповідності математичної характеристики реальному об'єкту при ступінчастому вплив двигуна протяжки (рисунок 21).

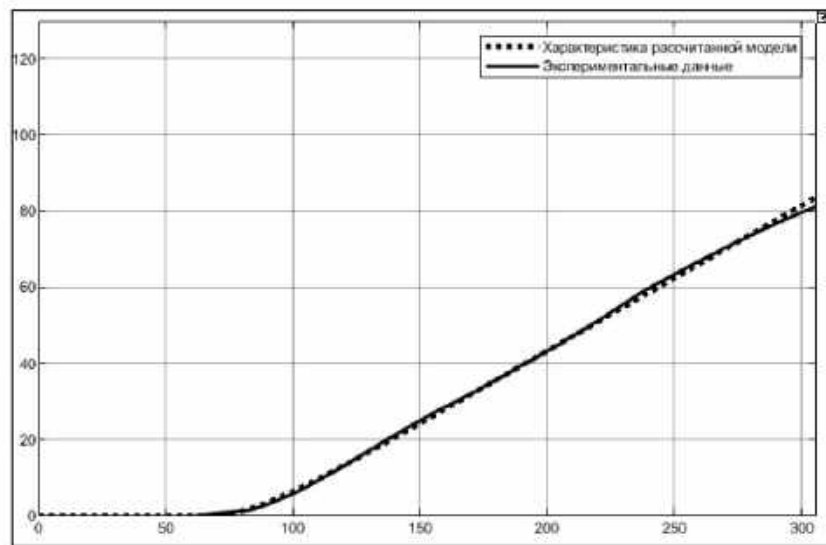


Рисунок 21 – Порівняння експериментальної кривої з розрахованим об'єктом положення нитки

Можна дійти невтішного висновку, що отримана математична модель досить точно визначає реальний об'єкт, але є невелике розбіжність значень. Так як об'єкт являє собою реальну інтегруючу ланку, було додано запізнення $\tau = 2$ мс, відкоригований коефіцієнт $k = 0,39$. Передатна функція набуде вигляду (6) (порівняно представлено на рис22):

$$W(s) = \frac{0.39}{s(18.802s+1)} e^{-2s} \quad (6)$$

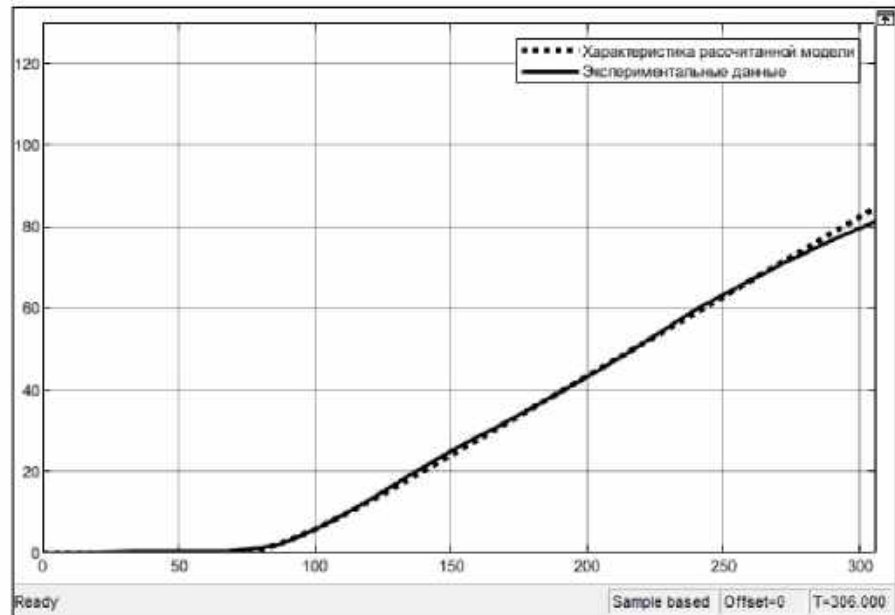


Рисунок 22 – Порівняння експериментальної кривої з підбраною моделлю об'єкта положення нитки

Можна дійти невтішного висновку, що отримана математична модель (6) з практично придатною точністю описує ОУ.

Стабілізація передбачає вихід на задане значення, що встановилося, і її підтримка, і щоб цього досягти, потрібно провести синтез регулятора.

3.4. Введення та налаштування регулятора контуру регулювання положення

Математичний опис ПД-регулятора має такий вигляд:

$$Y(t) = Y_{offset} + K_p \cdot \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right), \quad (7)$$

де $Y(t)$ – керуючий вплив;

Y_{offset} – Стаціонарне значення;

K_p – Пропорційний коефіцієнт, коефіцієнт передачі;

$e(t)$ – Сигнал неузгодженості (помилка);

Як методи визначення коефіцієнтів регулятора були обрані спосіб Циглера-Нікольса (ZN), метод Чина-Хронса-Ресвіка (CHR) та ручне налаштування. Далі в таблиці 10 вказані формули визначення коефіцієнтів [30].

Таблиця 10 – Формули розрахунку коефіцієнтів регуляторів за методами ZN та CHR

Метод ZN	Розрахунок по відгуку на стрибок			Метод CHR	Без перерегулювання		
Регулятор	K_p	T_i	T_d	Регулятор	K_p	T_i	T_d
П	$\frac{1}{\bar{a}}$	-	-	П	$0,3 \frac{1}{\bar{a}}$	-	-
ПІ	$0,9 \frac{1}{\bar{a}}$	$\frac{3 L}{K_p}$	-	ПІ	$0,35 \frac{1}{\bar{a}}$	$\frac{1,2 L}{K_p}$	-
ПІД	$1,2 \frac{1}{\bar{a}}$	$0,9 \frac{L}{K_p}$	$0,5 \frac{L}{K_p}$	ПІД	$0,6 \frac{1}{\bar{a}}$	$\frac{L}{K_p}$	$0,5 \frac{L}{K_p}$

У таблиці використовуються параметри a і L , які визначаються за параметрами, що стосуються прямої максимального кута нахилу, проведеної для кривої. Параметри $a = 7192$; $L = 18,802$. У таблиці 11 відображено розраховані коефіцієнти регуляторів, які досліджені на моделі.

Регулятор з інтегральною складовою відсутній, тому що в моделі ПФ є інтегратор. Тому проводиться моделювання П-, ПД-регуляторів.

Таблиця 11 – Розраховані коефіцієнти регуляторів за методами ZN та CHR, ручний метод

Метод ZN	Розрахунок по відгуку на стрибок			Метод CHR	Без перерегулювання		
Регулятор	K_p	T_i	T_d	Регулятор	K_p	T_i	T_d
П	0,0139	-	-	П	0,0417	-	-
ПД	0,0167	-	562,93	ПД	0,0834	-	112,72
Ручний метод	0,005	-	-	Ручний метод	0,005	-	-

Для отриманих значень коефіцієнтів регуляторів, був проведений ряд

порівняльних моделювань процесу. при вимірі положення полімерного волокна.
На рис 25 представлено білий шум, що використовується при моделюванні.

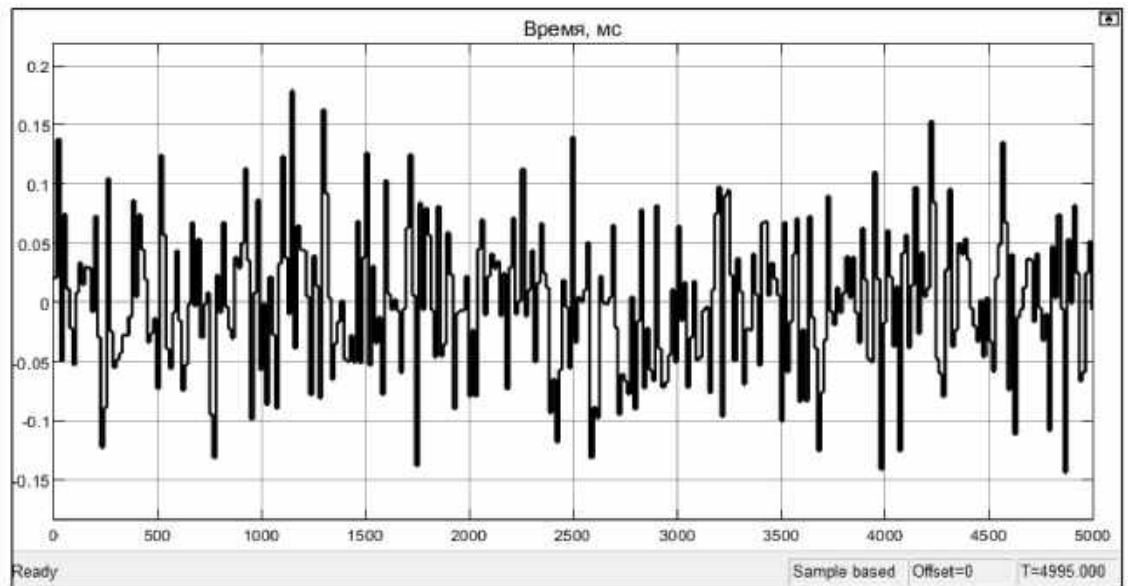
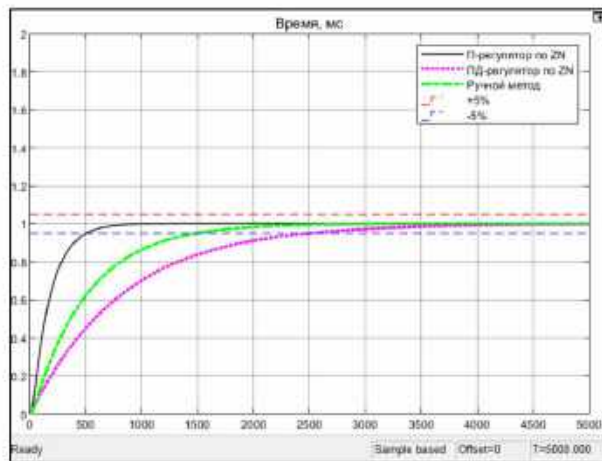


Рисунок 25 – Білий шум, використаний під час проведення моделювання

На рис 26 представлений результат реакції ступінчастого одиничного впливу на систему з регуляторами, налаштованими методом ZN, без впливу шуму і під впливом.



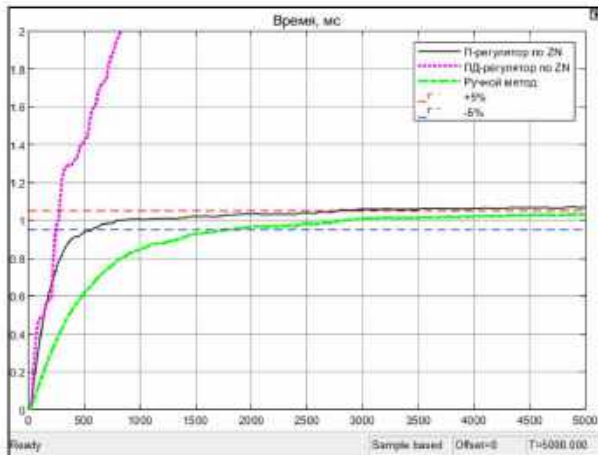


Рисунок 26 – Реакція системи без впливу шуму (ліворуч) та під впливом шуму (праворуч)

Метод ZN налаштування регуляторів показав, що система встановилася на одиничному значенні при використанні П- та ПД-регулятора без впливу шуму, а під впливом шуму система не встановлюється в одиничне значення при П-регуляторі та некерована при ПД-регуляторі. Ручним методом при використанні П-регулятора вдалося досягти хороших показників перехідного процесу (ПП) (низький час ПП – до 2000 мс, відсутність перерегулювання, значення, що встановилося, не перевищує 5% відхилення).

На рис 27 представлений результат реакції ступінчастого одиничного впливу на систему з регуляторами, налаштованими методом CHR, без впливу шуму і під впливом.

Метод CHR налаштування регуляторів показав, що система в результаті відпрацювала ступінчастий вплив подібним чином.

Без впливу шуму показники ПП краще (менше час ПП, відсутність помилки регулювання) за всіма методами налаштування регуляторів, а під впливом шуму, що наближено до реальних умов, показники ПП гірші. Ручний метод при використанні П-регулятора є варіантом досягти хороших показників перехідного процесу (ПП) (низький час ПП – до 2000 мс, відсутність перерегулювання, значення не перевищує 5% відхилення).

У результаті було обрано контуру регулювання положення П-регулятор

з $K_p = 0,005$, налаштований по ручному методу.

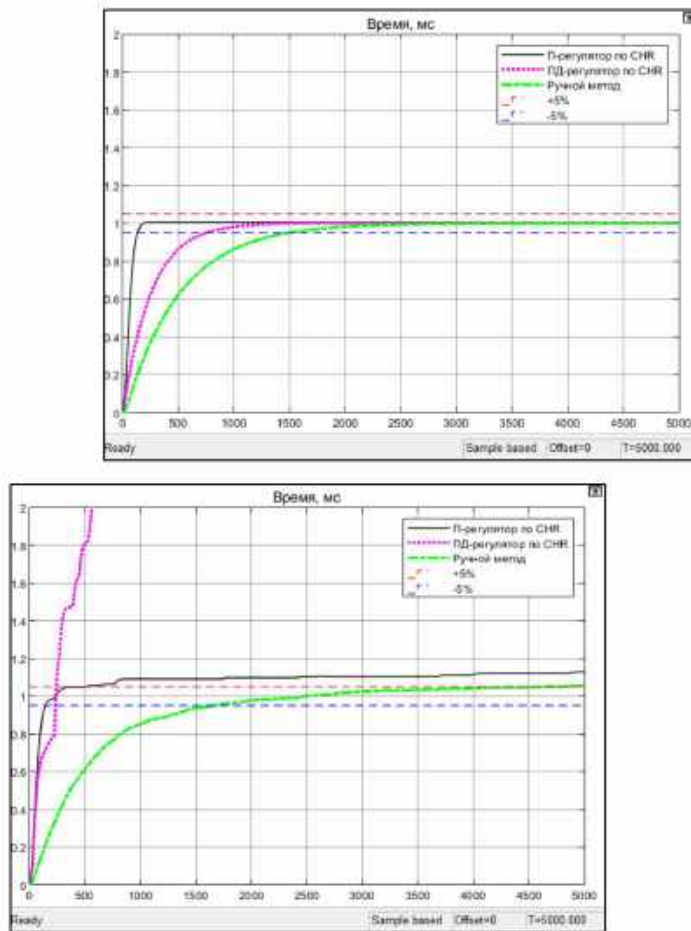


Рисунок 27 – Реакція системи без впливу шуму (ліворуч) та під впливом шуму (праворуч)

3.5. Розрахунок математичної моделі контуру управління діаметром

Згідно з отриманими даними експериментів з знаходження математичної моделі зовнішнього контуру, було знайдено середнє відхилення діаметра в кожний момент часу. На рис 28 показано характеристики об'єкта залежності відхилення від норми діаметра волокна від положення в часі.

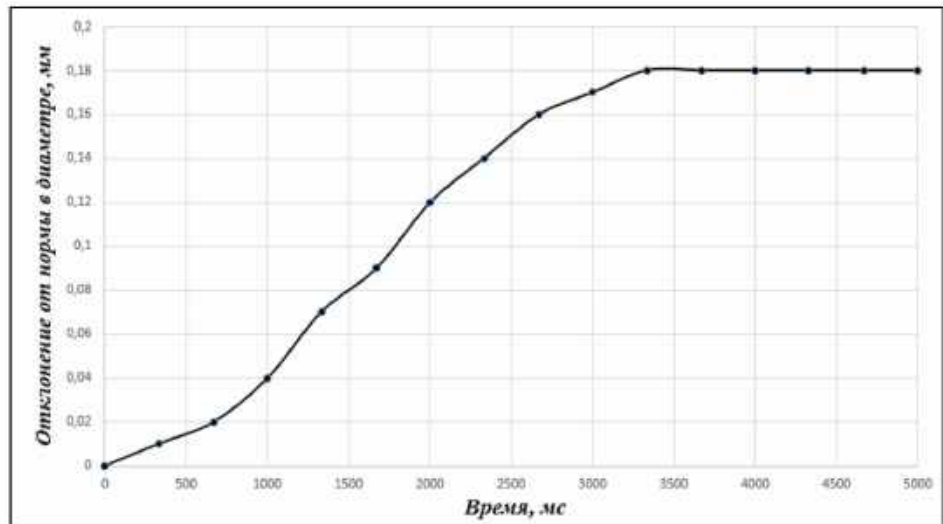


Рисунок 28 – Експериментальні дані для дослідження зовнішнього контуру

На графіку суцільною лінією позначено середню лінію досліджуваної в залежності від результатів експериментів. Характеристика по середній лінії відображає реальну поведінку об'єкта і може бути описана математично.

За формою характеристики об'єкта передбачається опис його аперіодичною ланкою другого порядку, ПФ якого має вигляд:

$$W(s) = \frac{k}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}, (2T_2 \leq T_1), \quad (8)$$

де $W(s)$ - Передатна функція аперіодичного ланки другого порядку;

k - Коефіцієнт посилення;

s - Оператор Лапласа;

$T_{1,2}$ - Постійні часу.

До отриманої характеристики об'єкта було проведено дотичну та отримано її рівняння, знайдено параметри для визначення математичної моделі об'єкта (значення суми постійних часу $T_1 + T_2$: значення часу від лінії перетину дотичної з продовженням характеристики об'єкта до точки дотику лінії лінії

характеристики об'єкта). На рис 29 наведено визначення параметрів моделі. Суцільною лінією показана характеристика об'єкта, уривчастою – дотична.

Отримане рівняння дотичної:

$$y_2(x) = 0,0000746x - 0,0292. \quad (9)$$

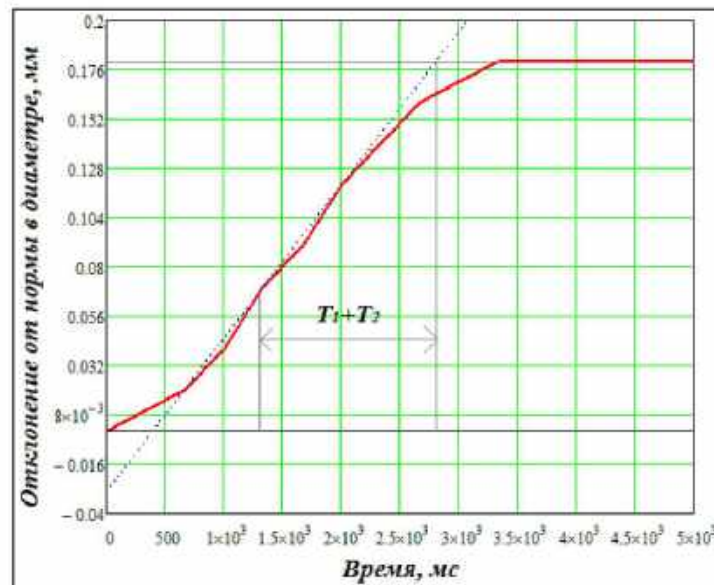


Рисунок 29 – Знаходження параметрів об'єкта моделі щодо кривої експериментальних даних

З графіка знайдено значення суми і далі розраховано значення постійних часу:

$$T_1 + T_2 = 2804,29 - 1330 = 1474,29, \quad (10)$$

$$2T_2 \leq T_1 \rightarrow 2T_2 = T_1, \quad (11)$$

$$T_1 = 982,86; T_2 = 491,43. \quad (12)$$

Передатна функція моделі (8) набуде вигляду:

$$W(s) = \frac{0,18}{491,43^2 s^2 + 982,86s + 1}, \quad (13)$$

Де $k = 0,18$ – коефіцієнт посилення, він дорівнює кінцевого значення характеристики об'єкта.

Отриману передатну функцію (13) було набрано в Matlab Simulink для визначення відповідності математичної характеристики в реальному об'єкті (рисунок 30).

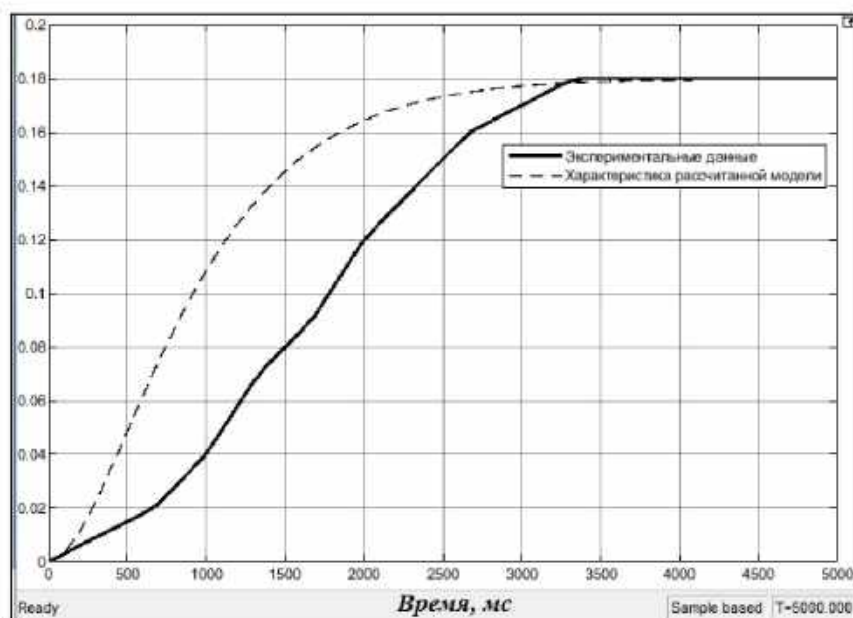


Рисунок 30 – Порівняння експериментальної кривої з розрахованим об'єктом зміни діаметра волокна від провисання в часі

Можна зробити висновок, що отримана математична модель не може описувати реальний об'єкт через значне розходження значень від 0 до 3000 мс, потрібно коригування моделі.

Шляхом проведення моделювання з різними значеннями коефіцієнтів була отримана підібрана модель об'єкта (пунктирна лінія) порівняно з характеристикою за експериментальними даними (суцільна лінія) та спочатку розрахованою моделлю (штрихова лінія) (рисунок 31).

Підсумкова передатна функція моделі набуде вигляду:

$$W(s) = \frac{0,18}{(491s + 1)(690s + 1)} e^{-500s}. \quad (14)$$

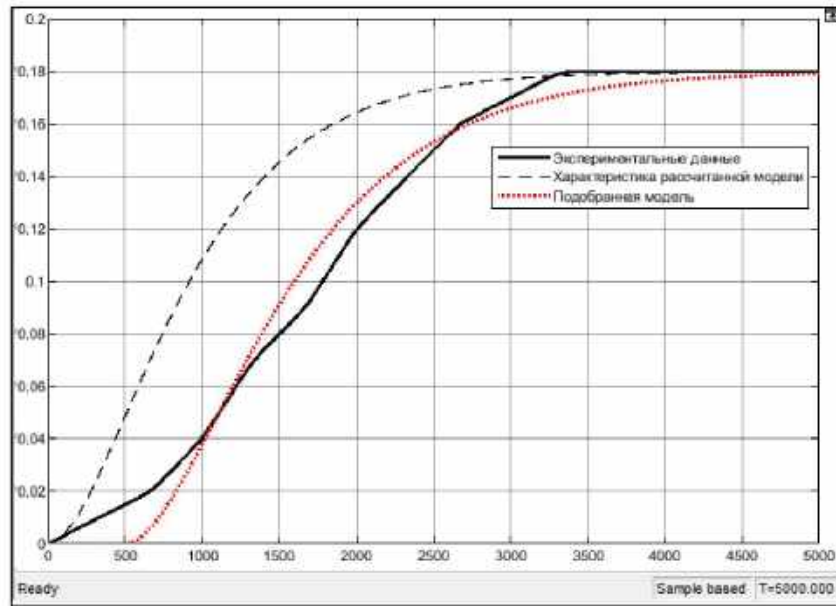


Рисунок 31 – Порівняння підбраної моделі з експериментальною кривою та з розрахованої об'єкта зміни діаметра волокна від положення у часі

У даному випадку ПФ (14) характеризує зовнішній контур, але не визначає ПФ об'єкта зміни діаметра в часі $W_{\text{діам}}$ (рисунок 32).

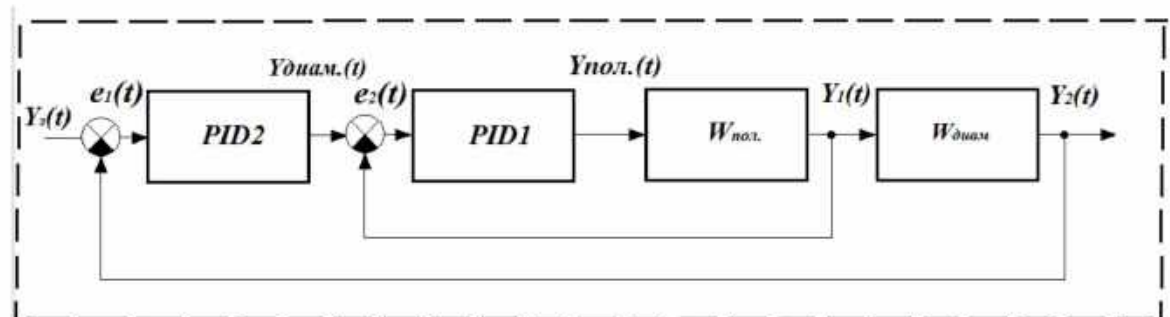


Рисунок 32 – Схема ОУ

Необхідно визначити ПФ цього об'єкта $W_{\text{діам}}$ шляхом розподілу ПФ (14) на ПФ (6) з контуром регулювання, тобто внутрішнього контуру ПФ стабілізації провисання полімерного волокна (Внутрішній контур):

$$W_{\text{внутр}}(s) = \frac{0,00195}{18,802s^2 + s + 0,00195} \quad (15)$$

ПФ об'єкта зміни діаметра в часі:

$$W_{\text{диам}}(s) = \frac{92,304s + 1735,56s^2 + 0,18}{(491s + 1)(690s + 1)}. \quad (16)$$

Для цього об'єкта $\tau = 498$, як різницю часу запізнення ПФ (14) та ПФ (6).

Отримана передатна функція (16) була набрана в Matlab Simulink, а характеристика об'єкта представлена рис 33.

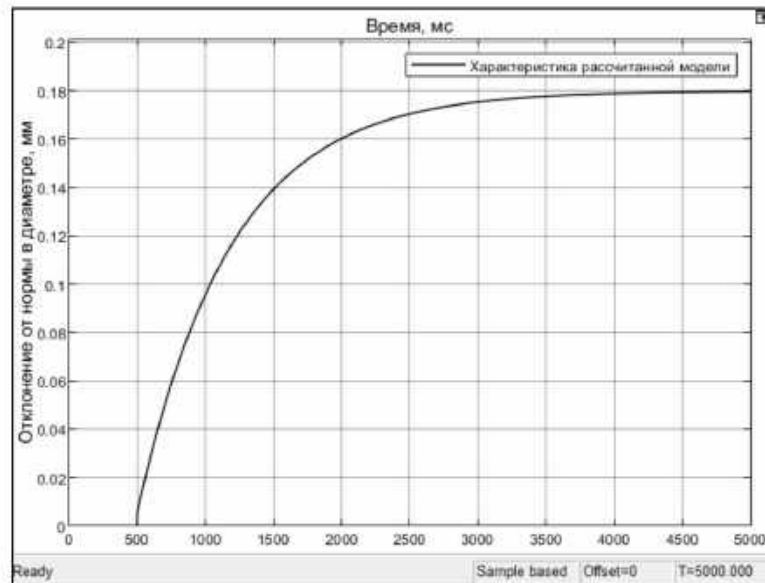


Рисунок 33 – Графік отриманої ПФ об'єкта зміни діаметра у часі (зовнішнього контуру)

Для перевірки правильності розрахунку ПФ (16) досліджується реакція ступінчастого на модель системи внутрішнього контуру $W_{\text{внутр}}$, послідовно з'єднаного з об'єктом $W_{\text{диам}}$. На рис 34 показано досліджувану модель, а на рис 35 графіки характеристик для порівняння.

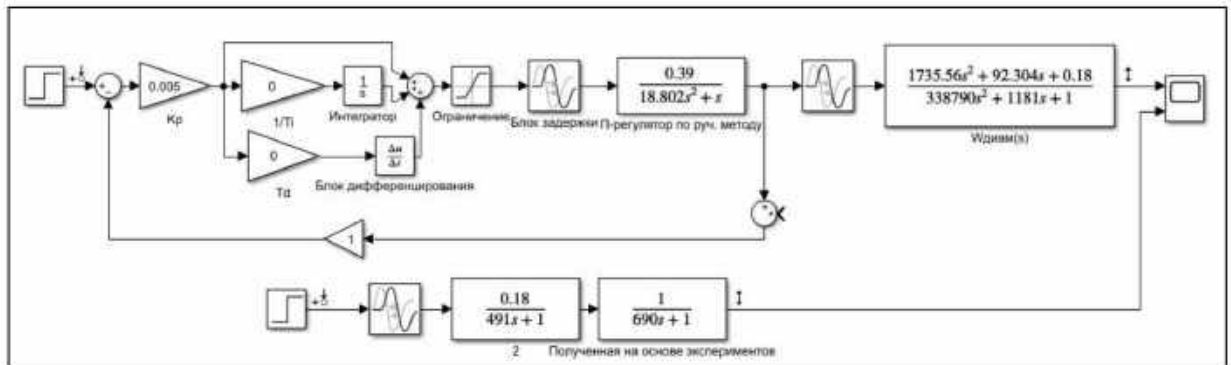


Рисунок 34 – Модель порівняння характеристик ОУ

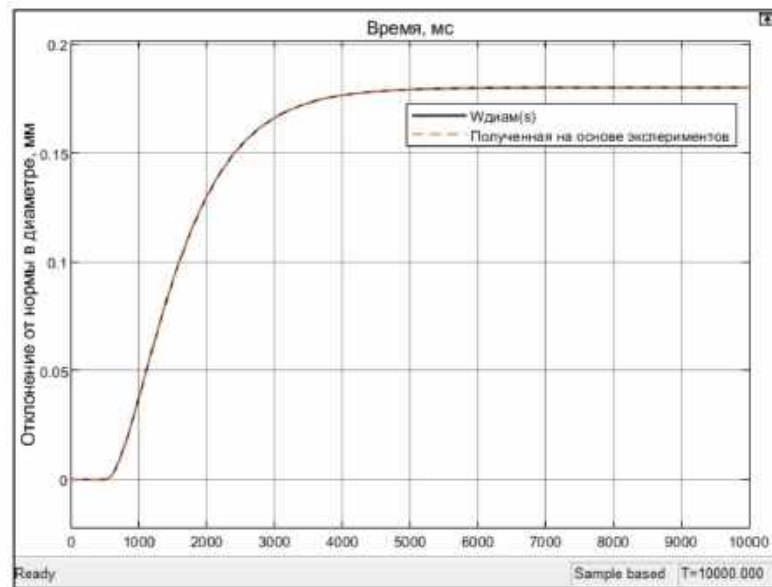


Рисунок 35 – Графік порівняння характеристик одержаних моделей об'єкта управління

Можна дійти невтішного висновку, що розрахунок W_{diam} було зроблено правильно, оскільки показники збігаються.

На основі отриманої моделі з певними ПФ об'єктів управління кожного контуру, або для всієї системи управління діаметром, проводиться налаштування регулятора. Для цього до кривої характеристики моделі проводиться дотична і, як у цій роботі раніше визначалося, обчислюються параметри $a1$ та $L1$.

На рис 36 зображена крива знайденої моделі (суцільна лінія) та дотична до неї (пунктирна лінія).

Отримане рівняння дотичної:

$$y_3(x) = 0,0001067x - 0,065711. \quad (17)$$

З графіка дотичної параметр $a_1 = 0,065711$; $L_1 = 615,85$.

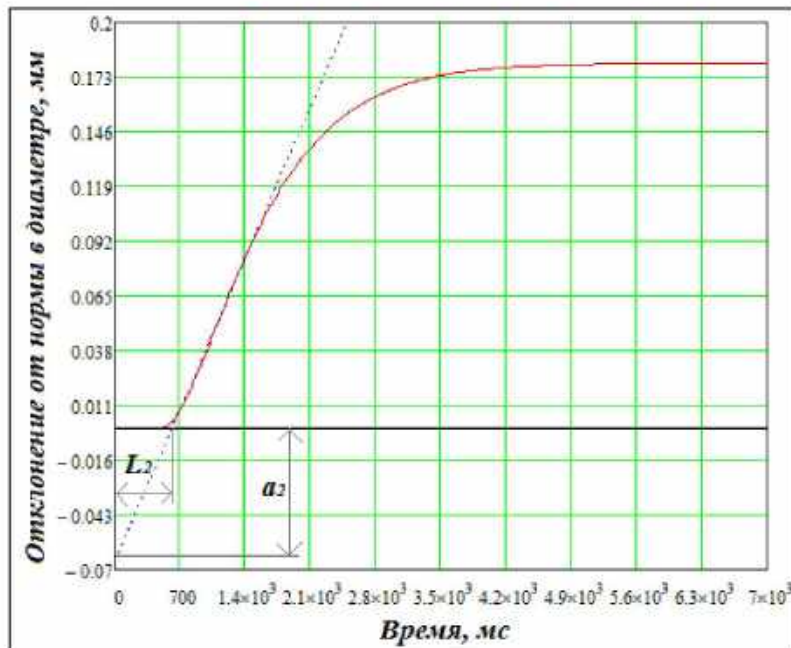


Рисунок 36 – Знаходження параметрів щодо кривої моделі

3.6. Введення та налаштування регулятора зовнішнього контуру

Розглядаючи зовнішній контур керування, для раніше знайдених ПФ об'єктів керування та параметрів щодо характеристики, визначаються параметри регулятора. Поточне завдання – синтез регулятора PID2 зовнішнього контуру згідно з малюнком 32.

У пакеті математичного моделювання Matlab Simulink контур регулювання виглядає так, як на рис 37.

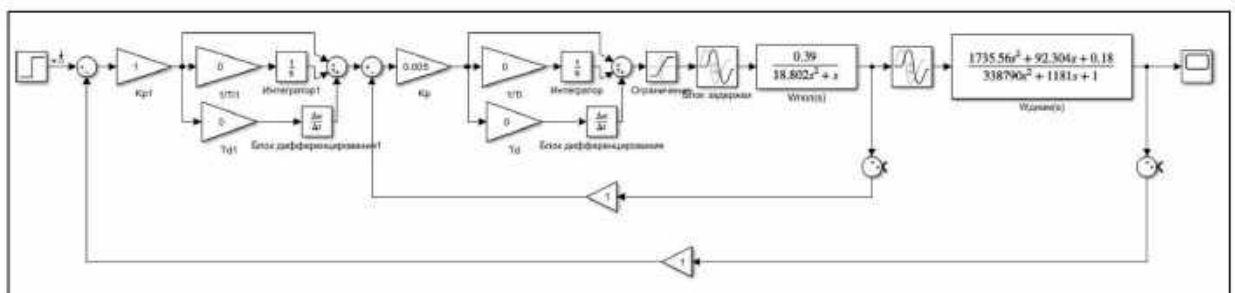


Рисунок 37 – Математична модель стабілізації діаметра полімерного волокна

Як методи визначення коефіцієнтів регулятора були обрані спосіб Циглера-Нікольса (ZN), метод Чина-Хронса-Ресвіка (CHR) і ручне налаштування. Використовуючи таблицю 10 з раніше зазначеними формулами для визначення коефіцієнтів, розраховували коефіцієнти на основі параметрів $a1 = 0,065711$ і $L1 = 615,85$. Значення коефіцієнтів занесені до таблиці 12, які вивчені на моделі.

Таблиця 12 – Розраховані коефіцієнти регуляторів за методами ZN та CHR, ручний метод

Метод ZN	Розрахунок по відгуку на стрибок			Метод CHR	Без перерегулювання		
Регулятор	K_p	T_i	T_d	Регулятор	K_p	T_i	T_d
П	15,22	-	-	П	4,57	-	-
ПІ	13,70	134,86	-	ПІ	5,33	138,65	-
ПІД	18,26	30,35	16,86	ПІД	9,13	67,45	33,73
Ручний метод	6,4	10000	-	Ручний метод	6,4	10000	-

Для отриманих значень коефіцієнтів регуляторів, був проведений ряд порівняльних моделювань процесу. обидва контури, у зворотний зв'язок, що імітує перешкоди на датчику при вимірюванні положення та діаметра полімерного волокна.

На рис 38 представлений результат реакції ступінчастого одиничного впливу на систему з регуляторами, налаштованими методом ZN, без впливу шуму і під впливом.

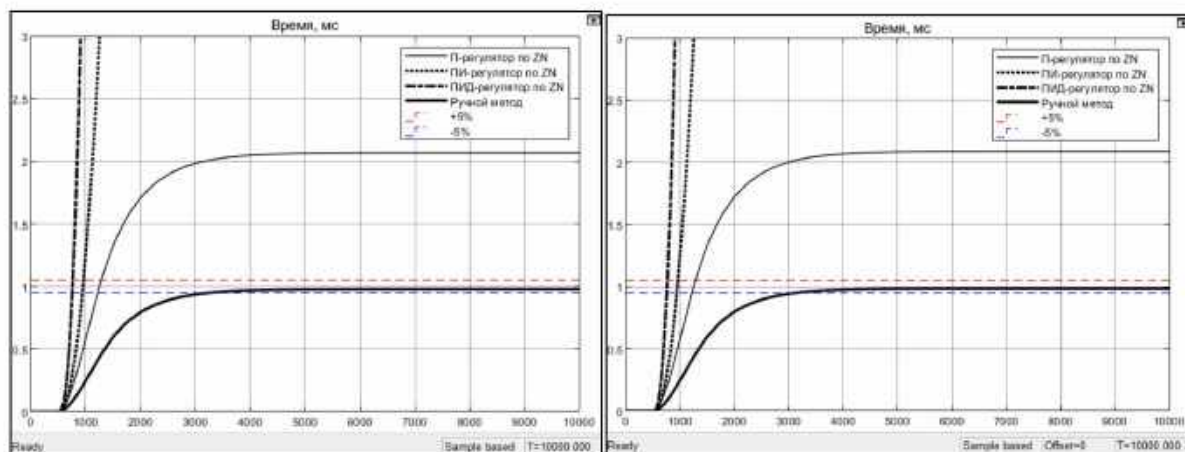


Рисунок 38 – Реакція системи без впливу шуму (ліворуч) та під впливом шуму (праворуч)

Настроєні методом ZN регулятори призвели до того, що система не встановилася на одиничному значенні. П-регулятор має деяке наближення до одиничного значення, проте вимагає коригування. Вплив шуму загалом впливає процес. Ручним методом при використанні ПІ-регулятора вдалося досягти задовільних показників ПП (низький час ПП – менше 3000 мс, відсутність перерегулювання та помилки регулювання). Вплив шуму практично відсутній, трохи збільшуючи час перехідного процесу, результуюче значення також не перевищує 5% відхилення від уставки.

На рис 39 представлений результат реакції ступінчастого одиничного впливу на систему з регуляторами, налаштованими методом CHR, без впливу шуму і під впливом.

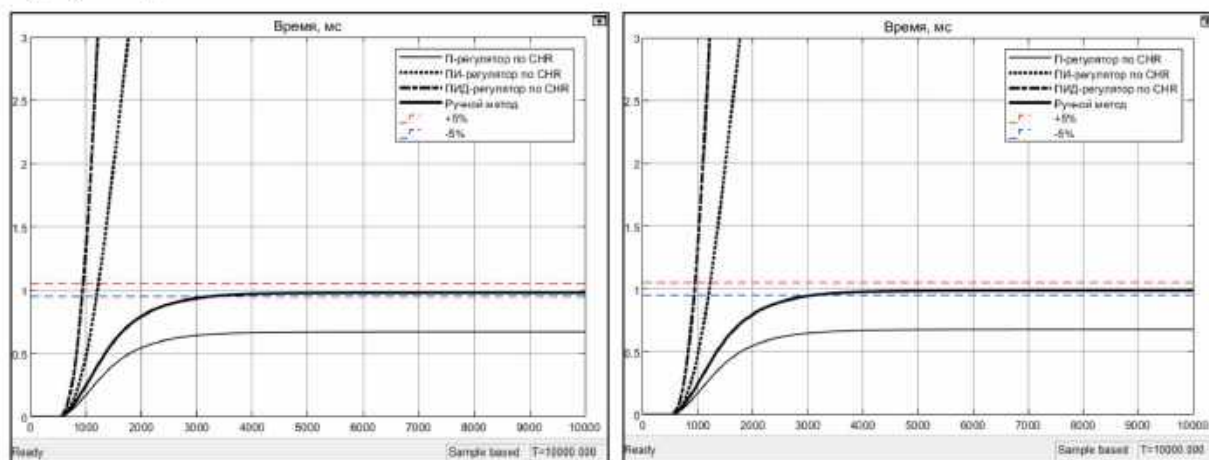


Рисунок 39 – Реакція системи без впливу шуму (ліворуч) та під впливом шуму (праворуч)

Метод CHR налаштування регуляторів показав, що система в результаті відпрацювала ступінчасту дію так само незадовільно, як і за методом ZN. ПІ-регулятор налаштований ручним методом справляється із завданням у даному випадку краще за інших регуляторів. Вдалося досягти встановлення на одиничному значенні (час ПП менше 3000 мс, відсутність перерегулювання та помилки регулювання). Вплив шуму практично відсутній, результуюче значення вбирається у 5 % відхилення від уставки.

Методи налаштування регулятора можуть використовуватися тільки тоді, коли моделюється проста лінійна система без впливу шуму. моделювання. Якщо на вхід системи приходить ступінчастий сигнал різних значень, система встановиться до відповідного значення, що представлено рис 40.

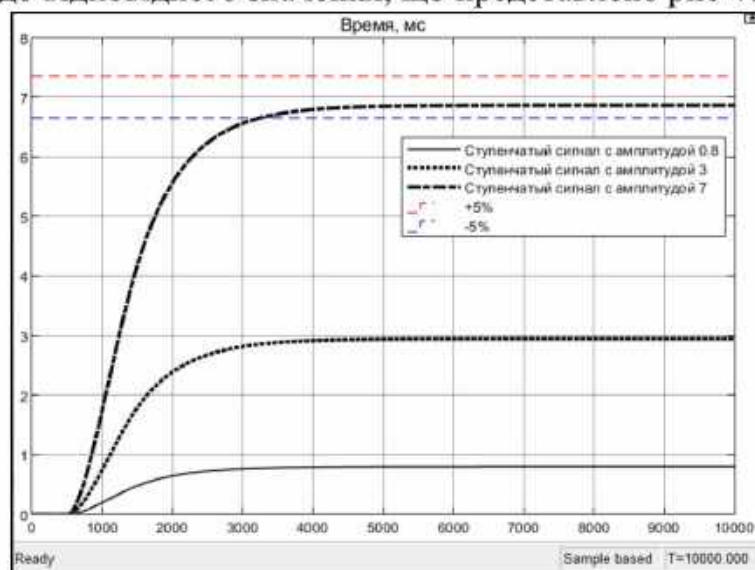


Рисунок 40 – Реакція системи на різні значення ступінчастої дії

В результаті був налаштований регулятор як для внутрішнього контуру регулювання (використовувався П-регулятор з $K_p = 0,005$, налаштований за ручним методом, так і для зовнішнього (використовувався ПІ-регулятор з $K_p = 6,4$ та $T_i = 10000$, налаштований за ручним методом).

Далі передбачається використання розрахованих даних у регуляторі на базі мікроконтролера, тобто проведення налагодження системи стабілізації

діаметра нитки на устаткуванні, на якому було знято дослідні дані для дослідження двох контурів.

3.7. Результати дослідження

Результатом дослідження є не тільки спроектована та реалізована програмно-апаратна частина, але отриманий за допомогою комплексної системи продукт. Йдеться про світлопровідне полімерне волокно, який був об'єктом управління та досліджень у даній роботі. Показові характеристики, отримані під час роботи над проектом, полягають у наступному. Можливість створення модульної конструкції установки для виготовлення світлопровідного полімерного волокна. Активна стабілізація при виготовленні сердечника світлопровідного полімерного волокна із встановленим періодом дискретизації управління 50 мс та періодом контролю 17 мс. Обсяг випуску продукту цьому етапі становив 1040 грн на добу з можливістю підвищення продуктивності. Діаметр волокна для дослідження програмно і за фізичних вимірах становив $1,0 \pm 0,02$ мм. Нанесення захисної оболонки – ціль проведення подальших робіт над системою на даному етапі оболонка була нанесена після виготовлення серцевини ручним методом, при використанні поліолефінового термопласту. У якості першого відбиває захисного покриття пропонується використовувати прозорі рідкі та середньо-рідкі захисні лаки з урахуванням штучних смол.

Можливість виготовлення світлопровідного волокна методом екструзії підтверджується передачею світлового сигналу за допомогою даного світловода, коефіцієнт загасання становив близько 200 дБ/км. Однак всебічні дослідження якості волокна не були включені в дану роботу через складність аналізу, світлопровідного полімерного волокна.

Розділ 4. Ресурсоефективність та ресурсозбереження

4.1. Передпроектний аналіз

Робота пов'язана з розробкою системи керування екструзійною установкою під час виготовлення полімерних світловодів, або, інакше, оптичних волокон. Розробка націлена на впровадження системи активного контролю за виготовленням оптично прозорих ниток шляхом простої та дешевої технології екструзії полімерних гранул.

Для визначення економічної доцільності, комерційного інтересу та перспективності результатів технічного рішення у даному розділі дисертації необхідно виконати такі завдання:

- виявити потенційних споживачів товару;
- скласти план виконання науково-дослідної роботи;
- визначити ресурсну та фінансову ефективність розробки.

4.1.1. Визначення потенційних споживачів

На даний момент застосування оптичних волокон дуже масштабне (на 2019 рік попит за рік: у світі 555 млн км, у Китаї – 334 млн км, у США – 60 млн км, в Україні – 1 млн км). Крім передачі інформації при підключенні до мережі Інтернет, телефонних та телевізійних сигналів, вони поширені в автомобільній галузі, освітлювальних системах, датчиках для вимірювання широкої гами фізичних та хімічних параметрів різних середовищ, в медицині (транспортування оптичного зображення об'єкта контролю).

Для визначення кола потенційних споживачів продукту розглянемо цільовий ринок та здійснимо його сегментування.

Особливістю досліджуваної розробки є простота виробництва полімерного волокна, при цьому якість не нижча за промислові зразки за рахунок використання системи активного контролю, а габарити установки більше поділяють її до мобільного обладнання, ніж стаціонарного.

Таким чином, можна оцінити готовий продукт об'єкта дослідження у широкому профілі. Він може бути затребуваний як у малому (приватному) використанні, так і у великому (промисловому) масштабі.

Цільовим ринком будуть: галузь телекомунікацій та ІТ, сфера застосування у вимірювальних приладах (в т.ч. атомна галузь), повсякденне використання (освітлення, прикраса).

Умовне розмежування ринку було проведено на підставі вимог до продукту (технічних характеристик, вимог до якості,

Проведемо сегментування ринку за такими критеріями та побудуємо карту (таблиця 13).

1. Розмір компанії замовника (категорія споживачів).

2. Область використання готового

продукту. Таблиця 13 - Карта сегментування ринку

		Область застосування		
		Телекомунікацій та ІТ	Вимірювальні прилади	Освітлення та прикраса
Розмір компанії (категорія споживачів)	Велика/держ. замовлення			
	Середня			
	Дрібна/фізична особа			
Фірма А – ZTT (Китай)		Фірма Б- Corning (США)	Фірма В – «Оптоволоконні системи» (Україна)	

Оптоволокно в Україну поставляється в основному великими виробниками з Китаю та США, хоча ми також маємо підприємства, де випускають оптоволокно, але в значно менших обсягах. Тому представили три виробники – по одному з кожної країни.

В результаті сегментування можна зробити висновок, що ніша дрібних та середніх компаній-замовників вільна за сферами телекомунікацій та вимірювальних приладів, а у сфері прикрас та освітлення представлена продукцією з Китаю.

Поточна технологія дозволить охопити попит дрібних компаній-споживачів, а потім, нарощуючи темпи, вийти і на середніх і великих замовників. Однак поточна мета – не обсяги виробництва, а впровадження простої та дешевої технології із збереженням якості продукції.

4.1.2. Аналіз конкурентних рішень

Аналіз конкурентних рішень необхідно проводити регулярно, оскільки ринок перебуває в постійному русі, особливо через останні події, економічної кризи, пов'язаної з пандемією коронавірусу COVID-19. Безпосередньо пандемія ринку оптоволокна негативно позначається скоріш не попит, але в пропозицію, що зменшується, оскільки виробники зупиняють підприємства, у своїй попит на телекомунікацію зростає, у зв'язку з переходом на онлайн технології.

У ході аналізу необхідно оцінити сильні та слабкі сторони досліджуваного проекту та конкурентів, і при необхідності внести коригування, націлені на підвищення якості та конкурентоспроможності продукту.

Аналіз проводиться за допомогою оцінної картки. Оцінювальну картку наведено в таблиці 14.

Так як об'єктом дослідження є система управління екструзійною установкою при виробництві полімерних оптичних волокон, то для більшої наочності серед великої маси вироблених оптоволокон як конкурентне рішення розглянемо поширене кварцове оптоволокно.

Таблиця 14 - Оцінювальна карта для порівняння конкурентних розробок

Критерії оцінки	Вага критерію	Бали		Конкурентоздатність	
		БФ	Бк	КФ	Кк
1	2	3	4	5	6
Технічні критерії оцінки ресурсоефективності					
1. Якість виготовлення	0,1	4	5	0,4	0,5
2. Згасання сигналу	0,1	4	5	0,4	0,5
3. Вага готового продукту	0,07	5	3	0,35	0,21
4. Масштабованість	0,08	5	4	0,4	0,32
5. Простота виготовлення	0,09	5	4	0,45	0,36
6. Мобільність обладнання	0,08	4	3	0,32	0,24
7. Безпека	0,09	4	5	0,36	0,45
8. Зручність в експлуатації	0,07	4	3	0,28	0,21
Економічні критерії оцінки ефективності					
9. Рівень проникнення у ринок	0,07	3	5	0,21	0,35
10. Ціна	0,1	5	3	0,5	0,3
11. Термін експлуатації	0,08	5	4	0,4	0,32
12. Післяпродажне обслуговування	0,07	5	4	0,35	0,28
Разом	1	53	48	4,42	4,04

Результати аналізу показують, що конкурентоспроможність продукту досліджуваного рішення становила 4,42, тоді як поширеного кварцового оптоволокна 4,04. Можна зробити висновок, що досліджувана наукова розробка, в основі якої лежить система активного контролю за виробництвом полімерного оптоволокна, є конкурентоспроможною, має ряд переваг за технічними та економічними показниками, а отже, буде причиною підвищеної зацікавленості потенційних покупців.

4.1.3. SWOT-аналіз

Для дослідження внутрішнього та зовнішнього середовища проекту проводять комплексний аналіз науково-технічного проекту – SWOT-аналіз, враховує чотири складові – сильні сторони, слабкі сторони, можливості та

загрози (таблиця 15).

Таблиця 15 – Матриця SWOT

	Сильні сторони (S): С1. Простота отримання готовий продукт. С2. Висока якість виготовлення. С3. Низька собівартість товару. С4. Низька маса виробу.	Слабкі сторони (W): Сл1. Високе значення згасання сигналу. Сл2. Слабка захищеність ПЗ. Сл3. Низька завадостійкість. Сл4. Недостатня зручність керування обладнанням.
Можливості (O): В1. Розширення областей застосування товару. В2. Взаємозамінність компонентів обладнання. В3. Підтримка держави за програмою «Цифрова економіка» та ін. В4. Вихід іноземний ринок.	Завдяки простоті виготовлення оптоволокна збереженням високої якості продукції та підтримки держави низької ціни, у тому числі за підтримки держави, можливі високі темпи розширення областей застосування продукту як на внутрішньому ринку, так і на міжнародному.	Збільшення клієнтської бази за рахунок впровадження із продукту на ринках України та за кордоном, а також за підтримки держави дозволить використовувати більше кількості вільних коштів на вдосконалення поточної розробки, підвищуючи якість компонентної бази та ПЗ.

Загрози (Т): У1. Складність проникнення ринку. У2. Великий досвід роботи та досконалість конкурентів на ринку. У3. Відсутність перевірених постачальників та партнерських відносин. У4. Зростання вартості сировини виготовлення продукту.	Легка можливість пошуку та заміни постачальників через просту технологію виготовлення продукту та невелику кількість компонентів обладнання. Ключові особливості проекту дозволять створити привабливу рекламу продукції, що спростить Використання ринку.	При вдосконаленні системи та наростання клієнтської бази конкурентна боротьба стає більш переважною на користь досліджуваного рішення. Зростання досвіду роботи зі споживачами позитивно позначиться на репутації та помітності поточного проекту ринку.
--	---	--

Таким чином, SWOT-аналіз поточного науково-технічного проекту дозволяє всебічно розглянути його особливості, допомагає звернути увагу на сильні сторони та можливості, але й мати на увазі слабкі сторони та загрози, що задає вектор розвитку.

1.2. Ініціація проекту

Під ініціацією проекту мається на увазі група процесів, які виконуються щодо нового проекту чи нової фази існуючого. В рамках процесів ініціації визначаються початкові цілі та зміст та фіксуються вихідні фінансові ресурси. Визначаються внутрішні та зовнішні зацікавлені сторони проекту, які взаємодіятимуть та впливатимуть на загальний результат наукового проекту..

1.2.1. Цілі та результати проекту

У першій структурній складовій наукового проекту перераховуються цілі та очікувані результати роботи, які представлені у таблиці 16.

Таблиця 16 – Цілі та результати проекту

Цілі проекту:	Розробка системи керування екструзійною установкою з виробництва полімерних світловодів.	
Очікувані результати проекту:	1)	Реалізація модуля системи активного контролю.
	2)	Написання алгоритму управління виготовленням полімерного волокна.
	3)	Опис результатів можливості отримання ПЗВ екструзійною технологією.
Критерії приймання результату розробки:	4)	Наявність таких складових: Блок активного контролю над виготовленням ПОВ.
	5)	Чинний алгоритм управління.
	6)	Зразки ПОВ.
Вимоги до результату розробки:	Вимоги:	
	Можливість безперервної роботи системи.	
	Висока точність у діаметрі та якості виготовлення ПОВ.	
	Модульність системи.	

Також визначаються зацікавлені у даній розробці сторони та їх очікування, занесені до таблиці 17.

Таблиця 17 – Зацікавлені сторони проекту

Зацікавлені сторони	Очікування зацікавлених сторін
Маленькі компанії / фізичні особи	Повсюдне використання простого та дешевого оптичного волокна в області освітлення, а також для збільшення швидкості передачі інформації.
Середні та великі підприємства	Виробництво високоякісного полімерного оптичного волокна для застосування у сфері телекомунікацій та ІТ, а також у атомній промисловості.

1.2.2. Організаційна структура проекту

У робочу групу даного проекту, а також ролі кожного учасника в даному проекті, їх функції та трудові витрати описані в таблиці 18.

Таблиця 18 – Робоча група проекту

№ п/п	Роль у проекті	Функції	Трудовитрати, години
	Науковий керівник	Твердження технічного завдання, визначення термінів виконання робіт, ведення координаційної діяльності	178,4

	Виконавець (інженер- дипломник)	Розробка системи, проведення досліджень, оформлення результатів	1725,6
1904			

Представлена таблиця відображає інформацію про трудомісткість при роботі з проектом, і важливо відзначити, що показники значні. Необхідно грамотно підійти до виконання завдань, щоб отримати необхідні результати, а готовий проект задовольняв вимоги зацікавлених сторін.

1.3. Планування управління науково-технічним проектом

1.3.1. Ієрархічна структура робіт проекту

За реалізації проекту існує необхідність виконати структуризацію проведення робіт. Для цього складається ієрархічна структура, яка наведена на рис41.

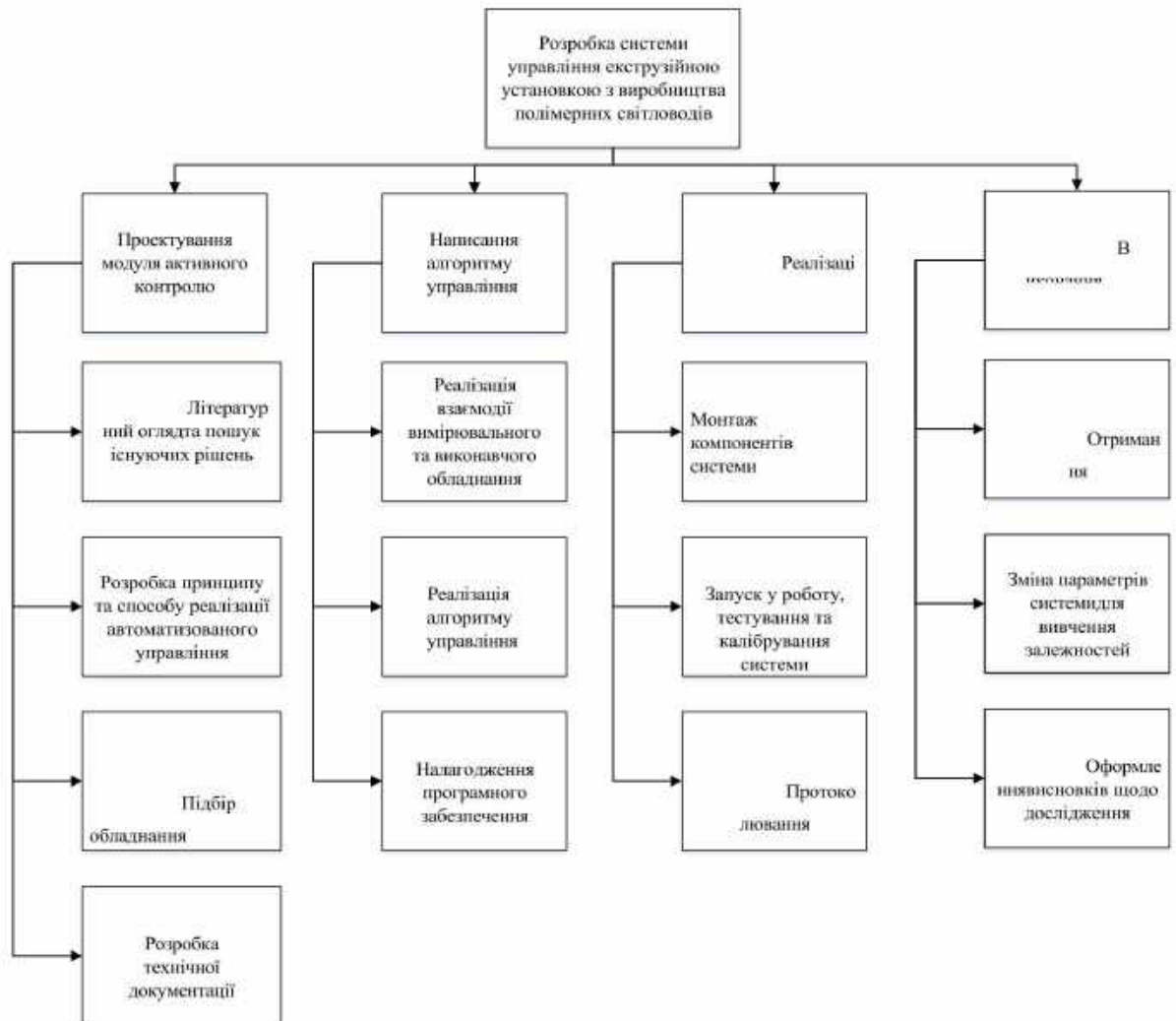


Рисунок 41 – Ієрархічна структура ведення науково-дослідного проекту

Таким чином, можна відзначити чотири основні етапи діяльності при реалізації науково-дослідного проекту:

- проектування модуля активного контролю;
- написання алгоритму керування;

- реалізація системи;
- Виконання досліджень.

1.3.2. План проекту

Ключові події щодо ведення розробки наочно представляти у вигляді таблиці, тому складемо календарний план. Він представлений у таблиці 19.

Під час проведення науково-дослідних робіт виконавцями є науковий керівник (НР) та інженер-дипломник (І), що відображено у таблиці 19.

Таблиця 19 – Календарний план проекту

Код робот и	Назва	Тривалі сть, дні	Дата початк у робіт	Дата закінченн я робіт	склад учасників
1	Складання та затвердження технічного завдання	12	01.10.23	12.10.23	НР
2	Літературний огляд на тему досліджень	34	13.10.23	15.11.23	І
3	Календарне планування робіт	7	16.11.23	22.11.23	НР, І
4	Проектування системи	26	23.11.23	18.12.23	І
5	Підбір і монтаж обладнання	45	19.12.23	01.02.24	І
6	Написання програмного забезпечення і її налагодження	35	02.02.23	08.03.24	І
7	Тестування калібрування системи	25	09.03.24	02.04.24	І

Продовження таблиці 19

Код робот и	Назва	Триваліс ть, дні	Дата почат ку робіт	Дата закінченн я робіт	Склад учасників
8	Отримання результатів при роботі із системою	13	03.04.24	15.04.24	НР, І
9	Дослідження результатів комплексного функціонування системи	14	16.04.24	29.04.24	НР, І
10	Проведення коригувальних робіт за результатами дослідження	11	30.04.24	10.05.24	І
11	Проведення комплексної оцінки виконаних робіт з фінансової складової та соціальної відповідальності	5	11.05.24	15.05.24	І
12	Оформлення пояснювальної записки	16	16.05.24	31.05.24	І
Разом:		243			

1.3.3. Розрахунок трудомісткості виконання робіт

Невід'ємними та найбільш значними фінансовими складовими у розробці найчастіше є трудові витрати. Здійснимо розрахунок трудомісткості робіт кожного з учасників наукового дослідження.

Трудомісткість виконання наукового дослідження оцінюється

експертним шляхом у людино-днях і має імовірнісний характер, т.к. залежить від безлічі факторів, що важко враховувати. Для визначення очікуваного (середнього) значення трудомісткості тож і використовується наступна формула:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (18)$$

де *t_{ожі} i*- Очікувана трудомісткість виконання і-ої роботи чол.-дн.;

t_{min} i- Мінімально можлива трудомісткість виконання заданої і-ої роботи, чол.-дн.;

t_{max} i- максимально можлива трудомісткість виконання заданої роботи, чол.-дн.

Тривалість кожної роботи у робочих днях *T_p*, яка враховує паралельність виконання кількома виконавцями.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i}, \quad (19)$$

де *T_p i*- Тривалість однієї роботи, роб. дн.;

t_{ожі} i- Очікувана трудомісткість виконання однієї роботи, чол.-дн.;

Ч_и- Чисельність виконавців, що виконують одночасно одну і ту ж роботу на даному етапі, чол.

Тривалість кожного з етапів робіт із робочих днів слід перевести у календарні дні за формулою:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (20)$$

де *T_{ki}*- Тривалість виконання і-ої роботи в календарних днях;

T_{pi}- Тривалість виконання і-ої роботи в робочих днях;

k_{кал}- Коефіцієнт календарності.

Коефіцієнт календарності визначається за такою формулою:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (21)$$

де $T_{\text{кал}}$ – кількість календарних днів на рік;

$T_{\text{вых}}$ – кількість вихідних днів на рік;

$T_{\text{пр}}$ – кількість святкових днів на рік.

Тимчасові показники проведення розробки зведено до таблиці 20.

Таблиця 20 - Тимчасові показники проведення розробки

Назва роботи	Виконавц і роботи	Трудомісткість робіт, чол-дні			Тривалість робіт, дні	
		<i>t_{min}</i>	<i>t_{max}</i>	<i>t_{ож}</i>	<i>T_{pi}</i>	<i>T_{ki}</i>
Складання і затвердження технічного завдання	НР	11	14	12,2	12,2	14
Літературний огляд по темі й досліджень	I	33	36	34,2	34,2	38
Календарне планування робіт	НР	6	8	6,8	3,4	4
	I	6	8	6,8	3,4	4
Проектування системи	I	25	28	26,2	26,2	29
Підбір та монтаж обладнання	I	44	47	45,2	45,2	50
Написання програмного забезпечення та її налагодження	I	34	37	35,2	35,2	39
Тестування і калібрування системи	I	24	27	25,2	25,2	28
Отримання результатів прироботі із системою	НР	12	15	13,2	6,6	7
	I	12	15	13,2	6,6	7
Дослідження результатів комплексного функціонування системи	НР	13	16	14,2	7,1	8
	I	13	16	14,2	7,1	8
Проведення коригувальних Робіт по результатам дослідження	I	10	13	11,2	11,2	12
Проведення комплексної оцінки виконаних робіт з фінансової складника і соціальної відповідальності	I	4	7	5,2	5,2	6
Оформлення пояснювальні й записки	I	15	18	16,2	16,2	18
Разом:					227,9	253

Підсумкова кількість годин представлено з обліком одночасної роботи виконавців у відповідних типах робіт.

На основі отриманої таблиці будується календарний план-графік. Графік будується для максимального виконання робіт з розбивкою по місяцях і декадах. Графік робіт наведено у таблиці 21.

[illegible]

-науковий керівник (НР)

- Інженер-дипломник (І)

4.4. Бюджет науково-технічного дослідження

Бюджет даного науково-технічного дослідження (НТІ) може бути розбитий на складові та містить:

- 1) матеріальні витрати;
- 2) амортизаційні відрахування;
- 3) основна заробітна плата виконавців проекту;
- 4) додаткова вести виконавців проекту;
- 5) відрахування до позабюджетних фондів;
- 6) накладні витрати.

4.4.1. Розрахунок матеріальних витрат НТІ

Розрахунок матеріальних витрат здійснюється за такою формулою:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi} , \quad (22)$$

Де m -кількість видів матеріальних ресурсів, споживаних при виконанні наукового дослідження;

$N_{расхi}$ – кількість матеріальних ресурсів i -го виду, що плануються до використання при виконанні наукового дослідження;

Π_i - Ціна придбання одиниці i -го виду споживаних матеріальних ресурсів;

k_T - Коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати. У таблиці 22 представлені дані про матеріальні витрати розробки.

Таблиця 22 – Матеріальні витрати

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Ноутбук ASUS FX505DT-AL023	шт	1	53 100	53 100
Миша A4Tech FG10	шт	1	610	610
3D-принтер Anet ET4	шт	1	14 000	14 000
Екструдер BestRuder	шт	1	220 000	220 000
Полімерні гранули (АБС, PMMA)	кг	5	1550	7750
Датчик TCD1304DG	шт	2	320	640
Контролер DFRDuino Uno v3	шт	1	970	970
Кроковий двигун NEMA 17 42BYGH47-401A	шт	1	810	810
Драйвер TB6600	шт	1	460	460
Лазер LaserLand	шт	1	950	950
Блок живлення GinzzuGA-1090U	шт	1	850	850
Стабілізатор напруги LM2596	шт	1	55	55
Електротехнічні компоненти (Монтажна плата, клемники, дроти, термозбіжні трубки, роз'єми, припій, каніфоль)	комплект	1	2707	2707
Усього за матеріали:				302 902
Транспортно-заготівельні витрати (3%):				9087,1
Разом:				311 989,1

4.4.2. Розрахунок амортизаційних відрахувань

У цьому проекті має місце розрахунок амортизації, оскільки є обладнання, яке під час роботи з проектом експлуатується і виникає знос. Розрахуємо три основні компоненти в проекті, які схильні до зносу - ноутбук, 3D-принтер і екструдер.

Річна норма амортизації розраховується за формулою, має наступний вид:

$$A_z = \frac{S}{n}, \quad (23)$$

де S – первісна вартість устаткування, грн;
 n – термін корисного використання устаткування, рік.

Щомісячні амортизаційні відрахування розраховуються за такою формулою:

$$A_m = \frac{A_z}{12}. \quad (24)$$

У таблиці 23 наведено розрахунки амортизаційних відрахувань для устаткування.

Таблиця 23 - Амортизаційні відрахування

Найменування обладнання	Термін корисного використання, міс.	Термін застосування у дослідженні, міс	Початкова вартість устаткування, грн.	Щомісячне амортизаційне відрахування, грн.	Підсумкові сумарні відрахування, грн.
Ноутбук ASUS FX505D T-AL023	36	24	53 100	1460,25	35 046
3D-принтер Anet ET4	60	4	14 000	233,3	933,2
Екструдер BestRuder	60	10	220 000	3666,7	36 667
Разом:					72 646,2

Таким чином, витрати на амортизацію обладнання становлять 72646,2 грн.

4.4.3. Основна заробітна плата виконавців проекту

Величина витрат із заробітної плати визначається з трудомісткості виконуваних робіт і системи оплати праці.

Стаття включає основну заробітну плату працівників, безпосередньо зайнятих виконанням НТП, та додаткову заробітну плату:

$$ЗЗП = З_{осн} + З_{доп}, \quad (25)$$

де $З_{осн}$ - основна заробітна плата;

$Z_{\text{доп}}$ - додаткова заробітна плата (12-20% від основної).

Основна заробітна плата керівника (лаборанта, інженера) від підприємства розраховується за такою формулою:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (26)$$

де $Z_{\text{осн}}$ - основна заробітна плата одного працівника;

$Z_{\text{дн}}$ - середньоденна заробітна плата працівника, грн.;

T_p - тривалість робіт, що виконуються працівником, роб.дн.
Середньоденна зарплата розраховується за такою формулою:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (27)$$

де Z_m - Місячний посадовий оклад працівника, грн.;

M - кількість місяців роботи без відпустки протягом року:

при відпустці 48 робочих днів $M = 10,4$ місяця, 6-денний тиждень;

F_d - дійсний річний фонд робочого часу науково-технічного персоналу, роб. дн.

Баланс робочого часу представлений у таблиці 24.

Таблиця 24 - Баланс робочого часу

Показники робочого часу	Науковий керівник	Інженер-дипломни к
Календарне число днів	365	365
Кількість неробочих днів (вихідні та святкові дні)	119	119

Втрати робочого часу (відпустки та невиходи через хворобу)	48	48
Справжній річний фонд робочого часу	198	198

Місячний посадовий оклад працівника:

$$З_M = З_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (28)$$

де $З_{TC}$ - Заробітна плата за тарифною ставкою, грн.;

k_{np} – преміальний коефіцієнт, що дорівнює 0,3;

k_d – коефіцієнт доплат та надбавок становить приблизно 0,2-0,5;

k_p - Районний коефіцієнт, рівний 1,3 для Харкова.

Розрахунок основної плати представлений у таблиці 25.

Таблиця 25 - Розрахунок основної заробітної плати

Виконавці	Оклад	k_{np}	k_d	k_p	$З_M$, грн	$З_{дн}$, грн.	$Т_p$, роб. дн.	$З_{осн}$, грн.
Науковий керівник	33 664	-	-	1,3	43763,2	2298,7	22,3	51 261
Інженер-дипломник	21 760	-	-	1,3	28288	1485,8	215,7	320 487,1
Разом:								371748,1

4.4.4. Додаткова заробітна плата виконавців проекту

Розрахунок додаткової заробітної плати ведеться за такою формулою:

$$З_{дон} = \kappa_{дон} \cdot З_{осн} \quad (29)$$

де $k_{доп}$ - Коефіцієнт додаткової заробітної плати (0,1 - 0,15).

Таким чином, отримаємо такі значення:

$$З_{доп} HP = 0.13 \cdot 51261 = 6663,9 \text{ (грн.)}. \quad (30)$$

$$З_{доп} I = 0.13 \cdot 320\,487,1 = 41\,663,3 \text{ (грн.)}. \quad (31)$$

4.4.5. Відрахування до позабюджетних фондів

Існують обов'язкові відрахування за встановленими законодавством нормами органів державного соціального страхування, пенсійного фонду та медичного страхування, які також включаються до розрахунку бюджету науково-дослідної роботи.

Величина відрахувань до позабюджетних фондів визначається виходячи з наступної формули:

$$З_{позаб} = k_{позаб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (32)$$

де $k_{позаб}$ - Коефіцієнт відрахувань на сплату до позабюджетних фондів.

У таблиці 26 представлені розрахунки відрахувань.

Таблиця 26 - Відрахування до позабюджетних фондів

Виконавець	Основна Заробітна плата, грн.	Додаткова плата, грн.	Коефіцієнт відрахувань, %	Відраху- вання
Науковий керівник	51 261	6 663,9	30	17 377,5
Інженер- дипломник	320 487,1	41 663,3		108 645,1
Разом:				126 022,6

4.4.6. Накладні витрати

Накладні витрати враховують витрати організації, які не є тими, що були представлені: технічне обслуговування та ремонт обладнання, енергетичні витрати, витрати на організацію та управління та ін. Їх величина визначається за формулою 14:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (3)$$

3)

де $k_{\text{накл}}$ – коефіцієнт накладних витрат, що дорівнює 0,8.

В результаті величина накладних витрат становитиме:

$$Z_{\text{накл}} = 0,8 \cdot (371\,748,1 + 48\,327,2) = 336\,060,2 \text{ (грн.)}. \quad (3)$$

4)

4.4.7. Формування бюджету витрат науково-дослідного проекту

У таблиці 27 представлений бюджет цього проекту, визначений калькуляцією видатків за всіма певними статтями.

Таблиця 27 – Бюджет НТІ

Найменування статті	Сума, грн
1. Матеріальні витрати НТІ	311 989,1
2. Амортизаційні відрахування	72 646,2
3. Витрати з основної заробітної платі виконавців проекту	371 748,1
4. Витрати на додаткову заробітну плату платі виконавців проекту	48 327,2
5. Відрахування у позабюджетні фонди	126 022,6

6. Накладні витрати	336 060,2
Разом (бюджет НТІ):	1 266 793,4

Таким чином, в даному розділі роботи проведено техніко-економічне дослідження:

- складено структуру роботи, та на її основі проведено розрахунки НТІ, а також її бюджет;
- розрахований бюджет витрат НТІ, який становив 1 266 793,4 грн.

4.5. Визначення ресурсної (ресурсозберігаючої) та економічної ефективності дослідження

Визначення ефективності відбувається на основі розрахунку інтегрального фінансового показника, що визначається за такою формулою:

$$I_{\text{фін}}^{\text{исп.і}} = \frac{\Phi_{\text{рі}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (35)$$

де $I_{\text{фін}}^{\text{исп.і}}$ - Інтегральний фінансовий показник розробки;

$\Phi_{\text{рі}}$ - Вартість і-го варіанту виконання;

Φ_{max} – максимальна вартість виконання науково-дослідного проекту;

Φ_{max} залежить від складу проекту.

У процесі оцінки іншого виконання розробки було враховано лише матеріальні витрати, оскільки сутність визначається зміною компонентної бази. Серед них проводиться варіація головних механізмів системи - датчика (модель TSL1401, вартість 300 грн), контролера (STM32F407 Discovery, вартість 3190 грн) та виконавчого механізму (IG22C0110-401K1R, 550 грн). Через війну, матеріальні витрати другого виконання становитимуть: 304 362 грн, з урахуванням транспортно-заготівельних витрат (3%) – 313 492,9 грн.

Інтегральний фінансовий показник виходить рівним для наступних двох варіантів:

$$I_{\text{фінр}}^{\text{исн1}} = \frac{1\,266\,793,4}{1\,268\,297,2} = 0,9988. \quad (36)$$

$$I_{\text{фінр}}^{\text{исн2}} = \frac{1\,268\,297,2}{1\,268\,297,2} = 1. \quad (37)$$

Інтегральний показник ресурсоефективності варіантів виконання об'єкта дослідження можна визначити так:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot \beta_i, \quad (38)$$

де I_{pi} - Інтегральний показник ресурсоефективності для i -го варіанта виконання розробки;

a_i - ваговий коефіцієнт i -го варіанта виконання;

β_i - бальна оцінка i -го варіанти виконання розробки, встановлюється експертним шляхом за обраною шкалою оцінювання.

У таблиці 28 проведено порівняльний розрахунок за критеріями обчислення інтегрального показника ресурсоефективності.

Таблиця 28 – Порівняльна оцінка варіантів виконання

Критерії	Ваговий коефіцієнт	Виконання 1	Виконання 2
1. Якість свідчень	0,25	5	3
2. Точність впливів	0,2	5	4
3. Час відгуку	0,1	4	5
4. Модульність	0,07	4	5
5. Масштабованість	0,08	4	4
6. Завадостійкість	0,2	5	4
7. Безпека	0,1	4	5
Разом:	1	31	30

Тоді самі інтегральні показники ресурсоефективності для виконання будуть представлені у такому вигляді:

$$I_{p\text{исн1}} = 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,07 \cdot 4 + 0,08 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,65. \quad (39)$$

$$I_{p\text{ icn}2} = 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,07 \cdot 5 + 0,08 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,02. (40)$$

Інтегральний показник ефективності варіантів виконання розробки обчислюється на підставі показника ресурсоефективності та інтегрального фінансового показника за формулою:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}. (41)$$

Найбільш ефективний варіант визначається шляхом підрахунку порівняльного інтегрального показника ефективності варіантів виконання розробки. Порівняльна ефективність проекту:

$$E_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. (42)$$

Результати зведені до таблиці 29.

Таблиця 29 - Порівняльна ефективність розробок

Показник	Виконання 1	Виконання 2
Інтегральний фінансовий показник	0,9988	1
Інтегральний показник Ресурсоефективності	4,65	4,02
Інтегральний показник ефективності	4,66	4,02
Порівняльна ефективність варіантів виконання	1,16	

Таким чином, за поточного бюджету проекту різниця в матеріальних витратах незначна, проте в якісному плані для реалізації проекту ефективнішим і пріоритетним є перший варіант виконання.

Висновки

В результаті виконання роботи було досягнуто мети, проведено дослідження щодо застосування активного контролю за технологічними параметрами при виробництві світлопровідної полімерної нитки. Виявлено можливість використання технології екструзії полімерної сировини та досягнення високої якості кінцевого продукту безпосередньо при його виготовленні. Закріплені як професійні, і універсальні компетенції, набуті у процесі навчання.

Результатами виконаної роботи стало отримання теоретичних та практичних навичок роботи при створенні експериментальної моделі пристрою системи активного контролю за діаметром світлопровідного полімерного волокна. За допомогою системи автоматизованого проектування Autodesk Inventor були змодельовані допоміжні компоненти конструкції, які потім були виготовлені на 3D-принтері. Були зібрані апаратні елементи системи на єдиний пристрій. Написано програмне забезпечення для роботи датчика та керування механізмом протягування екструзійної установки.

Визначено структурну схему системи із встановленням двох контурів управління та їх взаємозв'язку. При дослідженні системи та подальшого налаштування регуляторів було проведено ряд експериментів з отриманням необхідних даних для кожного контуру системи. На основі них виявлено та розраховано математичну модель кожного об'єкта управління та системи в цілому. Потім були синтезовані регулятори для стабілізації встановленого положення світлопровідного полімерного волокна та його діаметра.

У процесі виконання роботи та досліджень було виявлено такі особливості, як повторюваність експериментів, застосування зовнішнього шумового впливу у зворотному зв'язку математичної моделі (моделювання перешкод із датчика) для більшої відповідності реальності. Використання одного датчика для вимірювання всіх необхідних параметрів системи є перевагою реалізації, що призводить до зменшення похибки при роботі системи. У

математичному пакеті Simulink компонент PID, налаштований автоматичним методом, показав незадовільні результати, і не може бути використаний для опції реальних об'єктів Найкращим способом налаштування виявився ручний метод. та CHR.

Надалі передбачається провести комплексний аналіз світлопровідного волокна на його якість, завершити роботи над системою, налагодити її повною мірою на устаткуванні, а також впровадити систему нанесення захисної оболонки у виробництво в автоматизованому режимі, що сприятиме масовому виробництву світлопровідного полімерного волокна.

Література

1. Бідюк П.І. Методи прогнозування/П. Бідюк,О. Меньяйленко, О.Половцев. – Т 2. – Луганськ : Альма-матер, 2008. – 305 с.
2. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. – doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 – P. 367-372.
3. Kyung Sup Kwak. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard" [Electronic resource] / Kyung Sup Kwak, Sana Ullah, Niamat Ullah // 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010), 7-10 Nov., 2010. – Rome, Italy. – DOI: 10.1109/ISABEL.2010.5702867.
4. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. – doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 –P. 367-372.
5. IEEE 802.11 ad: directional 60 GHz communication for multi-Gigabit-per-second Wi-Fi / Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A. B., Knightly, E. W., Perahia, E., & Widmer, J. C. // IEEE Communications Magazine. – 2014. – 52 (12). – Pp. 132-141.
6. IEEE 802.11 ad: A standard for TV white space spectrum sharing / Flores, A. B., Guerra, R. E., Knightly, E. W., Eccle-sine, P., & Pandey, S. // IEEE Communications Magazine. – 2013. – 51 (10). – Pp. 92-100.
7. Галай В.М. Теорія оптимальних систем автоматичного керування технологічними процесами: монографія/ В.М.Галай, К.Х.Зеленський, А.М. Сільвестров. – Полтава: ПНТУ, 2009. – 153 с.
8. Жлуктенко В. І. Економетрія/В. І. Жлуктенко, Н.К. Водзянова, С. С. Савіна, О. В. Колодінська (під ред. С. І. Наконечного). – Київ: Видавництво Європейського університету, 2005. – 550 с.
9. Зеленський К. Х. Комп'ютерні методи прикладної математики / К. Х. Зеленський, В. М. Ігнатенко, О. П. Коц. — Київ: Академперіодика, 2002. – 480 с.
10. Івахненко О. Г. Довгострокове прогнозування та керування скланими системами/О.Г. Івахненко. – Київ: Техніка, 1975. –250 с.
11. Нестеренко О.В., Ковтунець О.В., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи і технології. Ввідний курс/ О.В.Нестеренко, О.В. Ковтунець, О.О. Фаловський. – Київ:Національна академія управління, 2017. – 90 с.
12. Островерхов М.Я. Методи дослідження електротехнічних комплексів і систем/М.Я. Островерхов, А.М. Сільвестров, К.Х. Зеленський/К.: ТАЛКОМ, 2019. - 300 с.
13. Самсонов В. В., Тачиніна О.М. Методологія наукових досліджень

та приклади її використання/Київ, НУХТ, 2022. – 385 с.

14. Сільвестров А. М. Багатократно адаптивні системи ідентифікації / А. М. Сільвестров, О. М. Паченко. – К. : Техніка, 1983. – 110 с.
15. Антонюк В. С. Методологія наукових досліджень: Навч. посіб./В.С.Антонюк, Л. Г. Полонський, В. І. Аверченков, Ю. А. Малахов. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2015. – 274 с.
16. Бучма І.М. Мікропроцесорні пристрої Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2005. – 236 с.
17. Важинський С.Е., Щербак Т.І. Методика та організація наукових досліджень: Навч. посіб. /С. Е. Важинський, Т. І. Щербак. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. –260 с.
18. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332>
19. Дубовський С.В. Техніко-економічні оцінки перспективних природоохоронних технологій теплової енергетики України / С.В. Дубовський, В.С. Коберник // Проблеми загальної енергетики. –2013. – № 2(33). –С. 49-56.
20. Залознова Ю.С. Економічні та соціальні проблеми розвитку промисловості: монографія / Ю.С. Залознова; НАН України, Інститут економіки промисловості. –Київ, 2017. –288 с.
21. Іщук С.І., Гладкий О.В. Техніко-економічні основи промислового виробництва: навч. посібник. – К.: Академія, 2011. – 296 с.
22. Артюх С.Ф. Автоматизовані системи керування технологічними процесами в енергетиці / С.Ф.Артюх, М.А.Дуель, І.Г.Шелепов. –Харків, "Знання", –2001 р., –416 с.
23. Дуель М.О. Автоматизовані системи управління технологічними процесами енергоблоків теплових електростанцій (розробка, дослідження, впровадження): автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.13.07 / М.О. Дуель. –Харків, 1998. –36 с.
24. Савицький В. Технічні засоби автоматизації. - Львівська політехніка, 2018, -292с.
25. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів. -Ліра-К, 2017, -378с.
26. Ладанюк А. П.- Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування). Ліра-К, 2016, -312с.
27. Автоматизація технологічних процесів. Синєглазов В.М., Сергєєв І. Ю. -Київ, 2015, -444с.
28. Автоматизація виробничих процесів. Підручник. Ельперін І.В., Пупена О.М., Сідлецький В.М. -Ліра К, 2017, -378с.

29. Основи автоматики та автоматизації, Пістун Є.П., Стасюк І.Д. - Львівська політехніка, 2018, -336с.
30. Теоретичні основи автоматики. Корчемний М.О., Клендій П.Б., Потапенко М.В. -Богдан НК, 2012, -304с.
31. Технології проектування комп'ютерних систем. Б.І. Масловський, В.І. Дрововозов, О.В. Коба. -Київ, 2015, -500с.
32. Обладнання автоматизованого виробництва Бочков В. М., Сілін Р. І., - Львівська політехніка. 2015, -404с.
33. Виконавчі пристрої систем автоматизації. Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. - Львівська політехніка, 2020, -220с.

ВІДГУК**наукового керівника кваліфікаційної роботи
рівня вищої освіти “магістр”**

**виконаного на тему: Дослідження та удосконалення системи керування
установкою виробництва полімерної нитки**

студентом (кою) СУМЦОВ Максим Володимирович

(прізвище, ім'я)

Студент Сумцов М.В. виконав магістерську роботу на тему “Дослідження та удосконалення системи керування установкою виробництва полімерної нитки” повністю відповідно до завдання. Робота присвячена актуальному питанню дослідження та удосконалення системи керування установкою виробництва полімерної нитки та дослідженню питання їх ефективності в різних режимах роботи. Студент Сумцов М.В. працював над роботою систематично, докладно вивчав рекомендуєму літературу, і правильно застосовував отримані знання. Графічна частина роботи виконана відповідно до норм і вимогами. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота має практичну значимість та наукову цінність

У цілому робота виконана грамотно, акуратно, основні цілі роботи досягнуті, а поставлені завдання виконані. Робота заслуговує оцінки “відмінно”.

Керівник кваліфікаційної роботи

__к.т.н., доцент__

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

__Мезеря А.Ю.

(ім'я, прізвище)

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу

“Магістр” рівня вищої освіти

виконаний(у) на тему: **Дослідження та удосконалення системи керування установкою виробництва полімерної нитки**

студентом (кою) **СУМЦОВ Максим Володимирович** _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Студент Сумцов М.В. виконав магістерську роботу на тему “Дослідження та удосконалення системи керування установкою виробництва полімерної нитки” повністю відповідно до завдання.

В роботі проведено дослідження та удосконалення системи керування установкою виробництва полімерної нитки. Визначені основні фактори, які впливають на поліпшення основних характеристик системи керування виробництва. Визначені області застосування систем керування, а також критерії їх ефективного використання.

Робота присвячена актуальному питанню підвищення ефективності систем керування. Це питання має високу практичну значимість, тому що енергозбереження є на сьогодні основним напрямком розвитку енергетики України. Вирішення цього питання дозволяє не тільки заощаджувати кошти на додатковому виробництві електроенергії, но і поліпшити питання екології.

Робота має практичну значимість та наукову цінність.

Графічна частина роботи виконана відповідно до норм та вимог. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота виконана на актуальну тему і відбиває високу інженерну підготовку автора.

Па роботі є наступні зауваження:

При синтезі системи керування бажано врахувати збитки при погіршення показників надійності (відмова АСУ)

У цілому робота виконана акуратно, грамотно та заслуговує оцінки «відмінно».

Рецензент

К.Т.Н., доцент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

Буданов П.Ф. _____

(ім'я, прізвище)