

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод автоматизованого керування екструдером при виробництві листових

полімерів

Назва теми

КвРАКІТР.2023232.01.22 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та

робототехніка»

Шифр, назва

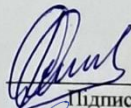
Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та

робототехніка»

Назва

Виконав:

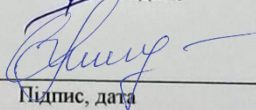
студент II курсу, група АКІТРм-23-1


Підпис

Юрій РОМАНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

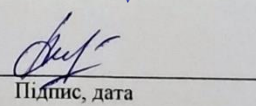
Керівник


Підпис, дата

Наталія МОРКУН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«19» грудня 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Валерій МАРТИНЮК

01 вересня 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Романюку Юрію Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Метод автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів

Керівник роботи Моркун Наталія Володимирівна д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.

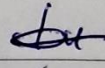
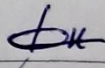
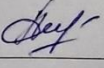

3 Вихідні дані до роботи Аналіз процесів екструзії. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Дослідження процесів екструзії. Математичне моделювання процесу екструзії. Дослідження математичної моделі екструзії. Синтез системи управління. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вступ	10.09.2024р.	Виконано
2 Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2024р.	Виконано
3 Огляд існуючих методів	15.10.2024р.	Виконано
4 Алгоритмічне проектування	30.10.2024р.	Виконано
5 Розробка програмного забезпечення	10.11.2024р.	Виконано
6 Висновки	15.11.2024р.	Виконано
7 Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи	20.11.2024р.	Виконано
8 Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2024р.	Виконано

Студент


Підпис

Юрій РОМАНЮК

Ім'я, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Наталія МОРКУН

Ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів».

Автор роботи: Романюк Юрій Володимирович.

Керівник роботи: Моркун Наталія Володимирівна, д.т.н., професор

Пояснювальна записка: 85 с., 46 рис., 4 табл., 1 дод., 70 джерел.

Графічна частина: 13 презентаційних слайдів.

ВИРОБНИЦТВО ЛИСТОВИХ ПОЛІМЕРІВ, КЕРУВАННЯ ЕКСТРУДЕРОМ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ.

Мета роботи: розробити метод автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів. У магістерській роботі досліджено технологічний процес виробництва листових полімерів, проведено математичне моделювання процесу, досліджено температурні режими, побудовано спрощену математичну модель процесу. Розроблено алгоритм керування процесу виробництва листових полімерів в умовах штатного і нештатного режимів роботи, що дозволило зменшити енерговитрати виробництва.



Підпис студента

02.12.2024 року

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕКСТРУЗІЇ	6
1.1 Поняття екструзії.....	6
1.2 Етапи екструзії.....	7
1.3 Виготовлення листової пластмаси	11
1.4 Конструктивні особливості використовуваного для екструзії	12
1.5 Особливості пластиків	13
1.6 Огляд методів виготовлення виробів з пластику.....	15
1.7 Вплив параметрів переробки на властивості плівки	19
1.8 Висновки до першого розділу	28
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУЗІЇ.....	29
2.1 Конструкція нагрівальної частини екструдеру.....	29
2.2 Теплова модель зони нагрівання	30
2.3 Теплова мат. модель зони плавлення	32
2.4 Теплова мат. модель зони гомогенізації	35
2.5 Висновки до другого розділу.....	38
3 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕКСТРУЗІЇ.....	40
3.1 Дослідження впливу першого нагрівального елемента на екструзію ...	40
3.2 Повний опис об'єкта регулювання	42
3.3 Поєднання математичної логічної моделі системи автоматичного регулювання рівня рідини в баку	44
3.4 Інструментальна модель автоматичної системи керування.....	53
3.5 Результати моделювання	55
3.6 Висновки до третього розділу	56
4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....	58
4.1 Структурна схема системи автоматичного керування	58
4.2 Синтезування регуляторів першого нагрівача.....	58
4.3 Синтез регуляторів для третього нагрівача	60

4.4 Синтез та дослідження схем управління.....	61
4.5 Дослідження моделі	67
4.6 Висновки із результатів моделювання	74
4.7 Висновки до четвертого розділу.....	75
ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79
ДОДАТОК А Стаття у фаховому журналі.....	87

ВСТУП

Складність і швидкість технологічних процесів хімічної промисловості, їх чутливість до зміни режиму, а також підвищена ймовірність вибухо- та пожежонебезпечних ушкоджень зумовлюють посилення уваги до автоматизації хіміко-технологічних процесів. Автоматизоване та ефективне керування технологічними процесами забезпечує високу якість продукції, раціональний підхід до використання сировини та енергозбереження, збільшення міжремонтних інтервалів устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу.

Процедура виробництва листових полімерів використовується для створення корисних продуктів з оброблених матеріалів, які потім подаються в екструдер у вигляді капсул. Зокрема, це включає такі речі, як пакети та плівки в харчовій промисловості, труби для зрошення та інших практичних застосувань, які виготовляються з листового полімеру. Таким чином, можна сказати, що виробництво листів полімерів, які вже є популярними, майже повністю складається з переробки вже виготовлених виробів.

Метою роботи є розробка методу автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів.

Об'єктом дослідження є процес виробництва листових полімерів.

Предметом дослідження є математична модель, температурні режими, спрощена математична модель виробництва листових полімерів та синтез системи керування процесом.

Методи дослідження: теорія автоматичного керування, методи математичного моделювання, диференційне та інтегральне числення.

Завдання роботи:

- ознайомлення з фактичною процедурою виробництва листових полімерів,

- огляд існуючих математичних моделей процесу виробництва листових

полімерів, -

- дослідження температурного діапазону процесу виробництва листових

полімерів, -

- розробка спрощеної математичної моделі процесу виробництва листових полімерів,

- розробка процесу виготовлення листових полімерів,

- дослідження механічного та енергетичного стану екструдерів з урахуванням їх заданих атрибутів технологічного регламенту.

Наукова новизна полягає у розробці методу автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів, що покращує функціональні можливості устаткування.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕКСТРУЗІЇ

1.1 Поняття екструзії

Екструзія - це спосіб виготовлення виробів або частин виробів обмеженої довжини в екструдері, який продавлює полімерний розплав через головку форми, яка має канали відповідного профілю. Для цього використовуються екструдери, які використовують шнеки або черв'яки.

Виробництво різних продуктів за допомогою методу екструзії здійснюється шляхом попереднього нагрівання розплаву в екструдері та додавання формованого екструдату однієї з двох основних форм, який потім пропускається через головки створення відповідної конструкції з подальшим охолодженням, перевіркою і т.д.

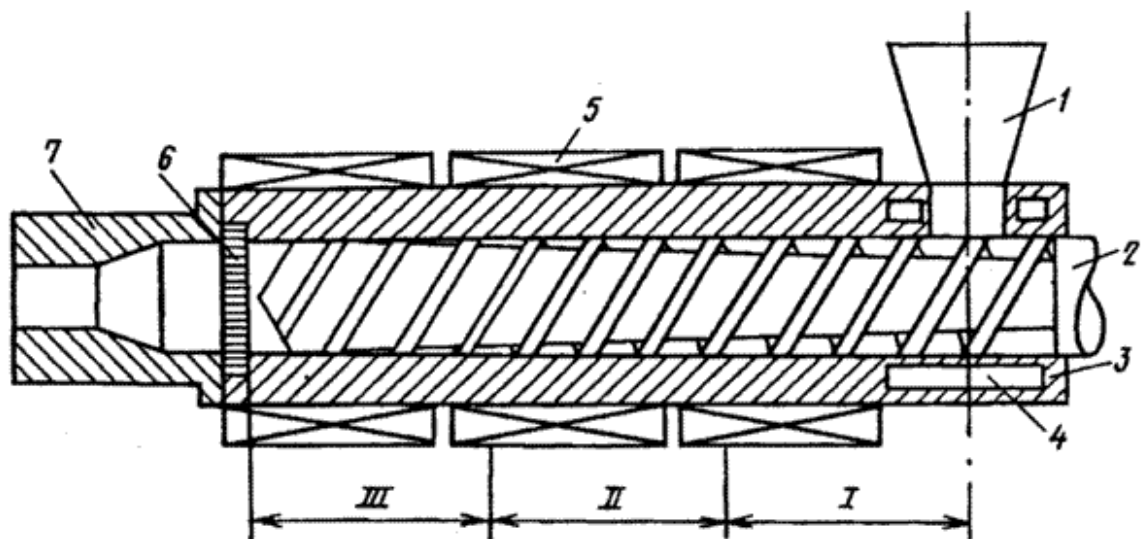


Рисунок 1.1 – Конструкція одношнекового екструдера: 1- бункер; 2- шнек; 3- циліндр; 4 - порожнина для циркуляції води; 5- нагрівач; 6- решітка з сітками; 7- формуюча голівка; I, II, III- технологічні зони.

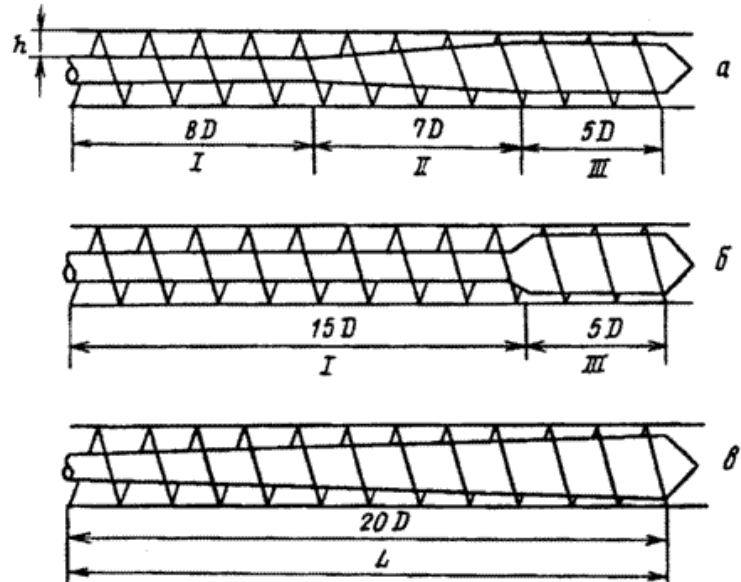


Рисунок 1.2 - Типи шнеків: а – шнек загального призначення з трьома (I, II, III) геометричними зонами; б – шнек для переробки висококристалічних полімерів (в – шнек для екструзії ПВХ) D – зовнішній діаметр; L – довжина (технологічна) шнека; h – глибина нарізки шнека

1.2 Етапи екструзії

Технологічний процес екструзії включає послідовне переміщення компонентів матеріалу обертовою лопаттю в його ділянках (див. рис. 1): подачу (I), пластифікацію (II), дозування розплаву (III) і подальше просування. розплавляються через канали формуючої головки.

Розподіл компонентів шнека на зони I-III базується на технологічному атрибуті та висвітлює основні операції, що виконуються кожною секцією шнека. Поділ шнека на зони залежить від типу полімеру, що переробляється, температури і швидкості процесу, а також інших факторів, початок і кінець окремих операцій можна зміщувати вздовж шнека, займаючи різні зони або перехід від однієї секції до іншої. Циліндр також має певну кількість зон з певною довжиною тепла. Довжина цих областей визначається положенням нагрівачів на поверхні та температурою нагрівачів. Межі зон, в яких знаходяться гвинти, і зон, що обігріваються циліндром, не можуть

перетинатися. Для полегшення плавного руху матеріалу умови для переміщення твердого матеріалу із зони завантаження бункера в простір під бункером є вирішальними.

Давайте обговоримо поведінку матеріалу послідовно на кожному етапі екструзії.

Наповнення сировини. Матеріал для екструзії може подаватися в бункер у вигляді порошку, гранул або стрічок. Кінцевий вид сировини є звичайним для переробки відходів виробництва плівок і проводиться на спеціальних екструдерах, які мають живильники та роблювачі, встановлені в укритті. Послідовне дозування матеріалу з бункера відповідає за високу якість екструдату.

Переробка полімерів у вигляді гранул є найефективнішим способом живлення екструдера. Пов'язують це з тим, що полімерні гранули менш схильні до «зависання», утворення заторів в бункері, ніж порошок.

Порошкоподібний матеріал може згрупуватися під час зберігання або транспортування, особливо це стосується матеріалів, які проходять через бункер. На відміну від порошку, гранульований матеріал має одиничну насипну масу, яка є постійною. Завантаження міжоборотного простору під лійкою бункера здійснюється на відрізок довжини шнека, що дорівнює $(1 - 1,5) D$. При обробці декількох компонентів використовуються окремі дозатори для їх завантаження в бункер: шнековий (об'ємний), вібраційний, ваговий і так далі. Якщо при використанні порошкоподібних матеріалів останні мають нестійку плинність, то в бункерах утворюються «склепіння», які кріпляться до стінок бункера. Забезпечення гвинта достатньою кількістю їжі. Щоб викоринити це, важливо включити в бункер мішалки. Об'єм речовини залежить від вологості: чим вище вологість, тим менше об'єм. У результаті речовини спочатку необхідно висушити.

Щоб підвищити ефективність машини, пелети можна попередньо нагріти. Використання пристрою для примусової подачі матеріалу з бункера в шнек

також підвищує ефективність роботи машини (до 3 разів). Коли матеріал додається в міжоборотний простір шнека, повітря, що вийшло, повертається через бункер. Якщо процес видалення повітря не завершено, повітря, що залишилося, залишиться в розплаві та створить порожнини в продукті після формування. Це процес, за допомогою якого створюються дефектні продукти.

Зміна об'єму матеріалу в бункері впливає на ступінь його заповнення в шнеку. У результаті бункер оснащений спеціальним автоматичним рівнеміром, який використовується для розміщення матеріалу бункера на бажаному рівні. Завантаження екструдера здійснюється за допомогою пневмотранспорту.

Процес подачі шнека залежить від форми частинок сировини та їх об'ємної щільності. Гранули, що утворюються в процесі різання на гарячій решітці гранулятора, не мають гострих кутів і країв, що сприяє їх більшій сипучості. Окатиші, отримані холодним різанням прутка, мають гострі кути, плоский профіль, що сприяє їх кріпленню і, як наслідок, меншій сипучості. Під час тривалої роботи екструдера температура циліндра під лійкою бункера може перевищуватись. У цьому випадку гранули почнуть групуватися разом, і подача в шнек припиниться. Для запобігання перегріву цієї частини циліндра в ній створені канали для потоку охолоджуючої води (див. рис. 1, п. 4).

Зона потужності (I). Невеликі височини в основі сходів зони I ущільнюються від вхідних отворів бункера для гранул. Ущільнення і пресування гранул в зоні I зазвичай викликано зменшенням глибини різального механізму шнека. Руху гранул сприяє різниця в силі тертя між полімером по внутрішній поверхні циліндра і поверхні гвинта. Оскільки поверхня контакту полімеру з поверхнею шнека більша за поверхню циліндра, зменшення коефіцієнта тертя полімеру по шнеку призведе до того, що матеріал не буде рухатися вздовж осі шнека, а обертатиметься разом з ним. Це досягається підвищенням температури стінки циліндра (нагрівання) і зниженням температури шнека (охолодження води в зоні I). У зоні I велике внутрішнє і зовнішнє тертя викликає виділення тепла, яке також витрачається на нагрівання

матеріалу. Ця ж область забезпечується теплом через нагрівачі, розташовані по колу циліндра. Іноді внутрішнього виділення тепла може бути достатньо для розплавлення полімеру, тоді нагрівачі вимикаються. Такий режим називається адіабатичним. У більшості випадків процедури не дотримуються цього принципу. Якщо температура циліндра така, що полімер передчасно розплавиться на його границях, то матеріал буде ковзати по цій поверхні, тобто він також буде обертатися разом із гвинтом. Рух матеріалу стає більш поступальним. При температурі, яка є найбільш ефективною, полімер нагрівається, ущільнюється і утворює міцний бар'єр у просторі між витками. Найефективніше створювати змінну пробку на межі I та II зон. Характеристики пробки істотно впливають на продуктивність машини, стабільність транспортування полімеру, максимальний тиск тощо.

Щорічно у світі виробляється до 180 тонн різних пластмас, які використовуються для створення споживчих товарів, упаковки та одягу. Термін служби пластикових виробів зазвичай становить від кількох хвилин до кількох років (якщо мова, наприклад, про упаковку).

Крім того, період розкладання більшості полімерів обмежений кількома сотнями років, в результаті на Землі все більше накопичується пластикове сміття.

Сучасне виробництво має інший підхід: замість того, щоб створювати новий пластик, вони беруть пластикові відходи зі своїх поточних продуктів і створюють замітники, які не поступаються новому пластику.

Метод екструзії використовується в кожному виробництві, цим методом переробляють не більше 50% термопластів. Екструзія дозволяє виготовляти з ПВХ такі матеріали:

- плівки;
- листи;
- труби;
- шланги;

- капіляри;
- прутки;
- сайдинг;
- профільну продукцію незалежно від ступеня складності і конфігурації;
- нанесення полімерного матеріалу на елементи електропроводів;
- виготовлення багат шарових елементів і деталей.

1.3 Виготовлення листової пластмаси

Найпоширенішим методом виробництва пластмаси є багаторазове впорскування невеликими партіями у форму. Це найрентабельніший спосіб виробництва пластику, і завдяки цьому близько третини пластику виробляється в країні. Гранули є вихідними матеріалами для процесу плавлення, після чого вони передаються на спеціальні машини для формування.

При виготовленні пластмас методом лиття під тиском використовуються термопластавтомати. Основними функціями автоматичних виробників є: подрібнення гранул, нагрівання полімерної маси, литникова система, яка перенаправляє нагрітий полімер у форму для формування.

Багато компаній намагаються усунути відходи від виробництва пластикових виробів, вони також використовують машини та обладнання для обробки шматків, що залишилися.

Основні функціональні властивості АБС-пластику
(C_8H_8)_x·(C_4H_6)_y·(C_3H_3N)_z:

- щільність - 1,02 - 1,08 г / см³;
- міцність при стисненні - 46 - 80 МПа;
- міцність при розтягуванні - 35 - 50 МПа;
- міцність при вигині - 50 - 87 МПа;
- модуль пружності при розтягуванні при 23 ° С - 1700 - 2930 МПа;

- відносне подовження - 10 - 25%;
- усадка (при виготовленні виробів) - 0,4 - 0,7%;
- вологопоглинання - 0,2 - 0,4%;
- ударна в'язкість по Шарлі (з надрізом) - 10 - 30 кДж / м²;
- твердість по Бринеллю - 90 - 150 МПа;
- температура розм'якшення - 90 - 105 ° С;
- теплостійкість по Мартенсу - 86 - 96 ° С;
- максимальна температура тривалої експлуатації - 75 - 80 ° С;
- діапазон технологічних температур - 200 - 260 ° С;
- діелектрична проникність при 106 Гц - 2,4 - 5,0;
- тангенс кута діелектричних втрат при 106 Гц - (3 - 7) x10⁻⁴;
- питомий об'ємний електричний опір - 5x10¹³ Ом / м;
- електрична міцність - 12 - 15 МВ / м;
- температура самозаймання - 395 ° С.

1.4 Конструктивні особливості використовуваного для екструзії

При екструзії поліолефінів використовують одношнекові екструдери зі ставленням довжини черв'яка до діаметра не менше від 15:1 до 33:1, значення, що рекомендується, становить 24:1. Використання довгих шнеків усуває пульсацію розплаву та покращує гомогенізацію компонентів перероблюваної суміші (полімеру та технологічних добавок) Зазор між гребенями шнека та внутрішньою поверхнею циліндра вибирають в інтервалі 0,125–0,375 мм. Для екструзії плівок рекомендується ступінь стиснення приблизно 3:1. Велика сила стиснення дає високий внутрішній нагрівання, хороше перемішування суміші та відведення повітря, захопленого розплавом [10]

Для екструзії поліетилену рекомендується використовувати шнек із кроком нарізки, що зменшується [11] Його конструкція схематично зображена на рисунку 1.3.

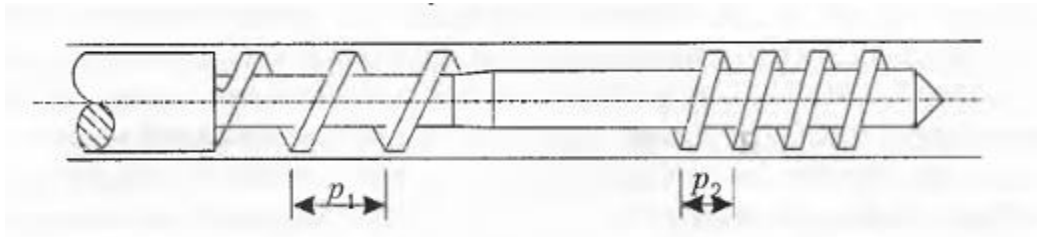


Рисунок 1.3 - Шнек для екструзії поліетилену

Екструзія поліетилену проводиться на екструдерах з кількома зонами обігріву та незалежним регулюванням температур. Температура в екструдері поступово підвищується в напрямку входу в машину до виходу з неї. В екструдер завантажується холодний поліетилен, щоб уникнути утворення склепін у бункері. Рекомендовані температури за зонами циліндра при екструзії плівки з ПЕВП наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Температурні режими екструдювання

Зона	Бак завантаження	Циліндр			Головка
		I	II	III	
Температура, °C	85	140–150	160–180	220–230	235–240

1.5 Особливості пластиків

Як сировина використовується поліетилен високого тиску (низька щільність).

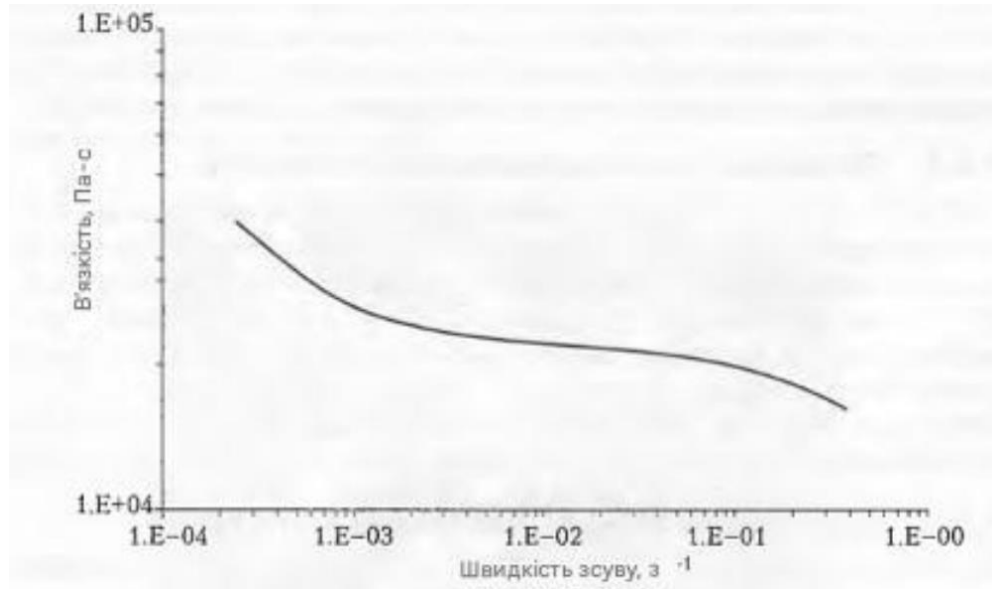


Рисунок 1.4 - Залежність в'язкості поліетилену від швидкості подачі

Відгалуження PEVD довгі, і за документами вони мають неньютонівську реологічну поведінку. HDPE більш сприйнятливий до зниження в'язкості зі збільшенням швидкості зсуву, тому енергія, необхідна для його екструдювання, зазвичай нижча, ніж пропорційна кількість. В результаті процес екструдювання ПЕВС є економічно ефективнішим, ніж процес екструдювання інших поліетиленів; екструдеру не потрібна додаткова потужність. При низьких швидкостях зсуву в'язкість сильно зростає, тому максимально можлива в'язкість (міцність розплаву) висока. Типовий графік реологічних даних для PEVD показано на рисунку 1.4. Рукав PEVD є більш пружним при екструдюванні з надуванням, як наслідок, опір розриву та стабільність рукава до затвердіння підвищується. При використанні технології екструзії з плоскими пазами плівка матиме розплавлений стан, який є стабільним між екструзійним пристроєм і холодними листами. Довгі гілки сприяють найбільшому ступеню міжмолекулярної асоціації при низьких швидкостях зсуву. Коли швидкість зсуву збільшується, довгі гілки звільняються від прикріплення, і в'язкість значно знижується. Ці властивості реології мають першочергове значення при обробці. [11]

1.6 Огляд методів виготовлення виробів з пластику

Різноманітність типів полімерних плівок впливає на різноманітність методів, що використовуються для їх створення, які можна класифікувати за трьома основними категоріями: екструзія, каландрування, виробництво комбінованих плівок, вода як середовище для потоку полімерного розплаву та фізико-хімічні модифікації фільмів. Конкретний спосіб виробництва залежить від хімічного складу полімеру та цільового призначення одержуваної плівки.

На сьогоднішній день найпоширенішими методами обробки матеріалів і виробів є екструзія, цими методами отримують плівки плоским способом, наприклад екструзія з роздуванням, яка використовується для створення рукавних плівок, і екструзія. Суть методу - створення з розплавленого полімеру шаблонів необхідної форми з подальшим охолодженням і утримуванням форми.

Шляхом екструзії можна отримати полімерну плівку з поліолефінів, полівінілхлориду, стиролу, поліетилентерфталату та ряду інших полімерів, які можуть переходити в дуже пластичний стан, не будучи істотно руйнованим при термічній дії.

Екструзійно-видувний метод має переваги перед іншими методами виробництва полімерних плівок. До них належать:

- можливість плівок мати як «рівні», так і «нерівні» механічні властивості в поздовжньому та поперечному напрямках;
- тенденція рукавних плівок розриватися на довгі стрічки під тиском є менш значною, ніж плівки, отримані шляхом екструзії з плоскою щільною;
- потенціал для створення двох незалежних плівок, які можна використовувати як пакувальний матеріал для тепла.
- потенціал для отримання міцнішої плівки з такою ж товщиною та використаним матеріалом, ніж при екструзії з плоскою щільною;
- зручність використання отриманої плівки для створення сумок.

- низька продуктивність через зняття обрізки кромки;
- потенціал для створення великих плівок на маленьких головках.

Недоліком методу є те, що:

- різні рівні складності, пов'язані з використанням обладнання;
- менша продуктивність, ніж плоскощілинна екструзія;
- схильність фільму до складок.
- знизити прозорість фільму.

Метод екструзії з роздуванням термопластів застосовують для плівок шириною 50-2400 мм і товщиною 5-500 мкм.

Головка екструзії, яка видувається, являє собою циліндр, який містить серцевину і не має зазорів у своїй конструкції, має канали, які є спіральними і мають зменшувану глибину до виходу. Розплав може надходити через канали зсередини, через спеціальні елементи в оправках або ззовні. Екструзійна головка нагрівається пальчиковим або кільцевим нагрівачем.

Теоретично існують три різні способи виробництва рукавних плівок за допомогою екструзії з роздувом, які відрізняються напрямком отримання кінцевого рукава. [2]

А) Процедура виробництва «вертикально вгору» передбачає розплавлення полімеру у верхній частині головки та пропускання його через притискні ролики, це ущільнить полімер у бульбашку. Процес надування міхура до потрібного діаметру здійснюється шляхом подачі в нього стисненого повітря, потім міхур охолоджується повітрям, що протікає крізь нього, а в деяких випадках для підвищення ефективності процес зовнішній та внутрішній. Плівці, що виходить із рукава, допомагають приймально-екстракційні плівки. Це полегшує виробництво плівок великого діаметра, а також дозволяє переробляти полімери з високою швидкістю плавлення під час плавлення. Переваги такого підходу: рукав приєднується до витягування, що призводить до мінімізації навантаження на зону його надування (біля голови); навантаження на рукав від сили його ваги рівномірно розподіляється по

периметру, що призводить до рівномірної товщини виробу; гарантується виготовлення як товстих, так і надзвичайно тонких плівок; гарантується мінімальна необхідна для виробництва площа. Недоліки: уповільнення процесу охолодження гільзи по висоті, що зумовлює необхідність встановлення додаткових систем охолодження.

Б) Метод «вниз» виробництва вертикальних смуг, який передбачає направлення розплаву від кільцевої головки матриці до дна, це призведе до швидкого зниження температури у водяній бані. Після процесу охолодження бульбашка пресується за допомогою збіжного роликового конвеєра і направляється до намотувального пристрою, який вже має форму плоско складеної гільзи. Крім того, метод екструдера, очевидно, повинен бути розташований на верхніх поверхах будівлі, це не стосується екструдерів великих розмірів, тому метод «вертикально вниз» в основному виробляє плівки малого діаметру. Переваги цього методу включають миттєве охолодження плівки, що призводить до виробництва тонкої, майже прозорої плівки, а також меншу висоту встановлення, ніж при вертикальному методі вгору, однак цей метод також сприйнятливий до мимовільних відривів або розтягнення рукава через навантаження від ваги плівки, яка ще гаряча і легко пластична.

В) Горизонтальний спосіб створення. При горизонтальному способі створення гільза наплавається на горизонтальну площину. Спосіб використовується для створення плівки зі спінених матеріалів і матеріалів з низькою термостійкістю, наприклад непластифікованого ПВХ, але він має ряд істотних недоліків. Однією з головних проблем є неможливість забезпечити однакову температуру у верхній і нижній частинах рукава, це ускладнюється тим фактом, що гравітація спричиняє провисання плівки, що призводить до того, що товщина та розмір плівки стають непередбачуваними. Крім того, з усіх методів екструзії з наступним видуванням найбільш популярним є метод з горизонтальним розширенням гільзи. Цей підхід створює фільми товщиною

200 мікрометрів. Перевагами методу є менші витрати, пов'язані з виготовленням обладнання.

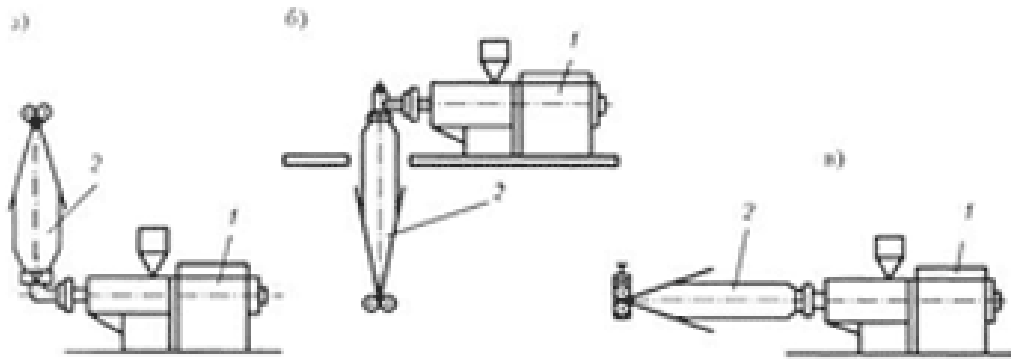


Рисунок 1.5 – Схеми виробництва тонких плівок

Інші методи, які вимагають більш складного і дорогого обладнання, стали менш популярними. Сюди входять, серед іншого, коекструзія, а також технології подвійного та потрійного видування. Під час процесу коекструзії утворюється багат шарова плівка, шари в плівці є різними матеріалами і, як наслідок, мають різні властивості. Метод спільної екструзії дозволяє отримувати плівки, які мають певну бар'єрну властивість по відношенню до різних газів і рідин. Ці плівки характеризуються певним хімічним і механічним складом, а також певним набором властивостей, які впливають на їх усадку, прокол і розрив, а також на адгезійні властивості.

Процес видування на подвійну висоту називається «зверху вниз», однак, після проходження водяної бані, рукав не передається в намотувач, а замість цього складається і витягується за допомогою впускного та випускного валків. до вершини вежі, це називалося "орієнтаційною вежею". Далі рукав доповнюється за допомогою невеликого надування, він проходить через серію джерел тепла, які його нагрівають, тоді досягається збільшення пластичності, і останнім етапом є орієнтаційна камера, яка має сильний потік у поперечний напрямок, це спричинено різницею в швидкостях впускно-витяжних валків у верхній частині вежі та впускних валків на намотувачі, плівка також розтягнута

в поздовжньому напрямку. У результаті фільм стає двовісно-орієнтованим, одночасно досягаючи значного зменшення розміру. [18]

Метод потрійного видування в першому наближенні вважається способом подвійного видування, який доповнюється іншою структурою, метою якої є зниження усадки до певного ступеня.

1.7 Вплив параметрів переробки на властивості плівки

Фізико-механічні властивості плівок (міцність на розрив, кінцева розтяжність при розриві, стійкість до ударів та ін.) залежать від складу та молекулярних властивостей полімеру, а також від характеру утвореної надмолекулярної структури, напрямку спрямованість фільму та ступінь цієї залежності. Значний вплив на фізико-механічні властивості плівок робить їх різна товщина. Усі ці ознаки залежать від методів екструзування, видування, охолодження та інших технологічних процесів.

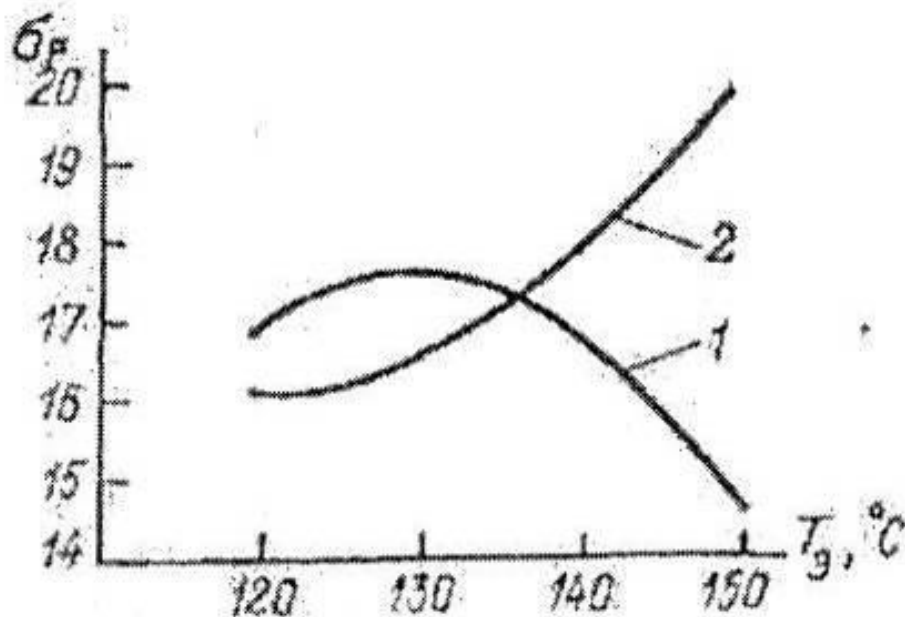


Рисунок 1.6 – Залежність напруження розриву від екструзійної температури на виході. 1 – напрямок поздовжній; 2 – напрямок поперечний

Рис. 1.6 ілюструє залежність максимальної міцності в поздовжньому і поперечному напрямках від температури полімеру на виході з головки на постійній відстані від лінії кристалізації.

Важливими показниками оптичних властивостей полімерних плівок є їх прозорість, каламутність і блиск.

Коефіцієнт пропускання світла — це частка світла, яке проходить крізь поверхню плівки, до загальної кількості світла, що падає на неї. Це частка світла, нормальна до поверхні плівки. Світлопроникність фільму різна для хвиль різної довжини.

Каламутність - це відсоток світлового потоку, який розсіюється плівкою під кутом більше ніж $2,5^\circ$ від напрямку світлового потоку.

Глянцевість — відсоток світлового потоку, який відбивається поверхнею плівки під кутом 45° .

Оптичні властивості плівок пояснюються як наявністю макродефектів (таких як довгі смуги, локальні потовщення, включення різного типу), так і специфікою отриманих супрамолекулярних структур, які зумовлені умовами формування та ефекти, пов'язані з деформацією полімерних розплавів. Вплив властивостей розплаву на однорідність поверхні плівок, отриманих екструзійним методом, пов'язаний, перш за все, з явищем пружної турбулентності, на умови її виникнення в першу чергу впливають температура розплаву, молекулярна маса та MMR полімеру. Зменшення молекулярної маси, збільшення MMR, підвищення PTR і підвищення температури розплаву призводять до поліпшення оптичних властивостей плівок. Крім того, було помічено, що незначне збільшення щільності полімеру призводить до збільшення глянцевої поверхні та зменшення каламутності плівки. Зменшення обсягу обдуву при збільшенні тривалості процесу охолодження плівки підвищує прозорість і погіршує оптичні властивості виробів. Це пов'язано із зростанням тривалості процесу кристалізації та створенням у плівці більших структурних компонентів, які відповідають за неоднорідний склад її структури.

Проте швидке охолодження плівки також може призвести до збільшення її каламутності через більшу різноманітність компонентів, які виникають у процесі охолодження.

Враховуючи той факт, що помутніння може бути викликане двома різними факторами - неоднорідністю розплаву і створенням надмірної кількості супрамолекулярних структур, найбільш ефективною конструкцією є двоступеневе охолодження, перша стадія передбачає уповільнення течії полімеру, з подальшим швидким заморожуванням біля лінії кристалізації, це дозволяє згладжувати структурні дефекти, а другий етап передбачає швидке охолодження, ця стадія найбільш ефективна для зменшення розміру супрамолекулярних структур.

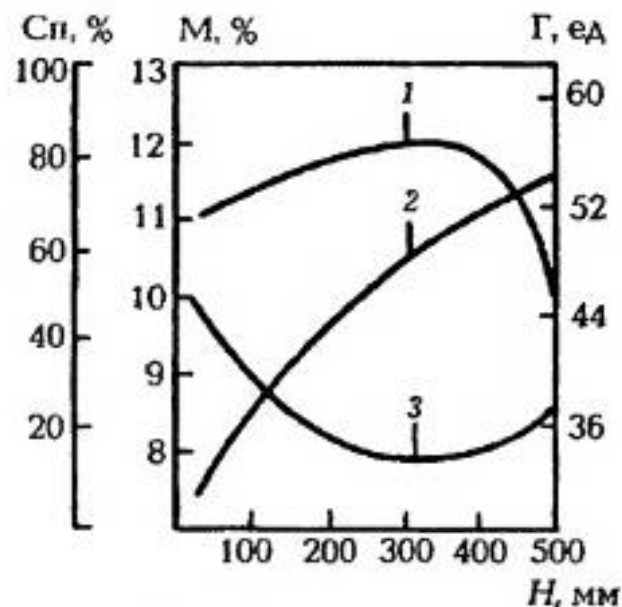


Рисунок 1.7 – Залежність висоти лінії кристалізації H на глянець G , мутність M та проникність світла S_p пластикових плівок

У цьому випадку можна отримати високоякісні прозорі плівки. Для реалізації цього режиму охолодження в конструкцію закладено камеру для уповільнення процесу охолодження заготовки, а до кільця нагнітання повільно подається повітря. Зміну методів плівкового охолодження можна спостерігати

на висоті лінії кристалізації, чим більше число, тим довше охолоджується розплав. Вплив висоти лінії на властивості поліетиленової плівки показано на рисунку 1.7.

Зниження оптичних властивостей плівок також спостерігалось при збільшенні частоти обертання шнека, що забезпечує збільшення продуктивності екструдера і, відповідно, збільшення часу охолодження полімеру, що згодом призводить до вищевказаних ефектів. Залежність каламутності від частоти обертання шнека наведена на рисунку 1.8 [1]

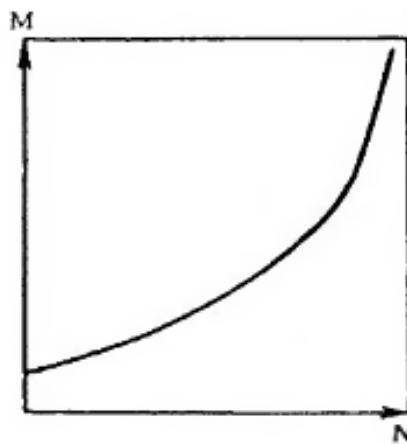


Рисунок 1.8 – Залежність непрозорості M від швидкості обертів шнеку N

На механічні властивості плівок в першу чергу впливає чітко виражена орієнтація молекул у поздовжньому та поперечному напрямках, яка залежить від технологічних параметрів, таких як ступінь витягування та ступінь розширення. Збільшення ступеня витяжки призведе до збільшення орієнтації молекул в поздовжньому напрямку, збільшення ступеня роздування призведе до збільшення в поперечному напрямку; збільшення обох показників призведе до збільшення міцності та зменшення відносної довжини плівки при розриві плівки в обох напрямках. Вплив поздовжнього напрямку плівки на її механічні властивості зображено на рисунку 1.9, а залежність міцності на розрив від ступеня розтягування — на рисунку 1.10. [13]



Рисунок 1.9 – Залежність від поздовжньої орієнтації плівки від її механічних властивостей 1 – відносне подовження 2 – міцність на розрив

Важливо визнати, що риси характеристик плівки також залежать від періоду охолодження. При збільшенні часу охолодження плівки більш повно відбувається процес утворення супрамолекулярних структур, підвищується ступінь кристалічності і, як наслідок, міцність на розрив і консистенція плівки. Як наслідок, зміна параметрів охолодження, які позитивно впливають на оптичні властивості, призведе до погіршення механічних властивостей і навпаки, тому оптимальний режим охолодження визначається виходячи з цільового призначення плівки та накладені на нього обмеження.

Однією з найважливіших характеристик, яка впливає на якість фільму, є різна товщина. Для забезпечення сталості товщини гільзи повинні бути дотримані такі умови:

- щодо безпеки однакової швидкості екструзії у всіх зонах кільцевого простору;
- постійність в'язкості розплаву;
- запобігання рівномірності температури розплаву.
- консистенція здуття гарячого предмета.

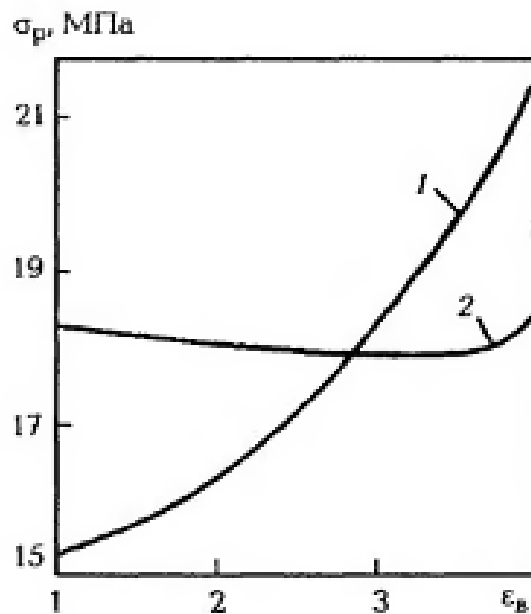


Рисунок 1.10 – Вплив міцності розриву σ_B від ступеню витягування ϵ : у поздовжньому (1) та у поперечному (2) напрямках

Різна товщина плівки пояснюється багатьма різними факторами: температурою головки, товщиною зазору між головкою та клаптом, ступенем надування.

Товщина плівки залежить від товщини зазору між формуючими елементами, як показано на рисунку 1.11. [13]

Оскільки більш товста плівка потребує більше часу для охолодження, коли проміжок у щілині збільшується, довжина пластикового компонента рукава збільшується внаслідок товщини плівки. Це викликає збільшення ймовірності впливу різних факторів на процес охолодження гільзи, нестабільність гільзи і, як наслідок, збільшення різниці товщини в обох напрямках. В результаті мінімальна різниця в товщині може бути досягнута шляхом мінімізації товщини зазору. Однак занадто низькі значення кільцевого зазору призводять до значних труднощів у головках і знижують ефективність екструзії, тому практична максимальна товщина щілинного зазору становить 0,5 мм.

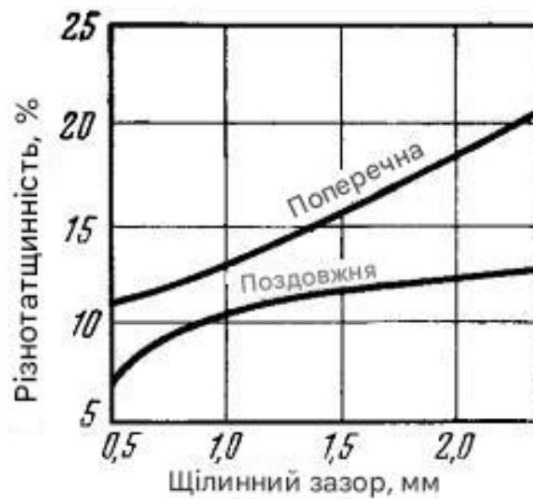


Рисунок 1.11 – Залежність від величини зазору щілини δ Щ різновтовщинності плівки для поздовжнього та поперечного напрямку



Рисунок 1.12 – Залежність від ступеню поперечного роздування пластику на товщинність плівки у поздовжніх та поперечних напрямках

У результаті можна зробити висновок, що вигідно екструдувати плівку з мінімальною кількістю надування та використовувати великі головки з коефіцієнтом 2,5-3. інфляції.

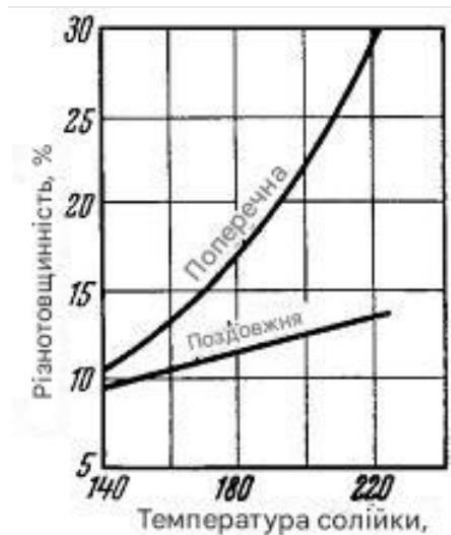


Рисунок 1.13 – Вплив температури матриці на різні товщини плівок у поздовжньому та поперечному напрямках (для плівок товщиною 60 мкм)

Крім того, як було сказано вище, на товщину плівки також впливає температура друкуючої головки. Низька температура головки машини та стовбура може забезпечити кращу гомогенізацію розплаву полімеру та більш рівномірне видування гільзи, тоді як висока температура збільшить довжину пластикової секції, що призведе до ймовірності впливу різних факторів, як показано вище на фільмі товщина. Оптичні властивості отриманих плівок також покращуються, коли температура матриці нижче 140°C: зменшується кількість желатинових включень і підвищується прозорість, тому з точки зору цих параметрів краще використовувати найменші можливі значення. Температура головки, при якій полімер знаходиться у в'язкому стані. Крім того, занадто висока температура розплаву може викликати злипання бульбашок і їх внутрішніх поверхонь. Залежність між товщиною та температурою головки показано на рисунку 1.13. [13]

Ще одним параметром рукава є мінімальна стабільна товщина плівки, яка в основному залежить від ступеня надуття. Ця залежність проілюстрована на рисунку 1.14. [13]



Рисунок 1.14 – Мінімальна стабільна товщина плівки від ступеню роздування

Залежно від ступеня охолодження серцевини гільзи, її початкової температури та швидкості екстрагування можна отримати різну форму (рис.1.15). [1].

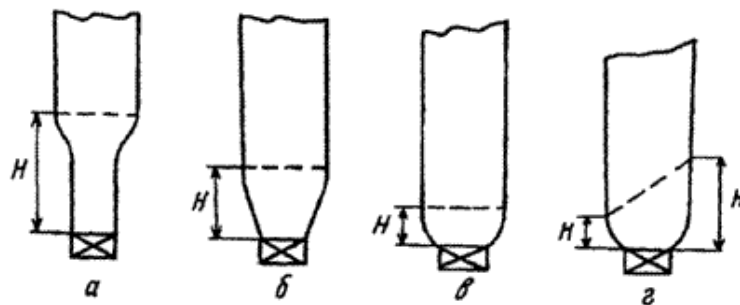


Рисунок 1.15 – Форми рукавів для плівки

Форма «а» пов'язана з високим положенням лінії кристалізації H , це призводить до відсутності охолодження в гнучкому рукаві. Фільм спочатку подовжується, а потім збільшується в ширину. Це супроводжується частковою переорієнтацією молекул з високим ступенем полімеризації.

Форма «b» є типовим значенням N при хорошому ступені охолодження. Поздовжнє і поперечне орієнтування при витяганні і надуванні виконуються практично одночасно. Консистенція плівки міцна і густа.

Форма «v» вказує на сильне охолодження гільзи, лінія N маленька. Переважно вертикальна орієнтація фільму доповнюється декількома випадками зниження ступеня кристалічності, на це впливає тип полімеру. Форма «r» пов'язана з нерівномірністю температури плівки в результаті потоку охолоджуючого повітря по периметру. Плівка різної товщини, рукав нерівний.

Для більшості плівок, які вважаються придатними для властивості, значення N становить від 0,3 до 2 мкм. Чим товщі плівка (і, отже, екструдована заготовка), тим більше її N і навпаки.

Процес гомогенізації маси і, як наслідок, зовнішній вигляд плівки, а також її характеристику міцності можна покращити шляхом збільшення опору екструзії, це досягається збільшенням кількості аркушів або зменшенням зазору між слоти. Однак це збільшує зворотний потік в екструдері, що, як наслідок, знижує його ефективність.

1.8 Висновки до першого розділу

У першому розділі розглядається видалення полімерних речовин. Задokumentовано опис шнека та перераховано різновиди шнеків, які використовуються у виробництві полімерних деталей. Перераховані стадії екструзії, до яких відносяться процес подачі (I), пластифікації (II), дозування розплаву (III) і подальше просування розплаву по каналах формуючої головки.

Пояснюється метод виробництва пластику, який передбачає багаторазове впорскування невеликих кількостей у форму. Це найпрактичніший спосіб створення пластику, тому приблизно третина пластику виробляється всередині країни.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУЗІЇ

2.1 Конструкція нагрівальної частини екструдера

Екструдер можна представити конструктивно таким чином, як показано на рис.2.1.

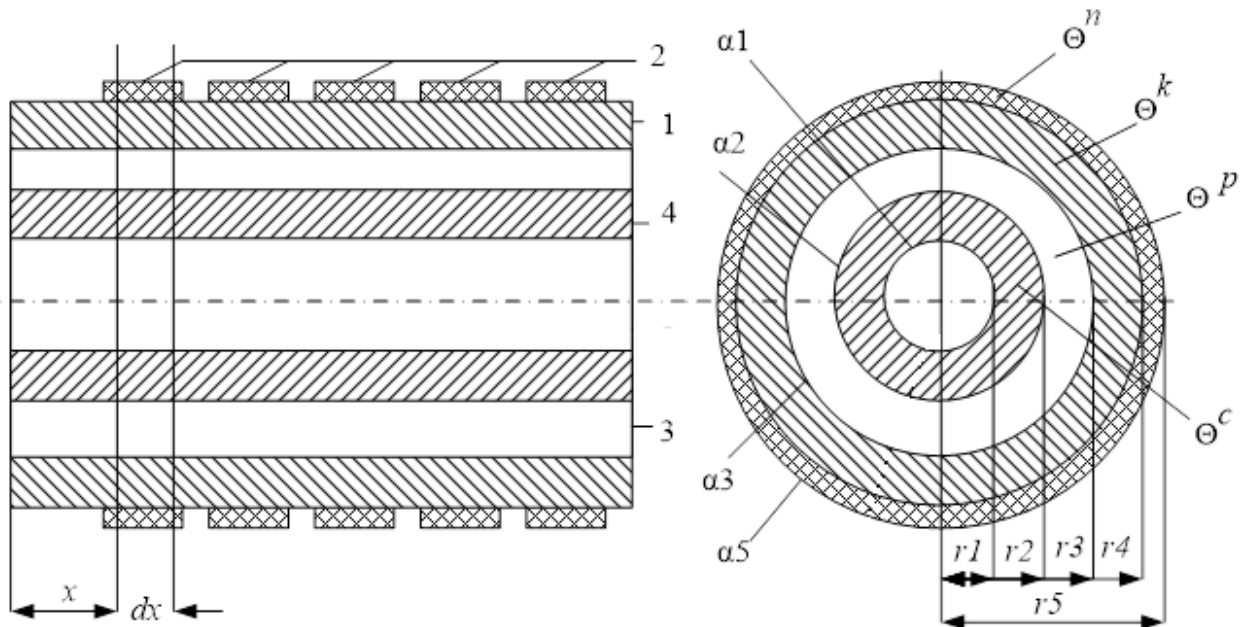


Рисунок 2.1. – Конструкція частини екструдера для розрахунку
 1 – корпус екструдера; 2 – нагрівальні елементи; 3 – полімерний матеріал; 4 – шнековий черв'як; dx – прирість об'єму, Θ^n – температура нагрівального елемента, Θ^k – температура корпусу, Θ^p – температура полімерного матеріалу, Θ^c – температура шнеку, α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від шнека у воду, α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від полімерного матеріалу до шнека, α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від стінок до полімерного матеріалу, α_5 – коефіцієнт тепловіддачі від льного елемента у повітря, r_1 – внутрішній радіус шнека, r_2 – еквівалентний зовнішній радіус шнека, r_3 – внутрішній радіус корпусу, r_4 – зовнішній радіус екструдера, r_5 – зовнішній радіус нагрівачального елемента

Тому як фізичні процеси в трьох зонах різні, знайдемо для них 3 різні ма.і моделі: зони нагріву, плавління та гомогенізації.

2.2 Теплова модель зони нагрівання

Наступне теплове рівняння для теплового балансу в екструдері буде представлено таким чином:

$$\frac{Qn(x, t)}{ln} dx - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * dx * [\theta k(x, t) - \theta p(x, t)] - \alpha_0 * 2\pi * r_3 * dx * [\theta k(x, t) - \theta_{os}] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta k(x, t)}{\partial x^2} = \frac{M_k}{lk} * dx * c_k * \frac{\partial \theta k(x, t)}{\partial t}$$

де у дискретній формі, після спрощення, отримаємо:

$$\frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta k_{s,k} - \theta p_{s,k}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta k_{s,k} - \theta_{os}) + \alpha_k \frac{\theta k_{s+1,k} - 2\theta k_{s,k} + \theta k_{s-1,k}}{hx^2} = \frac{M_k * c_k}{lk} * \frac{\theta k_{s,k+1} - \theta k_{s,k}}{T}$$

$$\theta k_{s,k+1} = \theta k_{s,k} + \frac{lk}{M_k * c_k} * \left[\frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta k_{s,k} - \theta p_{s,k}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta k_{s,k} - \theta_{os}) + \alpha_k \frac{\theta k_{s+1,k} - 2\theta k_{s,k} + \theta k_{s-1,k}}{hx^2} \right]$$

Рівняння теплового балансу для полімерного матеріалу матиме наступний вигляд:

Під час нагрівання полімерного матеріалу:

$$\begin{aligned}
& V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t) \\
& - \left[V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t) \right. \\
& \left. + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t)] dx}{\partial x} \right] + \alpha_1 2\pi r_2 \\
& * dx [\theta k(x, t) - \theta p(x, t)] - \alpha_2 2\pi r_1 * dx [\theta p(x, t) - \theta s(x, t)] \\
& + \frac{Q_d dx}{L} = \frac{dx * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t)}{\partial t}
\end{aligned}$$

У дискретному вигляді

$$\begin{aligned}
& V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p_{s,k} \\
& - \left[V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p_{s,k} \right. \\
& \left. + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s+1,k} - \theta p_{s,k})] dx}{hx} \right] \\
& + \alpha_1 2\pi r_2 * dx [\theta r_{s,k} - \theta p_{s,k}] - \alpha_2 2\pi r_1 * dx [\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}] + \frac{Q_d dx}{L} \\
& = \frac{dx * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s,k+1} - \theta p_{s,k})}{T}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\theta p_{s,k+1} = \theta p_{s,k} + \frac{T}{\pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p} \\
* \left[\frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s+1,k} - \theta p_{s,k})]}{hx} + \alpha_1 2\pi r_2 \right. \\
\left. * [\theta r_{s,k} - \theta p_{s,k}] - \alpha_2 2\pi r_1 * [\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}] + \frac{Q_d}{L} \right]
\end{aligned}$$

За початкових умов:

$$\theta p_{s,0} = \theta p_{vh}$$

Рівняння теплового балансу для черв'яка шнеку матиме вигляд:

$$\begin{aligned} & \alpha_1 * 2\pi * r_1 * dx * [\theta p(x, t) - \theta s(x, t)] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta s(x, t)}{\partial x^2} \\ & = \frac{M_s}{l_s} * dx * c_s * \frac{\partial \theta s(x, t)}{\partial t} \end{aligned}$$

Де у дискретному виді маємо:

$$\begin{aligned} & \alpha_2 * 2\pi * r_1 * (\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}) \\ & = \frac{M_s * c_s}{l_s} * \frac{\theta s_{s,k+1} - \theta s_{s,k}}{T} + \alpha_s \frac{\theta s_{s+1,k} - 2\theta s_{s,k} + \theta s_{s-1,k}}{hx^2} \\ \theta s_{s,k+1} & = \theta s_{s,k} + \frac{l_s}{M_s * c_s} \\ & * \left[\alpha_2 * 2\pi r_1 * (\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}) + \alpha_s \frac{\theta s_{s+1,k} - 2\theta s_{s,k} + \theta s_{s-1,k}}{hx^2} \right] \end{aligned}$$

За початкових умов:

$$\theta s_{s,0} = \theta s_{s,1}$$

2.3 Теплова мат. модель зони плавлення

Наступне теплове рівняння для теплового балансу в екструдері у зоні плавлення буде представлено таким чином:

$$\begin{aligned} & \frac{Qn(x, t)}{ln} dx - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * dx * [\theta k(x, t) - \theta p(x, t)] - \alpha_0 * 2\pi * r_3 * dx \\ & * [\theta k(x, t) - \theta os] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta k(x, t)}{\partial x^2} = \frac{M_k}{lk} * dx * c_k * \frac{\partial \theta k(x, t)}{\partial t} \end{aligned}$$

де в дискретній формі, спростивши, отримаємо:

$$\frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta k_{s,k} - \theta p_{s,k}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta k_{s,k} - \theta_{os})$$

$$+ \alpha_k \frac{\theta k_{s+1,k} - 2\theta k_{s,k} + \theta k_{s-1,k}}{hx^2} = \frac{M_k * c_k}{lk} * \frac{\theta k_{s,k+1} - \theta k_{s,k}}{T}$$

$$\theta k_{s,k+1} = \theta k_{s,k} + \frac{lk}{M_k * c_k}$$

$$* \left[\frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta k_{s,k} - \theta p_{s,k}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta k_{s,k} - \theta_{os}) \right.$$

$$\left. + \alpha_k \frac{\theta k_{s+1,k} - 2\theta k_{s,k} + \theta k_{s-1,k}}{hx^2} \right]$$

Рівняння для теплового балансу в полімерному матеріалі відповідатиме такій. Полімерна маса складається з розплаву матеріалу.

$$\frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t)] dx * \partial t}{Rp * \partial x}$$

$$+ \frac{\alpha_1 * 2\pi r_2 * dx [\theta k(x, t) - \theta p(x, t)] * \partial t}{Rp}$$

$$- \frac{\alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta p(x, t) - \theta s(x, t)] * \partial t}{Rp} + \frac{Q_d dx * \partial t}{Rp * L}$$

$$= \frac{d(mp(x, t))}{dt}$$

Коефіцієнт складу розплаву в полімерному матеріалі знаходиться як:

$$\frac{d(Fp(x, t))}{dt} = \frac{mp(x, t)}{\pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p dx}$$

В дискретному вигляді

$$\frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta_{p_{s+1,k}} - \theta_{p_{s,k}})] dx T}{Rp * hx} + \frac{\alpha_1 * 2\pi r_2 * dx [\theta_{r_{s,k}} - \theta_{p_{s,k}}] T}{Rp} - \frac{\alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}] T}{Rp} + \frac{Q_d dx T}{Rp * L} = \frac{(mp_{s,k+1} - mp_{s,k})}{T}$$

$$mp_{s,k+1} = mp_{s,k} + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta_{p_{s+1,k}} - \theta_{p_{s,k}})] dx T^2}{Rp * hx} + \frac{\alpha_1 * 2\pi r_2 * dx [\theta_{r_{s,k}} - \theta_{p_{s,k}}] T^2}{Rp} - \frac{\alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}] T^2}{Rp} + \frac{Q_d dx T^2}{Rp * L}$$

$$Fp_{s,k+1} = Fp_{s,k} + \frac{T mp_{s,k}}{\pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p hx}$$

За початкових умов:

$$mp_{s,0} = 0$$

$$Fp_{s,0} = 0$$

Рівняння теплового балансу черв'яка шнеку набуває вигляд:

$$\alpha_1 * 2\pi * r_1 * dx * [\theta_p(x,t) - \theta_s(x,t)] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta_s(x,t)}{\partial x^2} = \frac{M_s}{l_s} * dx * c_s * \frac{\partial \theta_s(x,t)}{\partial t}$$

У дискретному виді маємо:

$$\begin{aligned} & \alpha_2 * 2\pi * r_1 * (\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}) \\ & = \frac{M_s * c_s}{ls} * \frac{\theta_{s_{s,k+1}} - \theta_{s_{s,k}}}{T} + \alpha_s \frac{\theta_{s_{s+1,k}} - 2\theta_{s_{s,k}} + \theta_{s_{s-1,k}}}{hx^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{s_{s,k+1}} = \theta_{s_{s,k}} + \frac{ls}{M_s * c_s} \\ * \left[\alpha_2 * 2\pi r_1 * (\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}) + \alpha_s \frac{\theta_{s_{s+1,k}} - 2\theta_{s_{s,k}} + \theta_{s_{s-1,k}}}{hx^2} \right] \end{aligned}$$

За початкових умов:

$$\theta_{s_{s,0}} = \theta_{s_{s,1}}$$

2.4 Теплова мат. модель зони гомогенізації

Наступне теплове рівняння для теплового балансу в екструдері у зоні гомогенізації буде представлено таким чином:

$$\begin{aligned} \frac{Qn(x,t)}{ln} dx - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * dx * [\theta_k(x,t) - \theta_p(x,t)] - \alpha_0 * 2\pi * r_3 * dx \\ * [\theta_k(x,t) - \theta_{os}] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta_k(x,t)}{\partial x^2} = \frac{M_k}{lk} * dx * c_k * \frac{\partial \theta_k(x,t)}{\partial t} \end{aligned}$$

де в дискретній формі, після перетворень, маємо:

$$\begin{aligned} \frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta_{k_{s,k}} - \theta_{p_{s,k}}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta_{k_{s,k}} - \theta_{os}) \\ + \alpha_k \frac{\theta_{k_{s+1,k}} - 2\theta_{k_{s,k}} + \theta_{k_{s-1,k}}}{hx^2} = \frac{M_k * c_k}{lk} * \frac{\theta_{k_{s,k+1}} - \theta_{k_{s,k}}}{T} \end{aligned}$$

$$\theta k_{s,k+1} = \theta k_{s,k} + \frac{lk}{M_k * c_k} * \left[\frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta k_{s,k} - \theta p_{s,k}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta k_{s,k} - \theta_{os}) + \alpha_k \frac{\theta k_{s+1,k} - 2\theta k_{s,k} + \theta k_{s-1,k}}{hx^2} \right]$$

Рівняння для теплового балансу в полімерному матеріалі буде відповідати такій схемі:

При нагріві пластику:

$$\begin{aligned} & V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t) \\ & - \left[V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t) \right. \\ & \left. + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t)] dx}{\partial x} \right] + \alpha_1 * 2\pi r_2 \\ & * dx [\theta k(x, t) - \theta p(x, t)] - \alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta p(x, t) - \theta s(x, t)] \\ & = \frac{dx * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t)}{\partial t} \end{aligned}$$

У дискретному виді

$$\begin{aligned} & V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p_{s,k} \\ & - \left[V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p_{s,k} \right. \\ & \left. + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s+1,k} - \theta p_{s,k})] dx}{hx} \right] \\ & + \alpha_1 * 2\pi r_2 * dx [\theta r_{s,k} - \theta p_{s,k}] - \alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}] \\ & = \frac{dx * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s,k+1} - \theta p_{s,k})}{T} \end{aligned}$$

$$\theta_{p_{s,k+1}} = \theta_{p_{s,k}} + \frac{T}{\pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p} * \left[\frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta_{p_{s+1,k}} - \theta_{p_{s,k}})]}{hx} + \alpha_1 * 2\pi r_2 * [\theta_{r_{s,k}} - \theta_{p_{s,k}}] - \alpha_2 * 2\pi r_1 * [\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}] \right]$$

За початкових умов:

$$\theta_{p_{s,0}} = \theta_{p_{vh}}$$

Рівняння теплового балансу для черв'яка шнеку набуває вигляд:

$$\alpha_1 * 2\pi * r_1 * dx * [\theta_p(x,t) - \theta_s(x,t)] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta_s(x,t)}{\partial x^2} = \frac{M_s}{l_s} * dx * c_s * \frac{\partial \theta_s(x,t)}{\partial t}$$

Де у дискретному виді маємо:

$$\alpha_2 * 2\pi * r_1 * (\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}) = \frac{M_s * c_s}{l_s} * \frac{\theta_{s_{s,k+1}} - \theta_{s_{s,k}}}{T} + \alpha_s \frac{\theta_{s_{s+1,k}} - 2\theta_{s_{s,k}} + \theta_{s_{s-1,k}}}{hx^2}$$

$$\theta_{s_{s,k+1}} = \theta_{s_{s,k}} + \frac{ls}{M_s * c_s} * \left[\alpha_2 * 2\pi r_1 * (\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}) + \alpha_s \frac{\theta_{s_{s+1,k}} - 2\theta_{s_{s,k}} + \theta_{s_{s-1,k}}}{hx^2} \right]$$

За початкових умов:

$$\theta_{s_{s,0}} = \theta_{s_{s,1}}$$

У таблиці 2.1 зведений весь перелік технологічних властивостей об'єкта.

Таблиця 2.1 Технологічні характеристики об'єкту

Позначення	Опис	Одиниці вимірювання
r_1	Радіус черв'яка внутрішній	м
r_2	Еквівалентний зовнішній радіус черв'яка	м
r_3	Радіус корпусу внутрішній	м
Q_n	Температура нагрівального елемента	Дж
α_0	Коефіцієнт тепловіддачі зі шнеку до води	Дж/кг
α_1	Коефіцієнт тепловіддачі зі полімерного матеріалу до черв'яка шнека	Дж/кг
θ_s	Температура шнеку	°С

Для знаходження математичного опису нагрівального елемента необхідно створити систему рівнянь у статиці та динаміці.

2.5 Висновки до другого розділу

У другому розділі проведено розробку математичної моделі основного елемента екструдера, а саме шнеку. Наведена спрощена конструкція шнеку.

Приведено опис конструкції, температурних зон. На основі наведеного опису, виконано розробку математичної моделі різних зон нагріву.

Приведені технологічні характеристики об'єкту дослідження.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕКСТРУЗІЇ

3.1 Дослідження впливу першого нагрівального елемента на екструзію

Для розпізнавання та створення систем керування найбільш значущим аспектом є температура та склад полімеру на виході з кожної зони відповідно до зміни навантаження на кожному з нагрівачів.

Перший елемент, який нагрівається.

Якщо потужність нагрівача збільшити на 5%, під час моделювання відбудуться наступні зміни.

У першій зоні

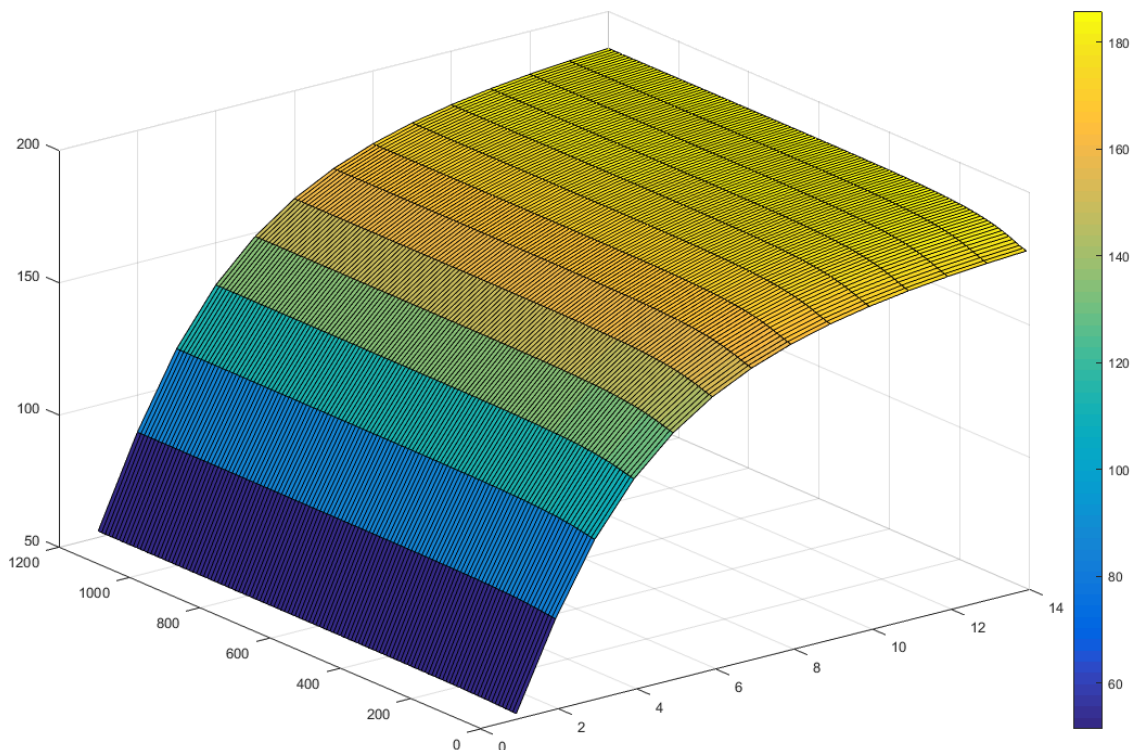


Рисунок 3.1 - Поверхня підвищення температури полімеру в першій області при зміні потужності першого нагрівача

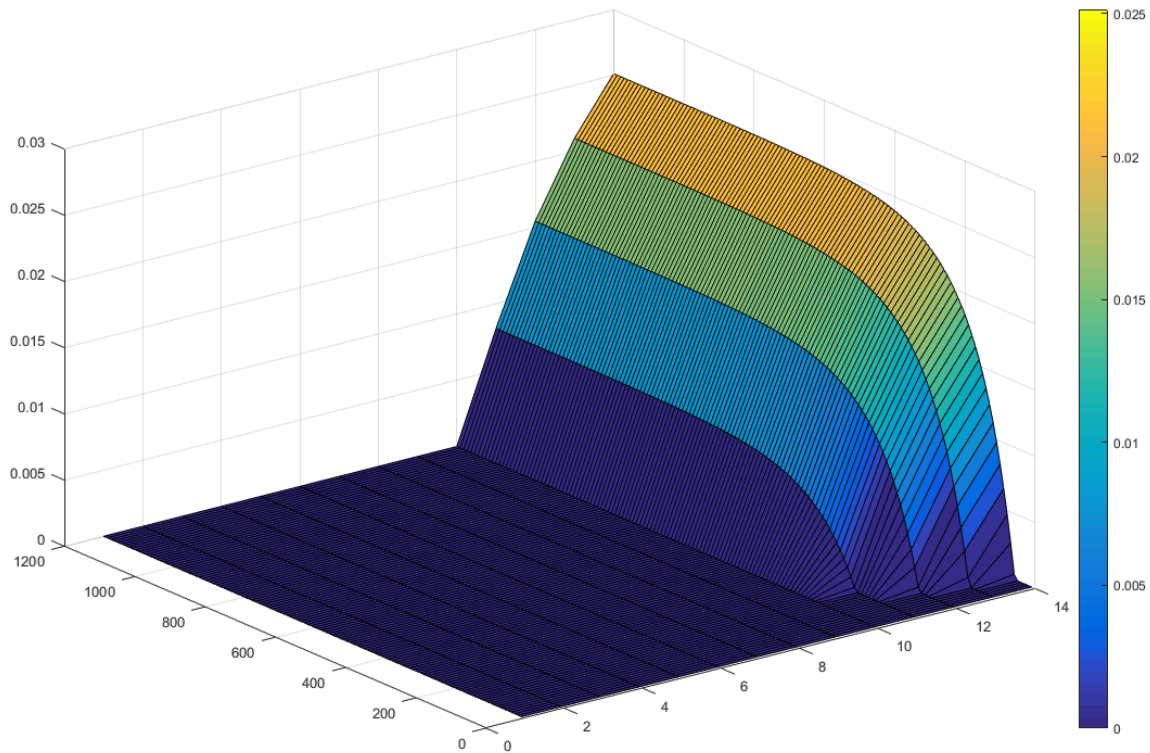


Рисунок 3.2 - Поверхня зміни фазового складу полімеру в першій області, коли змінюється потужність першого нагрівача.

Розрізняємо компоненти за його фазою. Далі приведено параметри, що вирізняють об'єкт.

```

Transfer Function Identification
Estimation data: Time domain data mydata111
Data has 2 outputs, 2 inputs and 121 samples.
Number of poles: [1 1; 1], Number of zeros: [0 0; 0]
Initialization Method: "iv"

Estimation Progress
 7  1.26771e-06  0.437  3.75e+09  1.4e+08  1.04  7
 8  1.26057e-06  0.451  3.93e+09  1.4e+08  0.563  7
 9  1.25363e-06  0.237  4.04e+09  1.41e+08  0.551  8
10  1.24741e-06  0.245  4.16e+09  1.42e+08  0.496  8
11  1.24207e-06  0.257  4.29e+09  1.42e+08  0.429  8
12  1.23783e-06  0.273  4.45e+09  1.43e+08  0.341  8
13  1.23518e-06  0.299  4.64e+09  1.43e+08  0.214  8
14  1.23195e-06  0.172  4.76e+09  1.44e+08  0.261  9
15  1.22938e-06  0.192  4.91e+09  1.44e+08  0.209  9
16  1.22816e-06  0.229  5.11e+09  1.44e+08  0.0993  9
17  1.22176e-06  0.00301  5.05e+09  1.45e+08  0.521  8
18  1.21581e-06  0.00304  4.99e+09  1.45e+08  0.496  8
19  1.21034e-06  0.00307  4.92e+09  1.46e+08  0.45  8
20  1.20886e-06  0.132  5.04e+09  1.46e+08  0.122  10

-----
Estimating parameter covariance...
done.

Result
Termination condition: Maximum number of iterations reached.
Number of iterations: 20, Number of function evaluations: 184

Status: Estimated using TFEST with Focus = "simulation"
Fit to estimation data: [78.29;99.8]%, FPE: 1.37414e-06

```

Рисунок 3.3 - Параметри ідентифікації

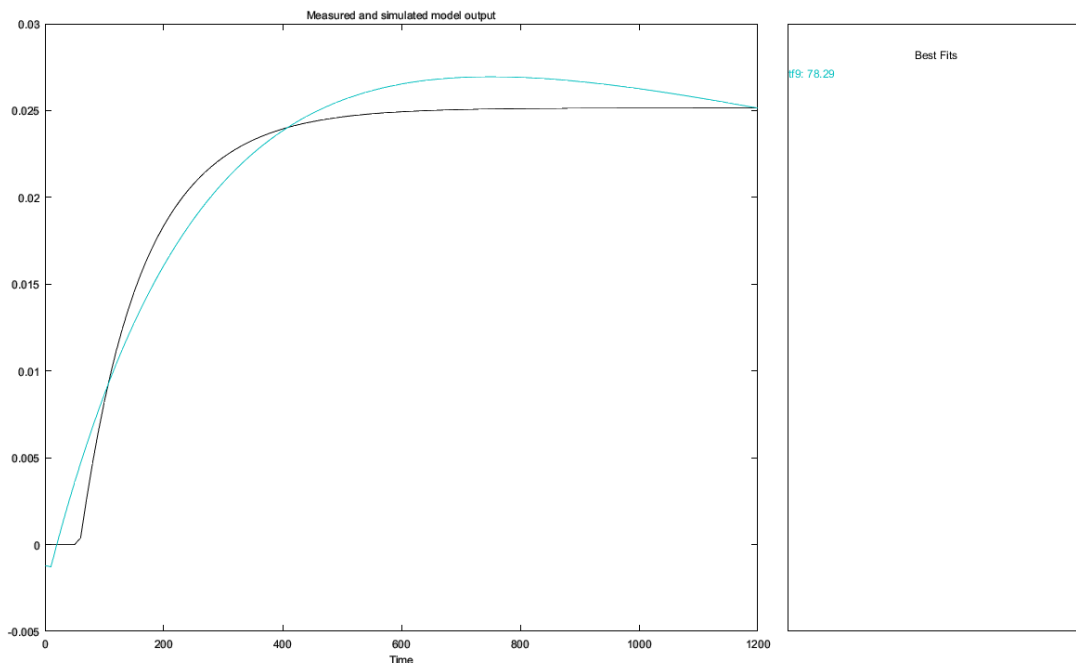


Рисунок 3.4 - Перехідна характеристика досліджуваного об'єкту

У результаті модель що отримана другою, точніше описує поведінку досліджуваного об'єкту, тож будемо застосовувати її у майбутньому для його моделювання.

3.2 Повний опис об'єкта регулювання

Параметри конструкції об'єкта:

1. Діаметр баку – 1 [м].
2. Висота баку – 4 [м].
3. Максимальна продуктивність насосу на подачу $Q_{H, \max} = 0.013 \text{ м}^3/\text{с}$.
4. Номінальні параметри процесу.
5. Номінальне значення розходу на подачу $Q_{\text{пр. н.}} = 0.01 \text{ м}^3/\text{с}$.
6. Номінальне значення розходу на виході $Q_{\text{від. н.}} = 0.01 \text{ м}^3/\text{с}$.
7. Номінальна висота рідини в бакові $H_{\text{н.}} = 3.6 \text{ м}$.
8. Задана висота рідини у бакові $H_{\text{зад}} = 3.5 \text{ м-коду}$.

Зміни в об'ємі рідини в резервуарі викликані змінами споживання кислоти.

Провести дослідження на моделі перехідного процесу зі зменшенням витрати Q від .

Датчик рівня на основі напруги (створює сигнал напруги, пропорційний кількості рідини в баку).

Контролер являє собою типовий електричний ПІД-регулятор, на вхід якого надходить сигнал, що відрізняється від сигналу уставки елементом порівняння "ЕС", а на його виході сигнал, який зазвичай в 10-20 разів перевищує сигнал уставки. формується.

Виконавчий апарат містить:

- узгоджувальний пристрій SU (виробляє сигнал змінної частоти і фази в межах 0...50 Гц);
- асинхронний електродвигун з номінальною частотою обертання 25 обертів за хвилину;
- коробка передач, яка має змінне передавальне число;
- насос, який має коефіцієнт руху 0,004 м/об (повний оберт насоса становить 0,5 діаметра труби).

Функціональна схема виконавчого пристрою можлива:

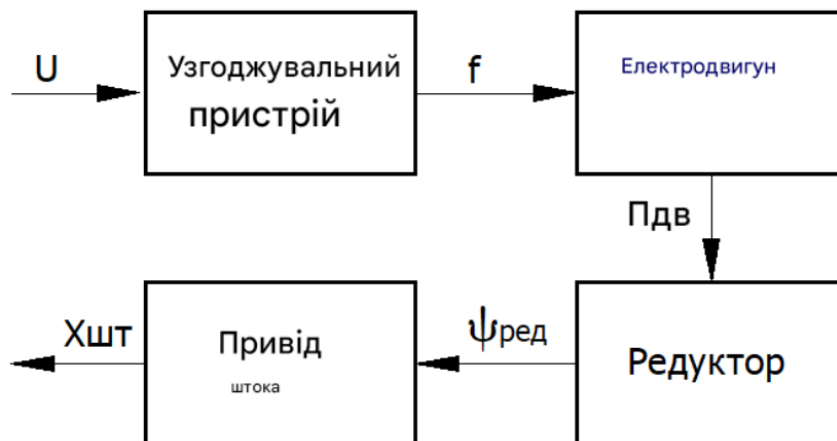


Рисунок – 3.5 Функціональна схема виконавчого пристрою

З.У. - пристроєм, який узгоджує частоту входу, є перетворювач частоти, на вхід якого подається напруга - 10...0...10 В, на виході якого створюється струм частотою "f", яка відрізняється від вхідної і змінюється в межах - 50...0...50 Гц). - Коробка передач, що регулюється вручну, вихідний сигнал якої нахилений під кутом " ψ_{ed} " (Ψ_{ed}); В.Г. Безшпindelний привід «Кран гвинт-гайка» («червоний» → «8 шт»).

Аналіз концептуальної моделі дає право відносити об'єкт регулювання до детермінованих моделей, які постійно розвиваються.

3.3 Поєднання математичної логічної моделі системи автоматичного регулювання рівня рідини в баку

Резервуар є одиничним об'єктом та може бути поданий диференціальним рівнянням першого порядку у виду

$$T_a \frac{d}{dt} \varphi(t) + F_o \varphi(t) = \lambda(t).$$

де T_a - час зміни об'єкта;

F_d – самовирівнюваний коефіцієнт об'єкта;

φ - відносна величина параметра, що регулюється;

λ - відносна величина впливу збурення.

Щоб створити математичну модель, яка описує поведінку об'єкта, повинні зв'язати параметри диференціального рівняння: швидкість прискорення об'єкта та коефіцієнт самоненависті з фізичними властивостями об'єкта.

Визначимо швидкість об'єкта під час розгону.

Почнемо з розрахунку висоти стовпа рідини над дном резервуара H_0 .

Запишемо рівняння для сумарної величини рідини, що протікає через крани на вході Q і т. д. назва і швидкість потоку. Незалежно від фактичного значення μ ,

$$\mu_1 f_1 \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\frac{1}{\gamma} p_1 - H} = \mu_2 f_2 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H - \frac{1}{\gamma} p_2}.$$

Розрахуємо значення коефіцієнтів у числовому виді для даного рівняння і для режимів роботи, які встановилися.

$$f_{mp1} = \frac{3,14 * 0,076^2}{4} = 0,0045 [m^2];$$

$$f_{mp2} = \frac{3,14 * 0,1^2}{4} = 0,00785 [m^2];$$

$$\sqrt{2g} = 4,4294; \quad \frac{1}{\gamma} \cdot p_1 = \frac{65900}{9535} = 6,9 [m];$$

$$\frac{1}{\gamma} \cdot p_2 = \frac{6500}{9535} = 0,68 [m];$$

Із урахуванням знайдених коефіцієнтів рівняння балансу набуде виду:

$$0,1 \cdot 0,0045 \cdot 4,4294 \cdot \sqrt{6,9 - H} = 0,3 \cdot 0,00785 \cdot 4,4294 \cdot \sqrt{H - 0,68};$$

$$0,00199 \cdot \sqrt{6,9 - H} = 0,01 \cdot \sqrt{H - 0,68}.$$

Розв'язавши останнє рівняння щодо H , отримаємо $H = 0,91$ м.

Де H - рівень рідини в гідравлічній системі, що розглядається.

При цьому витрата рідини Q_0 буде дорівнювати

$$Q_{пр.ном} = Q_{от.ном} = Q_0 = 0,005 [m^3/c].$$

Висота стовпа розплаву над дном бака H_0 дорівнює різниці між знайденим значенням рівня H і висотою стовпа розплаву $H_{P2,n}$, еквівалентного тиску підпору $p_{2,n}$ на лінії.

$$H_{P2,n} = \frac{P_{2,n}}{\gamma} = \frac{6500}{9535} = 0,68 [M];$$

$$H_0 = H_{НОМ} = H - H_{P2,n} = 0,91 - 0,68 = 0,23 [M].$$

Площа поперечного перерізу баку дорівнює

$$S = \frac{3,14 * D^2}{4} = 3,14 [M^2].$$

Акумуляований у бакові об'єм прозплаву дорівнює

$$V = S * H_0 = 3,14 * 0,23 = 0,72 [M^3];$$

Час розгону для досліджуваного об'єкта дорівнює:

$$T_a = \frac{V}{Q_0} = \frac{0,72}{0,005} = 144,4 [c].$$

Розберемося зі значеннями коефіцієнта самовирівнювання на стороні потоку рідини та її виходу.

Перепишемо рівняння для притоку і відтоку рідини, виразивши об'єм рідини в гідросистемі через H , стан H вже досягнуто, через висоту стовпа рідини над дном бака H_0 ($H = H_0 + 0,68$).

$$Q_{np} = \mu_1 f_{mp1} \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\frac{1}{\gamma} p_1 - H} = \mu_1 f_{mp1} \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\frac{1}{\gamma} \cdot p_1 - H} ;$$

$$Q_{om} = \mu_2 f_{mp2} \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H - \frac{1}{\gamma} p_2} ;$$

Підставивши значення f_{tp1} , f_{tp2} , μ_1 , μ_2 , γ , g , H_{OH} у формули, і отримаємо:

$$Q_{np} = 0,00199 \cdot \sqrt{6,9 - H} ;$$

$$Q_{om} = 0,01 \cdot \sqrt{H - \frac{1}{\gamma} p_2} .$$

Звідси можемо визначити значення припливу та відтоку рідини.

$$\left(\frac{\partial Q_{np}}{\partial H} \right)_0 = \frac{-0,00199}{2\sqrt{6,9 - 0,91}} = \frac{-0,00199}{4,8} = -0,0004; \quad \left(\frac{\partial Q_{om}}{\partial H} \right)_0 = \frac{0,01}{2\sqrt{0,23}} = 0,01;$$

З отриманого виразу знайдемо коефіцієнт самовирівнювання об'єкта, він буде дорівнювати:

$$F_\delta = \frac{H_0}{Q_0} \left[\left(\frac{\partial Q_{om}}{\partial H} \right)_0 - \left(\frac{\partial Q_{np}}{\partial H} \right)_0 \right] = \frac{0,23}{0,005} \cdot [0,0004 + 0,01] = 0,48.$$

Диф. рівняння, яке описує об'єкт, буде мати вигляд:

$$T_a \frac{d}{dt} \varphi(t) + F_\delta \varphi(t) = \lambda;$$

$$144 \frac{d}{dt} \varphi(t) + 0,48 \varphi(t) = \lambda(t).$$

Де $\lambda(t)$ - відносне збурення (у частинах номінальних значень сигналів, які збурюють):

$$\lambda(t) = \lambda_1(t) - \lambda_2(t) = \frac{\mu_1(t) - \mu_{1,n}}{\mu_{1,n}} - \frac{\mu_2(t) - \mu_{2,n}}{\mu_{2,n}} ;$$

$\varphi(t)$ - відносне відхилення

$$\frac{H(t) - H_n}{H_n} = \frac{\Delta H(t)}{H_n} .$$

При сформованому на виході моделі об'єкта регулювання відносному відхиленні $\varphi(t)$ поточне значення рівня рідини в резервуарі дорівнюватиме

$$H(t) = H_0 + \Delta H(t) = H_0 + \varphi(t) \cdot H_0 .$$

Аналітичний розв'язок диф. рівняння матиме вигляд:

$$\varphi(t) = \frac{\lambda}{F_\delta} \cdot \left(1 - e^{-\frac{F_\delta}{T_a} t} \right) = 2,08 \cdot \lambda \cdot \left(1 - e^{-3 \cdot 10^{-3} t} \right)$$

Зведемо рівняння до канонічної форми, для цього розділимо обидві частини рівняння на F_δ .

$$\begin{aligned} \frac{T_a}{F_\delta} \cdot \frac{d}{dt} \varphi(t) + 1 &= \frac{1}{F_\delta} \cdot \lambda(t); \\ (Tp + 1) \cdot \varphi(t) &= k \cdot \lambda(t). \end{aligned}$$

Знайдемо постійну часу:

$$T = \frac{T_a}{|F_o|} = \frac{144}{0,48} = 300[c];$$

та коефіцієнт підсилення:

$$k = \frac{1}{0,48} = 2,08$$

Тоді для можна записати:

$$(300 \cdot p + 1) \cdot \varphi(t) = 2,08 \cdot \lambda(t)$$

З урахуванням отриманого, передаточна функція регулювання буде мати вигляд:

$$W(s) = \frac{2,08}{300s + 1}$$

Мат.модель давача рівня ($H \rightarrow h_{\text{вих}}$), де H - висота розплаву над дном бака, м; $h_{\text{вих}}$ - сигнал давача.

На об'єкті застосовано давач рівня рідини поплавкового типу.

$$W_d(s) = k_d;$$

Прийmemo $k_d = 1$ [В/м].

Математична модель елемента порівняння ($(h_{\text{вих}} - h_{\text{зад}}) \rightarrow \Delta$),

де $h_{\text{зад}}$ - сигнал встановлення, В; Δ - сигнал неузгодження.

Передаточна функція кола буде мати вигляд:

$$W_{ЭС}(s) = h_{ВЫХ}(s) - h_{ЗАД}(s)$$

Математична модель регулятора ($\Delta \rightarrow u$), де u - сигнал керування

У моделі будемо використовувати схему ПІД-регулятор, мат. модель якого має вигляд:

$$W_{РЕГ}(s) = P + I \cdot \frac{1}{s} + D \cdot s$$

Мат. модель виконавчого пристрою ($u \rightarrow X_{шт.1}$)

Мат. модель узгоджувального пристрою ($u \rightarrow f$), де u - сигнал управління, B ; f - частота струму мережі живлення

Передаточна функція кола має вигляд:

$$W_{СУ}(s) = k_{СУ};$$

$$k_{СУ} = f / u = 50/10 = 5 \text{ [Гц/В]}.$$

Мат. модель електродвигуна ($f \rightarrow \psi_1$), де n - частота обертання двигуна

В якості електродвигуна будемо використовувати асинхронний чотириполюсник, для якого частота обертання ротора 25об/хв, залежність частоти ротора від частоти живлення лінійна.

Двигун для схеми ($f \rightarrow n$) є колом першого порядку, передаточна функція якого має вигляд:

$$W_{ДВ}(s) = \frac{k_{ДВ}}{T_{ДВ}s + 1}$$

Коефіцієнт передачі двигуна дорівнює:

$$k_{\text{дв}} = n / f = 25/50 = 0,5.$$

Асинхронні трифазні двигуни спільної серії потужністю 0.7...1.5 кВт постійна часу $T_{\text{дв}}$ приймається в межах від 0.7 до 1.9 с.

Однак для подальшого застосування нам потрібно отримати перетворення іншого виду: ($f \rightarrow \alpha_1$), де α_1 - кут повороту якоря двигуна, про.

У цьому випадку передаточна функція набуде вигляду:

$$W_{\text{дв}}(s) = \frac{k_{\text{дв}}}{T_{\text{дв}}s + 1} \cdot \frac{1}{s}.$$

Обмежимо переміщення штока вентилю до $0,6 D_y$, для цього використовуємо інтегратор "із насиченням".

Мат. модель редуктора ($\psi_1 \rightarrow \psi_2$), де ψ_2 - кут повороту вихідного валу редуктора

Передаточна функція має вигляд:

$$W_{\text{ред}}(s) = k_{\text{ред}} \quad \text{или} \quad i_{\text{ред}}.$$

Вважаємо, що редуктор приводу, що настроюється, тому модель приводу повинна містити налаштування.

Мат. модель механізму приводу штока вентиля ($\psi_2 \rightarrow X_{\text{шт.1}}$), де $X_{\text{шт}}$ - переміщення штока вентиля:

$$W_{\text{н.ум}}(s) = k_{\text{н.ум}}.$$

Припустимо, що руху клапана штока сприяє механізм «гвинт-гайка». Призначимо крок гайки рівним 0,004 м. Поруч с. шт = 0,004 м/оберт.

Математична модель всього виконавчого пристрою ($u \rightarrow X_{шт.1}$), яка складається з керуючого сигналу u .

Загальна модель виконавчої системи складається з:

$$W_8(s) = k_{C.Y.} \cdot \frac{0,5}{0,35s + 1} \cdot \frac{1}{s} \cdot k_{ред.} \cdot k_{н.ум.}$$

Математична модель вентиля ($X_{шт.1} \rightarrow \mu$), де μ - коефіцієнт відкриття вентиля

$$W_9(s) = k_{x1,x2}$$

З урахуванням всього руху клапана штока $X_{шт. max}$ – половина діаметра умовного потоку труби, розрахуємо значення коефіцієнтів пропускання для відводів на вхідний і вихідний потоки. Завдання полягало у визначенні D_y та μ_{max} крана, тому використали інформацію із завдання припливу.

$$k_{x1} = \mu_{max} / 0,5 D_y = 26,3.$$

Відповідно до завдання на відпливі $D_y = 0,1$ і $\mu_{max} = 1$ тож для крана на відпливі

$$k_{x2} = \mu_{max} / 0,5 D_y = 20.$$

Мат.модель ланки формування збурень ($\mu \rightarrow \lambda$)

Збурюючим впливом для об'єкта регулювання є $\lambda(t)$ - відносне збурення (у частках номінальних значень сигналів, які збурюють), воно складається з двох збурень: коливань параметрів припливу $\lambda_1(t)$ і коливань параметрів відтоку $\lambda_2(t)$,

$$\lambda(t) = \lambda_1(t) - \lambda_2(t) = \frac{\mu_1(t) - \mu_{1,H}}{\mu_{1,H}} - \frac{\mu_2(t) - \mu_{2,H}}{\mu_{2,H}}$$

3.4 Інструментальна модель автоматичної системи керування

Реалізувати модель будемо в пакеті MATLAB, при цьому скористаємося інструментом візуального моделювання SIMULINK.

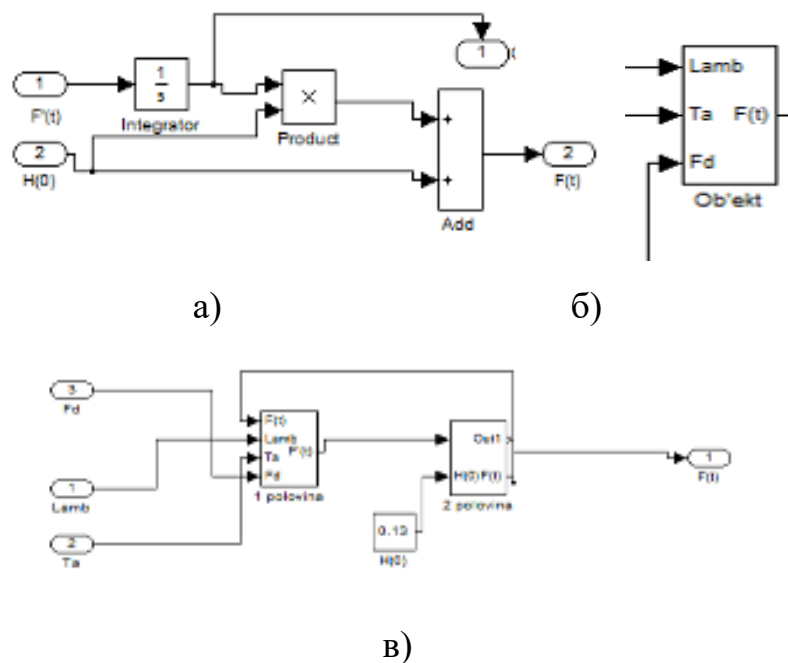


Рисунок 3.6 – Схема моделі регулювання, а) перша половина, б) друга половина, в) разом обидві половини

Інструментальна модель формувача збурень

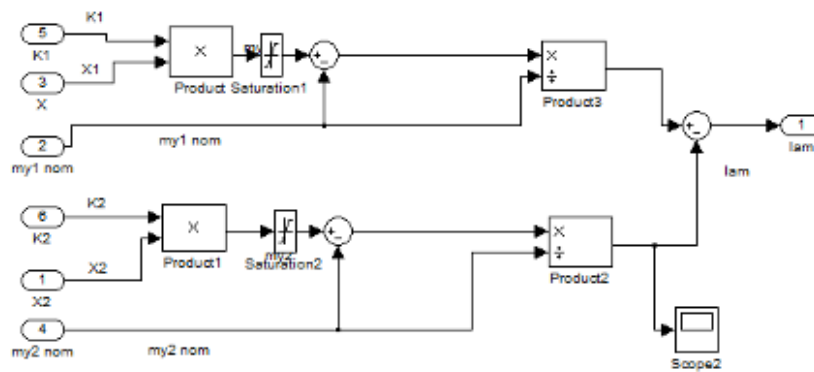


Рисунок 3.7 – Схема моделі ланки формуючої збурення

Інструментальна модель пристрою виконання

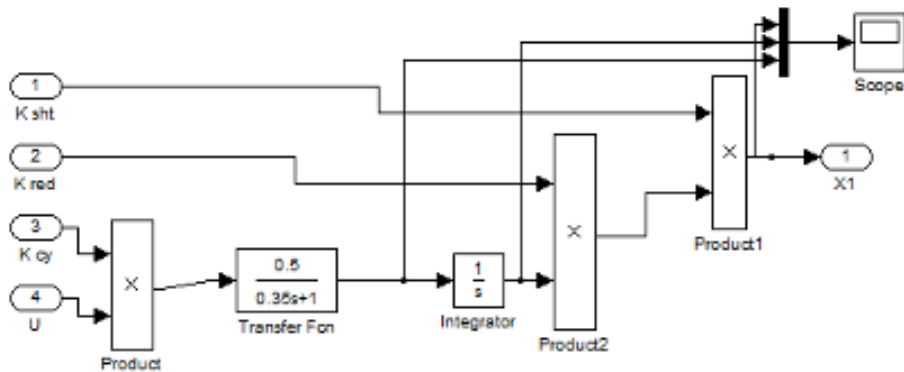


Рисунок 3.8 - Схема моделі виконавчого пристрою

Інструментальна модель регулятора

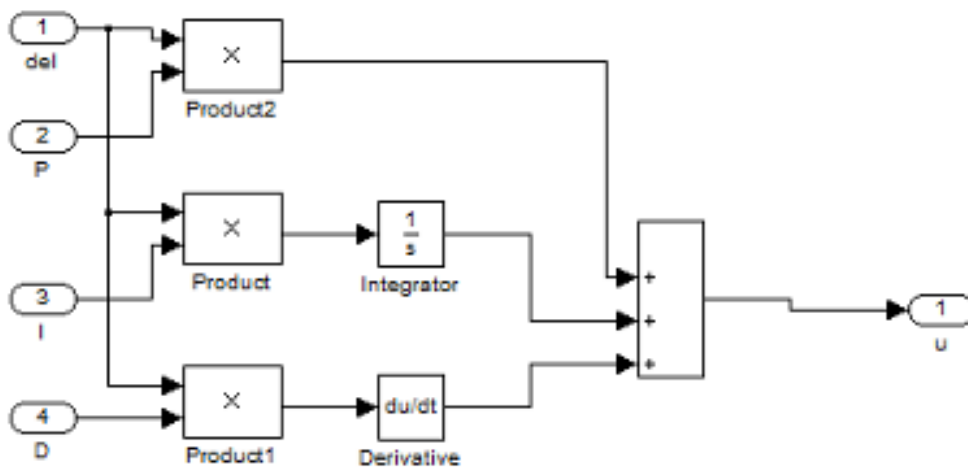


Рисунок 3.9- Схема моделі регулятора

Загальна схема моделі системи автоматичного регулювання рівня рідини у ємності показана на рисунку 3.10.

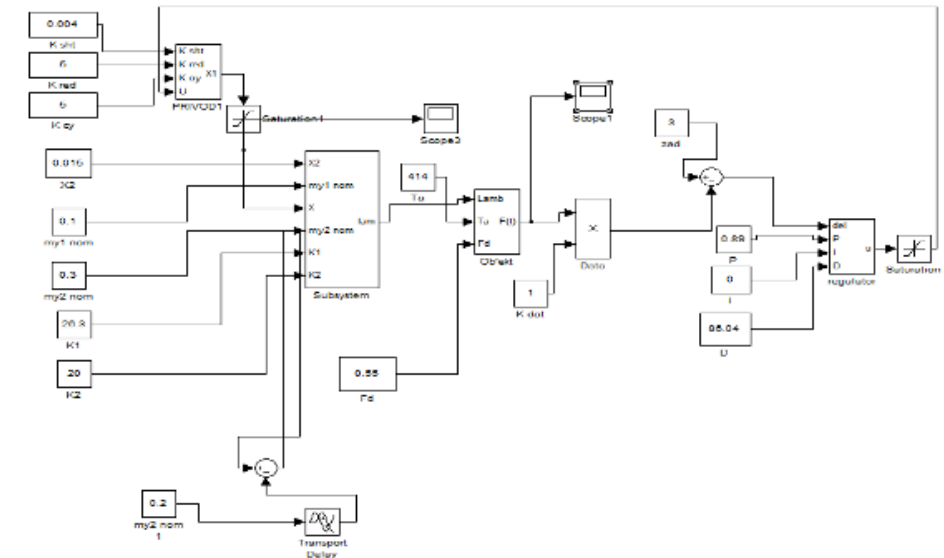


Рисунок 3.10 - Схема моделі системи автоматичного регулювання.

3.5 Результати моделювання

При налаштуванні регулятора будемо враховувати наступні показники якості: час, необхідний для налаштування, і час повторного налаштування.

Без впливу збурюючого процесу перехід буде вважатися закінченим, якщо відхилення не перевищує 1% початкового значення.

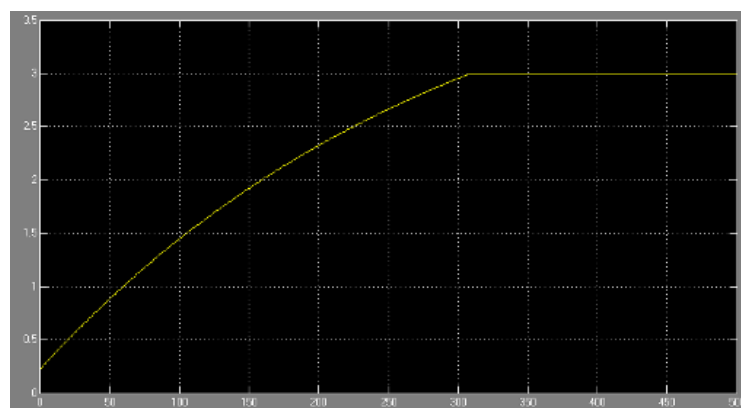


Рисунок 3.11 - Перехідний процес протягом часу налаштування $P = 0,66$, $I = 0$, $D =$

При налаштуваннях регулятора $P = 0,66$, $I = 0$, $D = 83,5$ система має найкращий результат. Перевіримо систему в околиці по черзі роблячи зміни параметрів налаштування PID-регулятора.

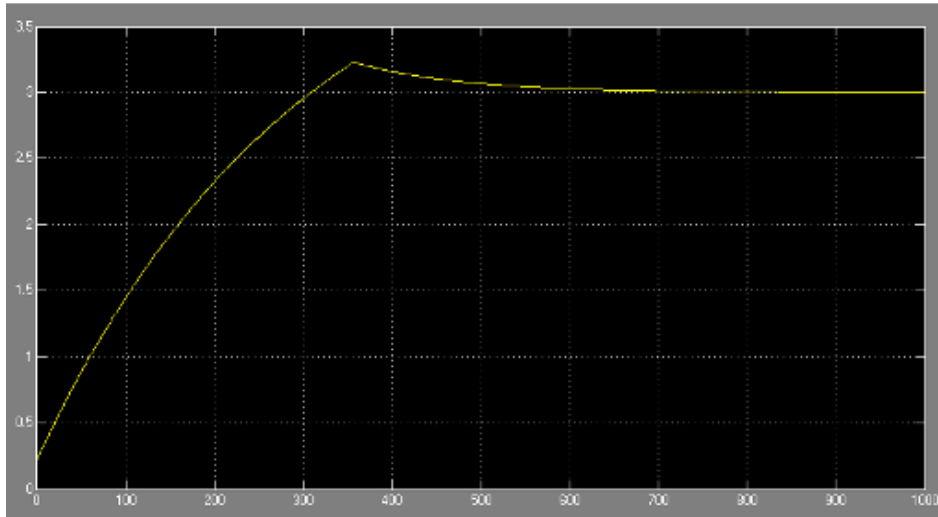


Рисунок 3.12 - Перехідний процес за налаштування $P = 0,716$, $I = 0$, $D = 83,5$

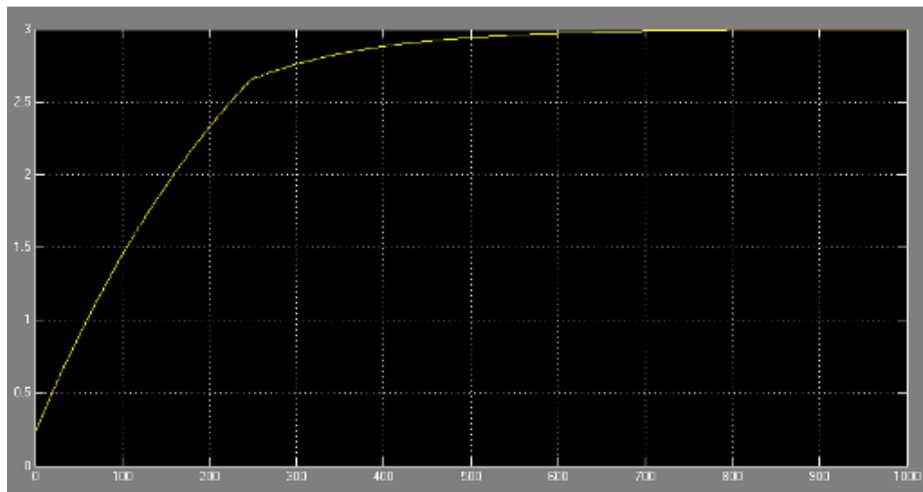


Рисунок 3.13 Перехідний процес за налаштування $P = 0,586$, $I = 0$, $D = 83,5$

3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі проведено дослідження математичних моделей розроблених у попередньому розділі. Наведені графіки залежностей нагрівання

усіх трьох зон нагрівання шнеку від зовнішньої температури. Отримані перехідні характеристики об'єктів дослідження. Досліджена якість апроксимації, та ідентифікація об'єктів. Обрана математична модель для подальшого моделювання.

4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

4.1 Структурна схема системи автоматичного керування

Щоб дослідити математичну модель і вибрати оптимальні параметри для автоматичного контролера, скористаємося типовою структурною схемою типового САК на рисунку 4.1.

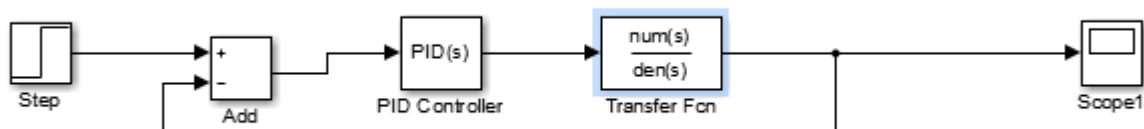


Рисунок 4.1 - Структурна схема САК

4.2 Синтезування регуляторів першого нагрівача

Відповідно до основної схеми, об'єднаємо потужність обігрівачів за допомогою каналів – передбачуваної цілі в зоні.

Технічні характеристики першої системи керування нагрівачем наведені на рис.4.2-4.3.

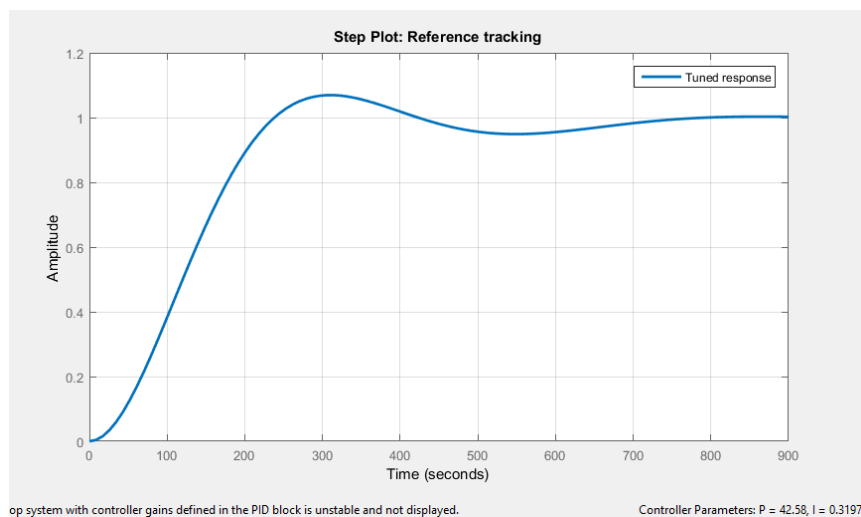


Рисунок 4.2 - Дослідження ПІ-регулятора першого нагрівача

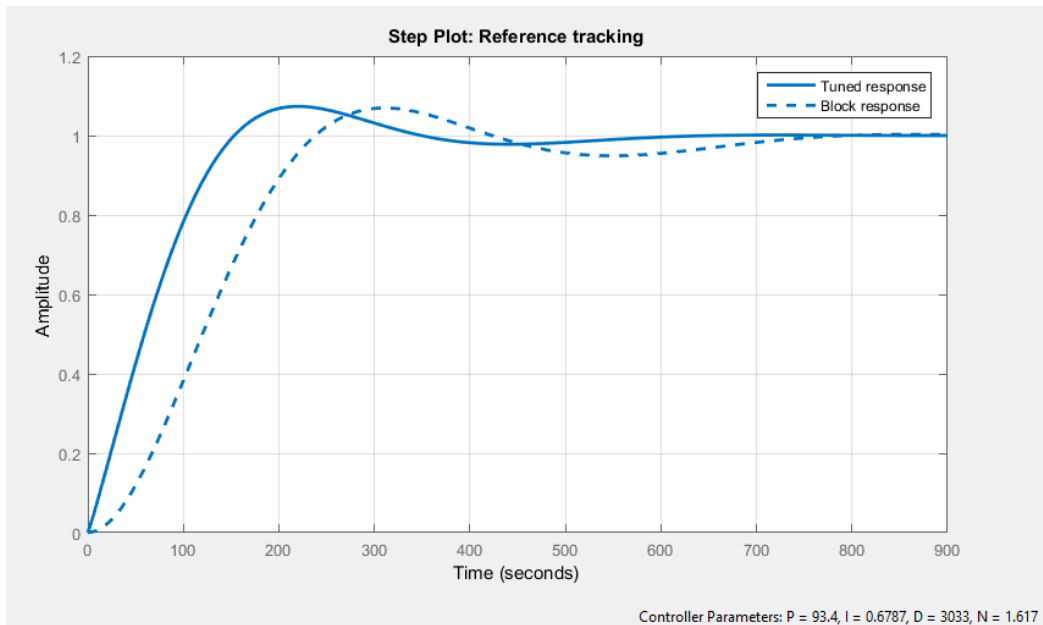


Рисунок 4.3 - Дослідження ПД-регулятора першого нагрівача

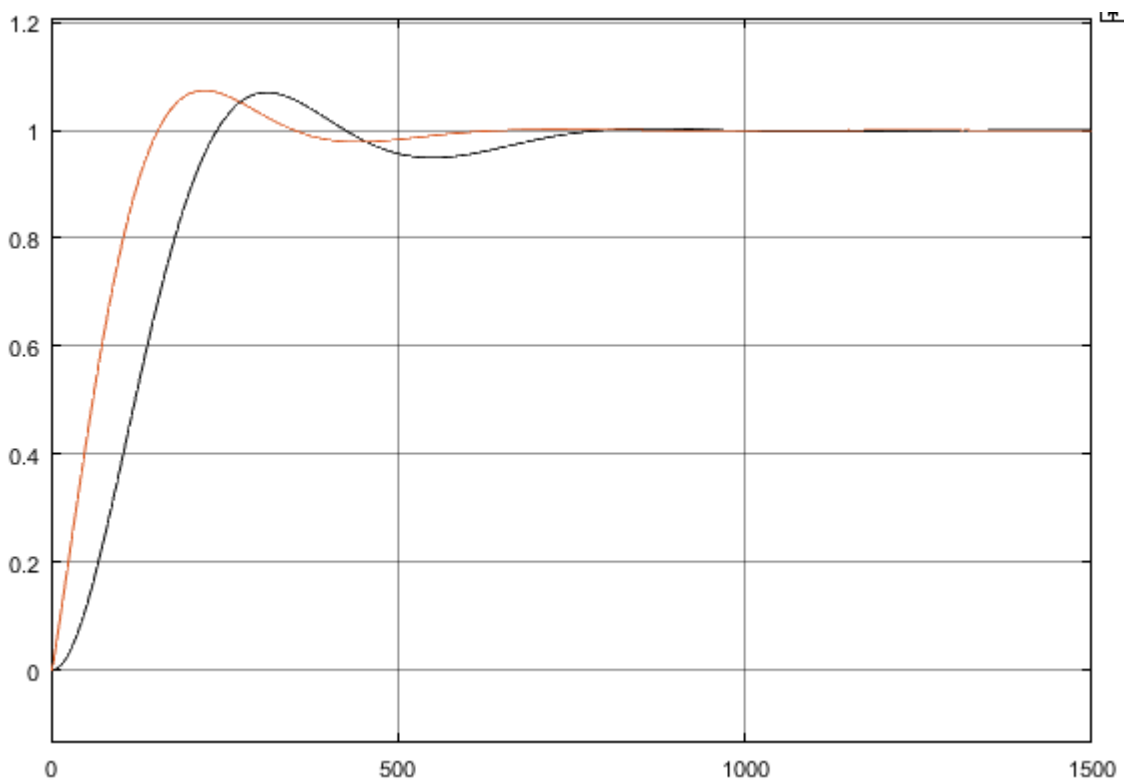


Рисунок 4.4 - Порівняння ПІ та ПД регуляторів першого нагрівача

Видно що ПД-регулятор краще впорався із завданням – його вибираємо.

4.3 Синтез регуляторів для третього нагрівача

Параметри для третьої системи нагрівача описані на мал.4.5-4.7.

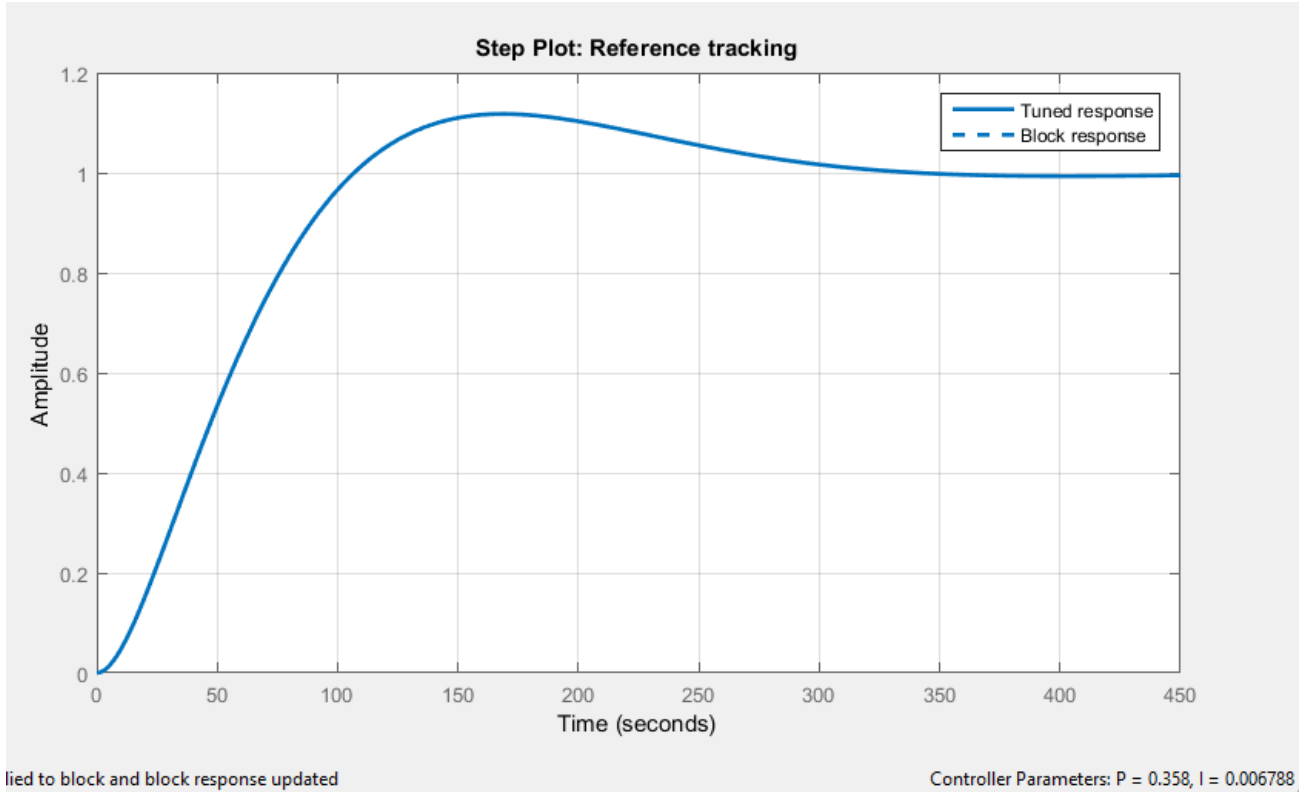


Рисунок 4.5 - Дослідження ПІ регулятора третього нагрівача

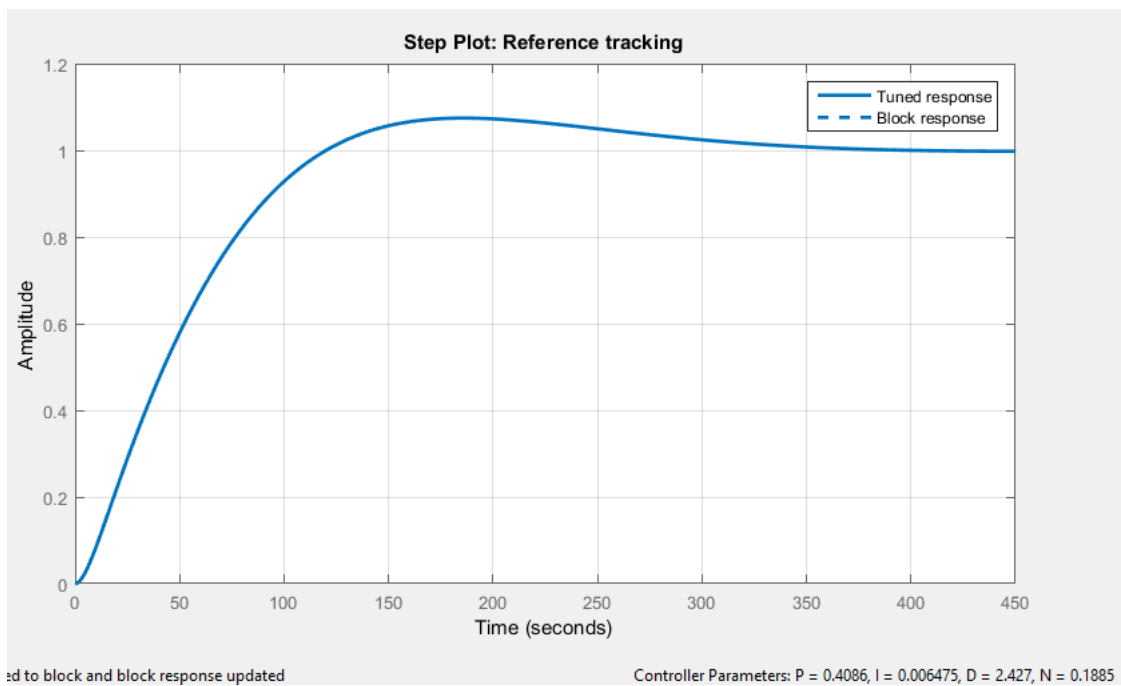


Рисунок 4.6 - Дослідження ПІД регулятора третього нагрівача

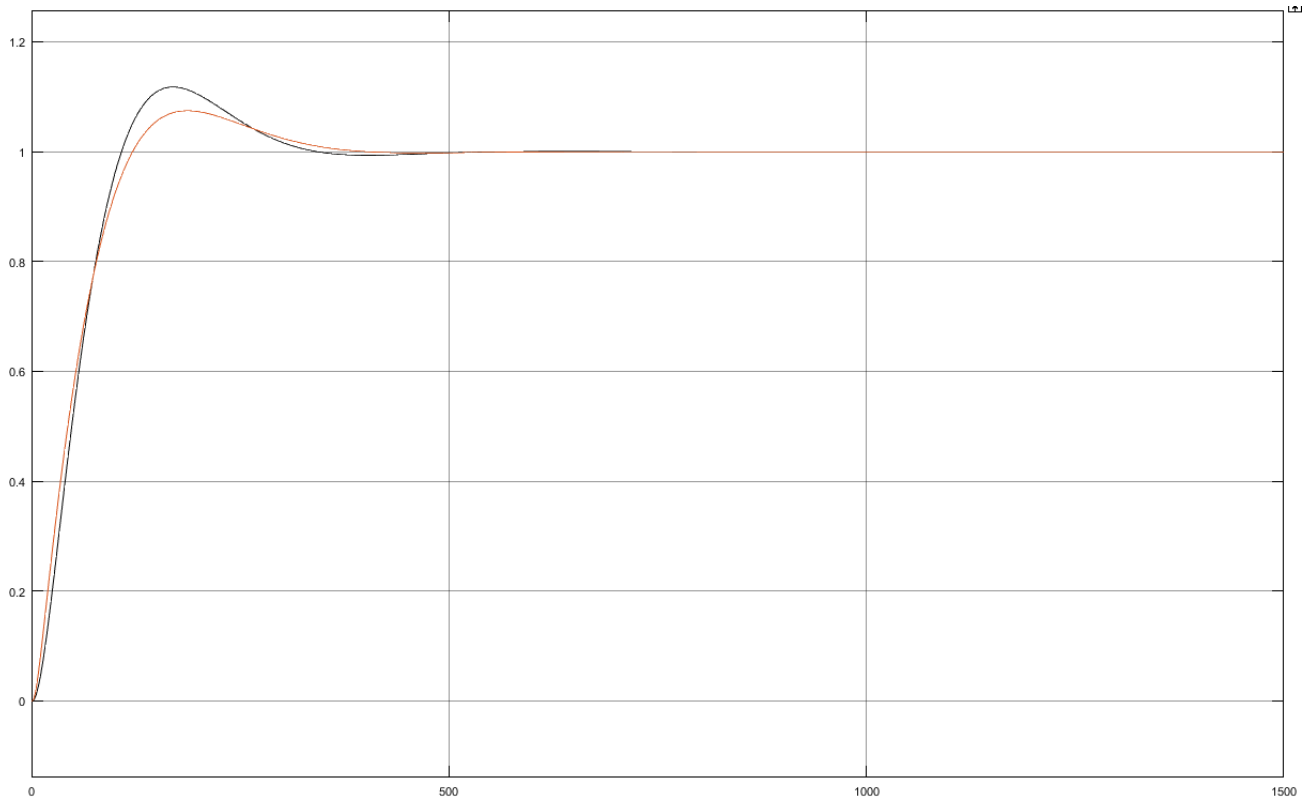


Рисунок 4.7 - Порівняння ПІ та ПІД регулятора третього нагрівача

У цьому випадку переваги ПІД-регулятора неочевидні, використовуємо ПІ.

4.4 Синтез та дослідження схем управління

Далі загальна схема об'єкта з системами управління буде такою як представлена на рис. 4.8:

Проведемо дослід впливу першого нагрівача на інші області без впливу інших обігрівачів.

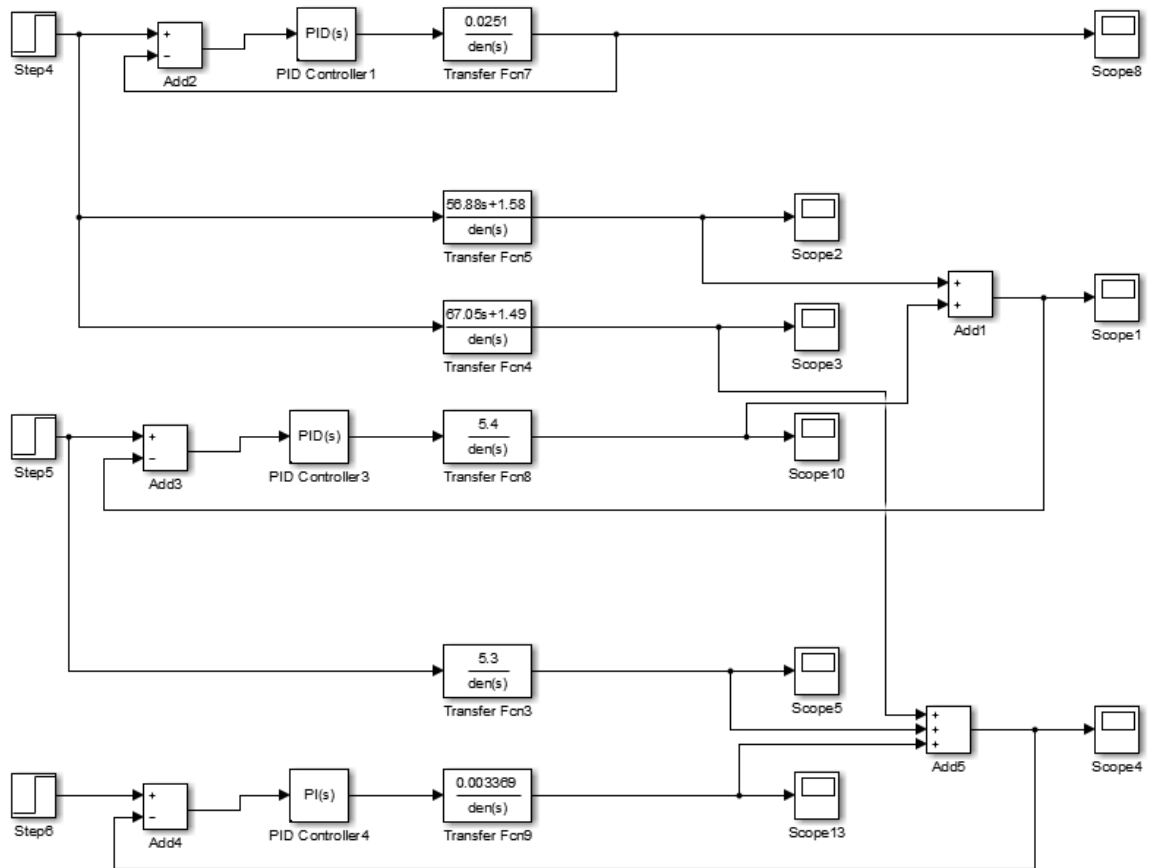


Рисунок 4.8 - Схема мат. моделі із системами управлінь

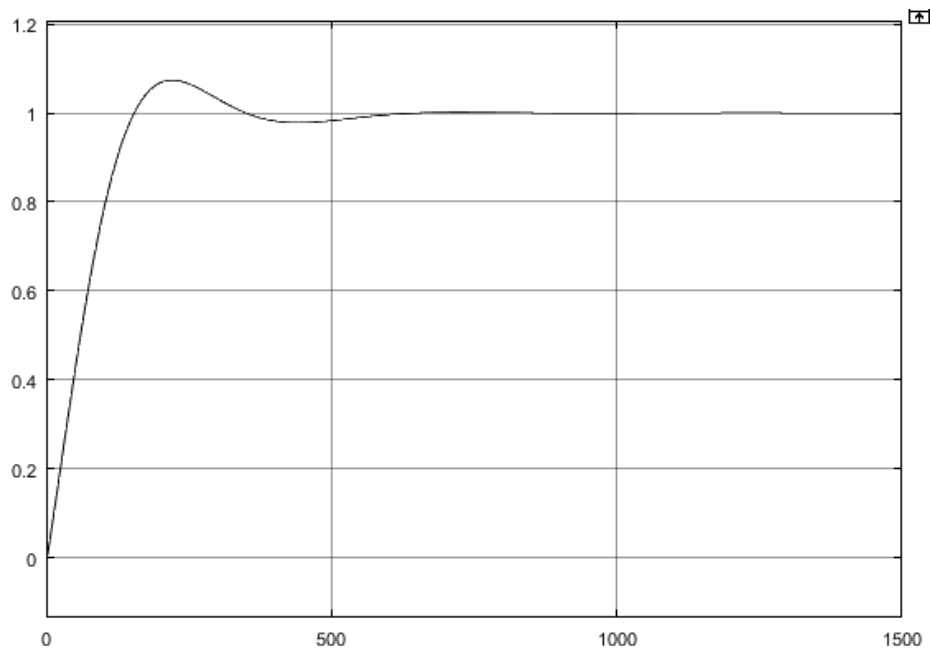


Рисунок 4.9 - Вихід за першим каналом

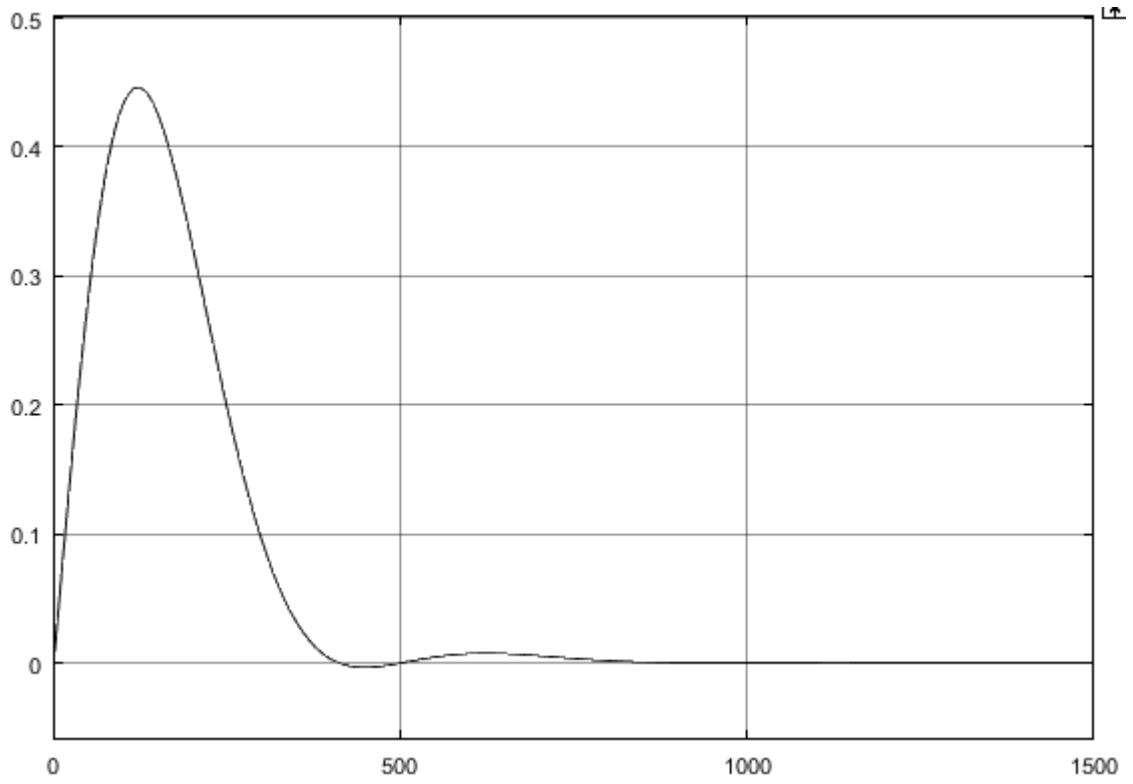


Рисунок 4.10 - Вихід за другим каналом

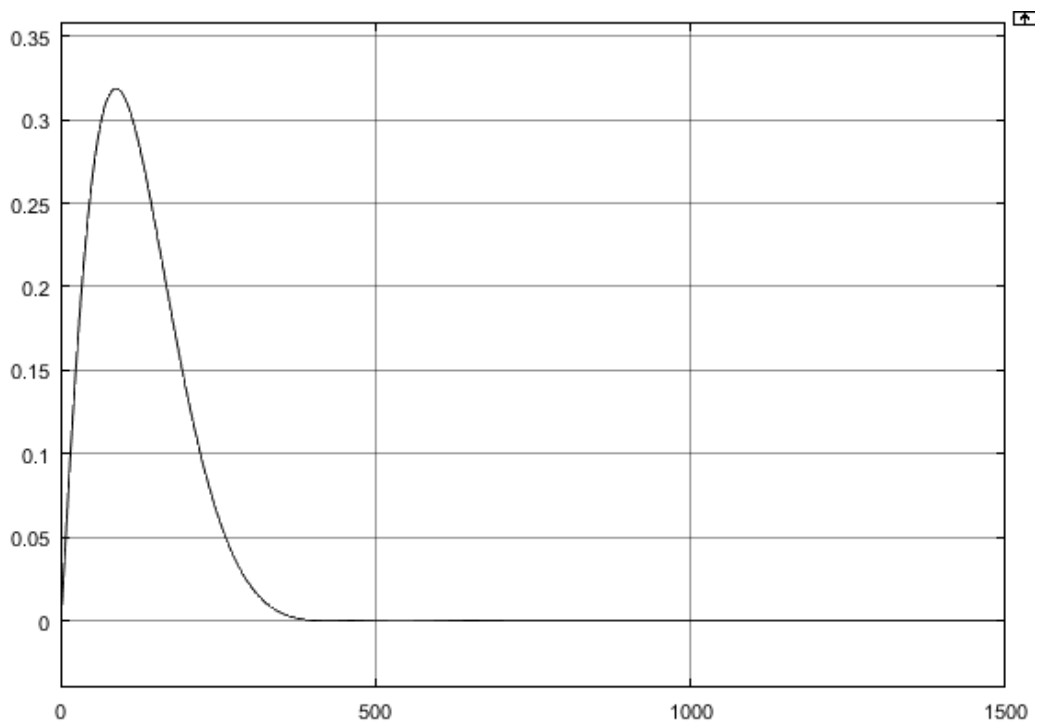


Рисунок 4.11 - Вихід за третім каналом

Зазначимо що необхідність створення компенсаторів на основі збурювальних шляхів впливу попередніх зон.

Вплив для впливу першої зони на другу зону.

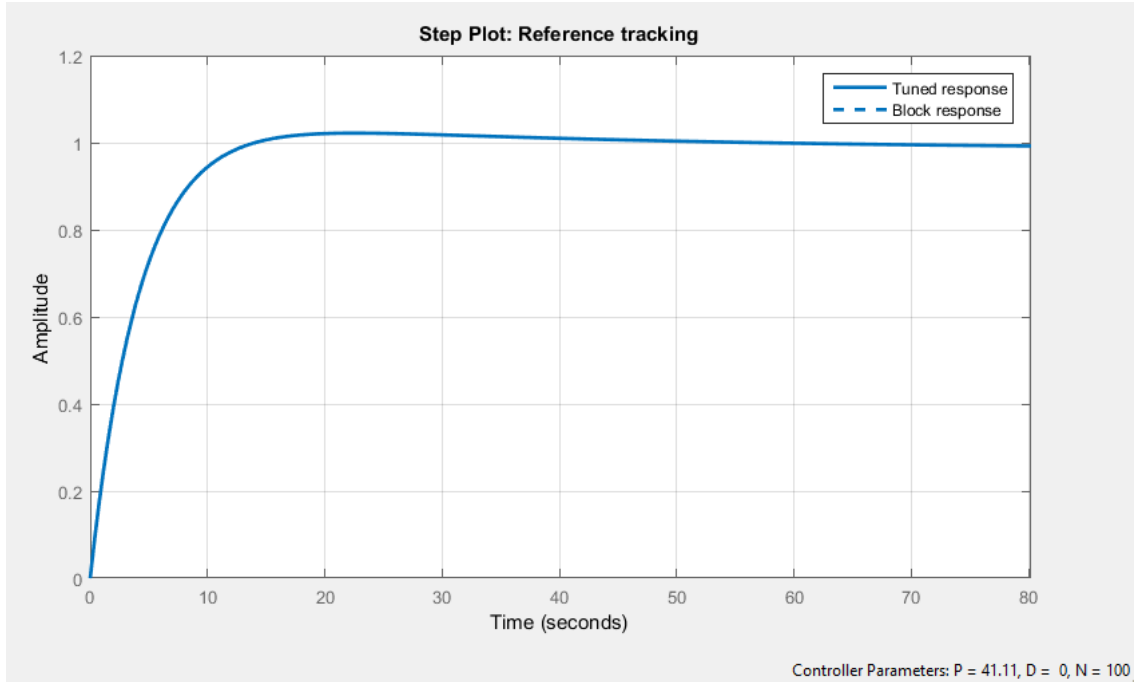


Рисунок 4.12 - Компенсація впливу першої на другу зону

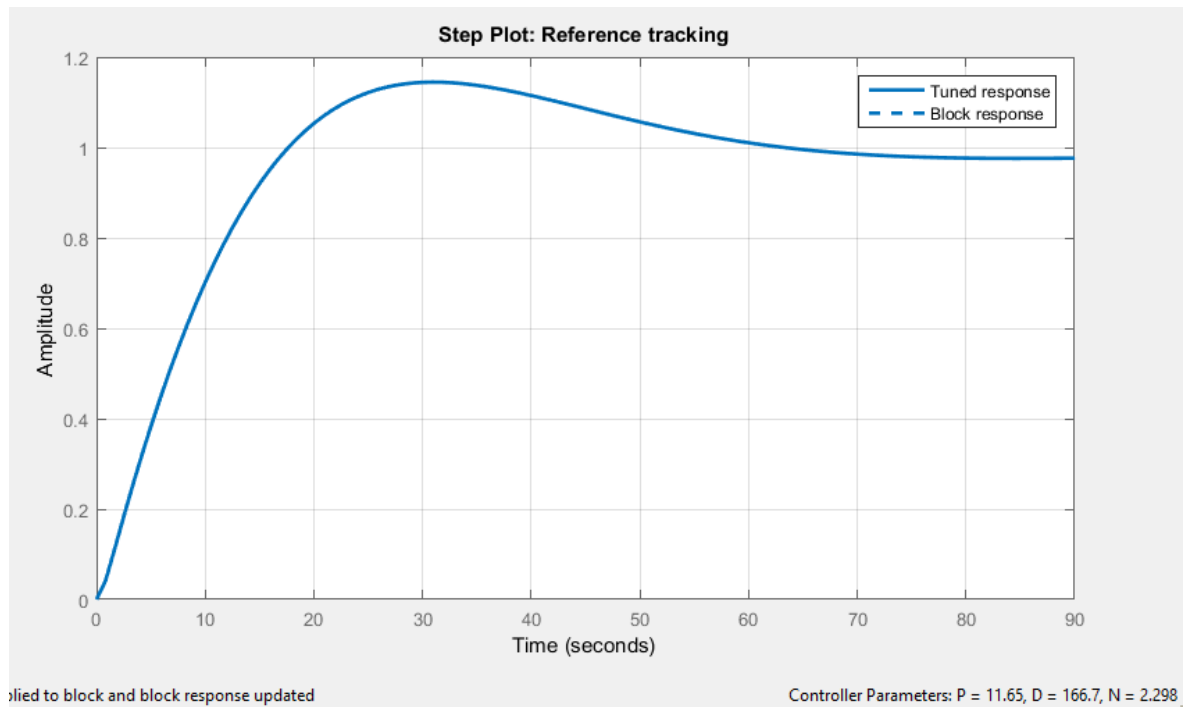


Рисунок 4.13 - Компенсація впливу другої на третю зону

Отримуємо схему с компенсатором

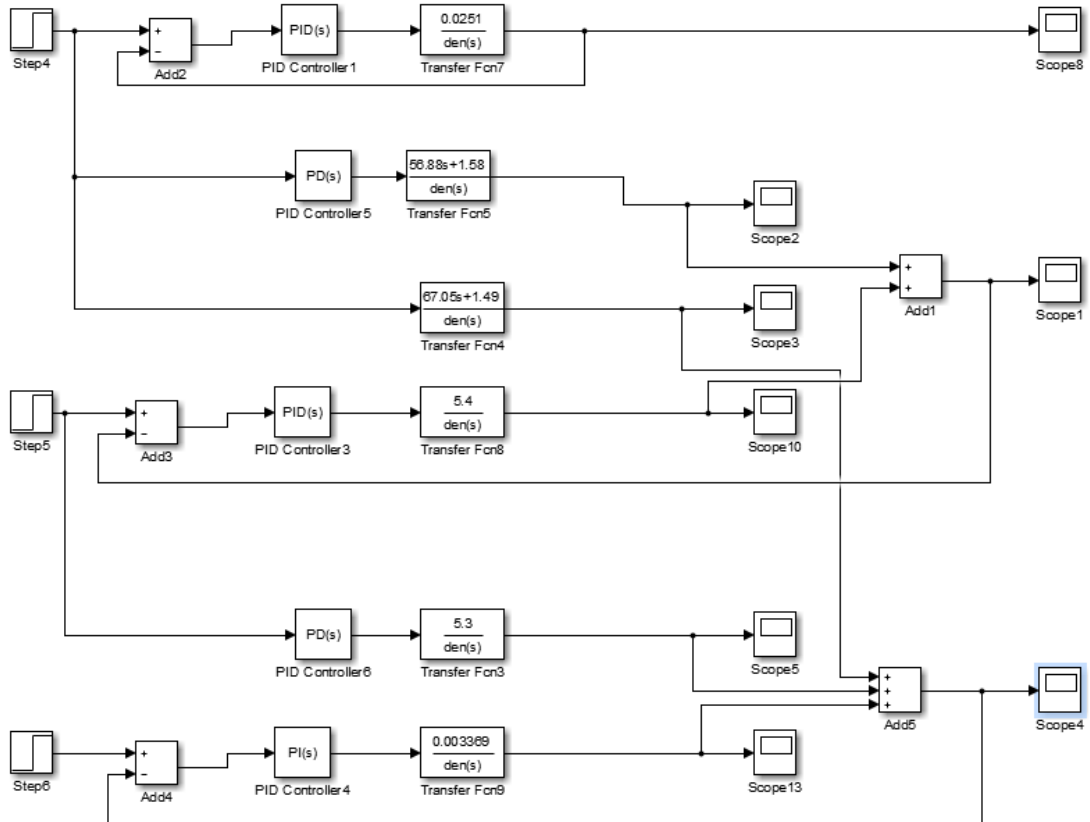


Рисунок 4.14 - Схема із компенсатором

Тоді реакція виходу за першим каналом буде мати вигляд:

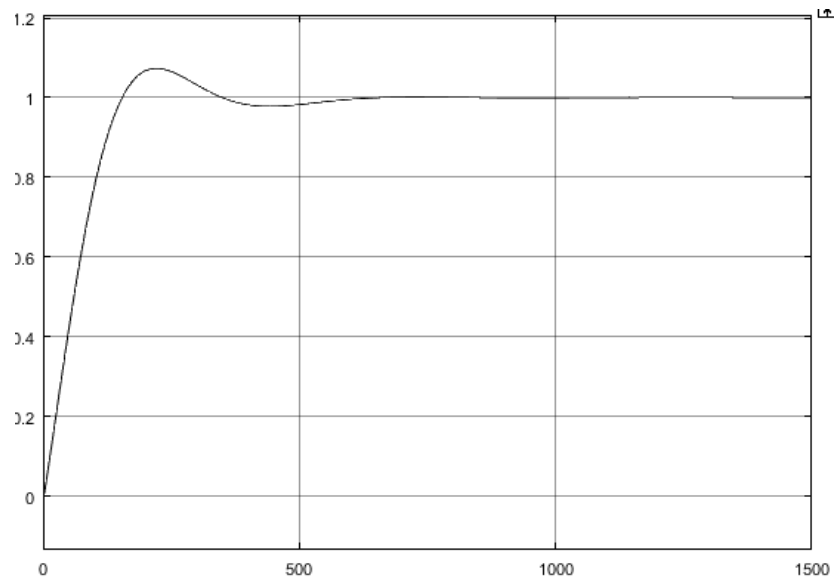


Рисунок 4.15 - Вихід першим каналом

Другим каналом:

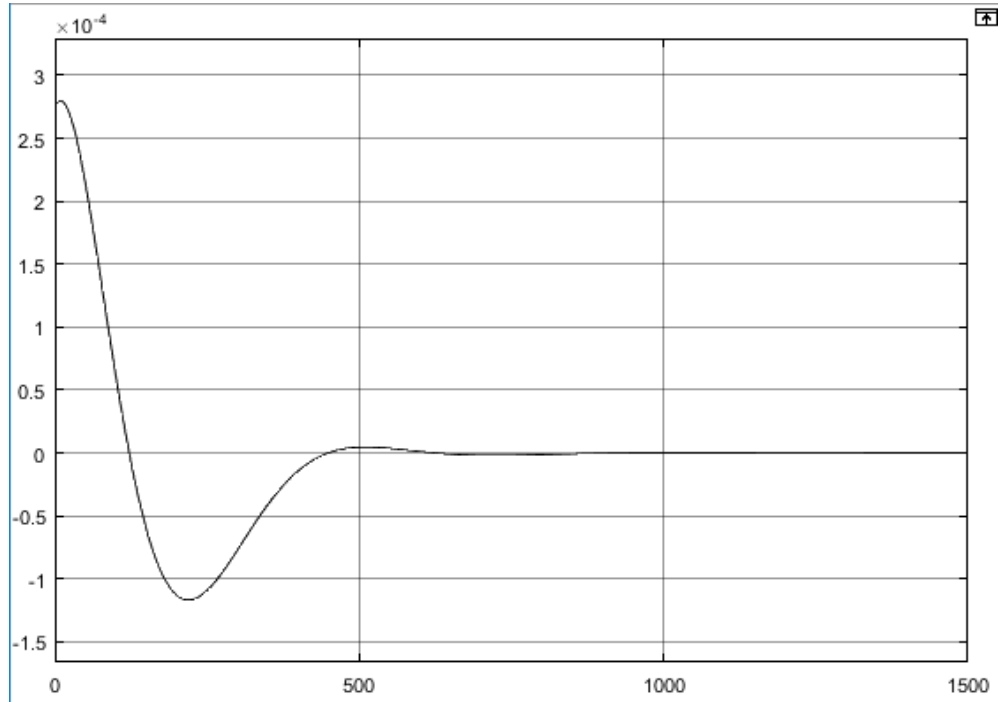


Рисунок 4.16 - Вихід за другим каналом

За третім каналом:

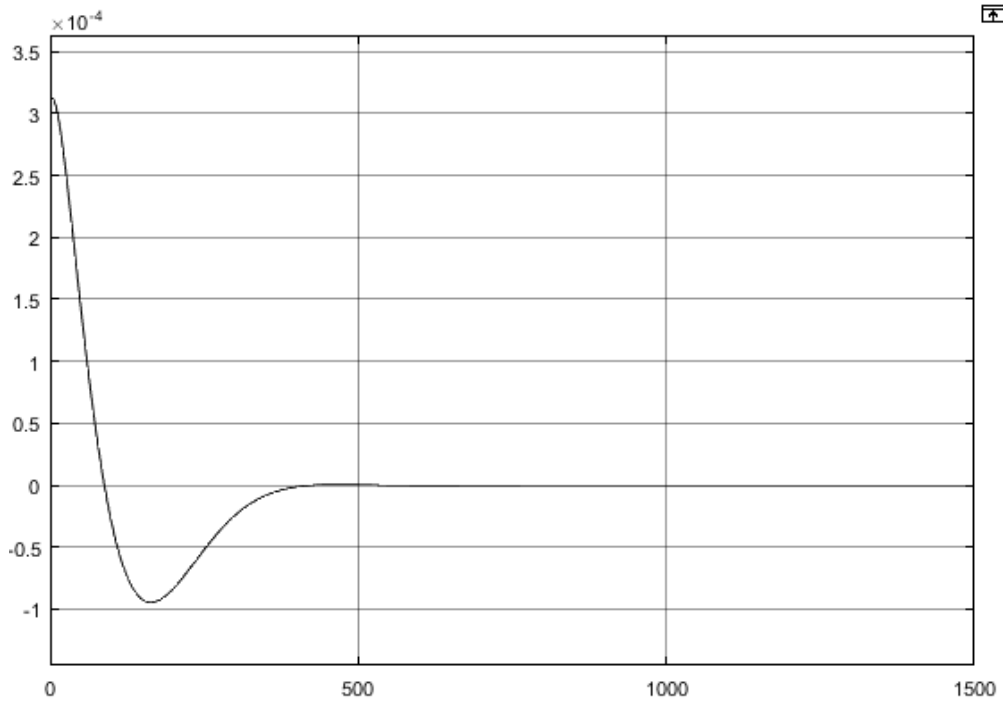


Рисунок 4.17 - Вихід за третім каналом

Цей метод дозволив синтез системи управління, на яку вплинули попередні напрямки.

4.5 Дослідження моделі

Метою дослідження моделі є планування експериментів і проведення їх на моделі з певною метою.

У цьому дослідженні метою проведення експериментів є визначення найкращого можливого способу регулювання параметрів регулятора, наскільки це можливо, що, по суті, є формою оптимізації. Важливим аспектом цієї проблеми є формулювання мети оптимізації, яка більш детально пояснюється нижче.

Щоб почати оптимізацію, необхідно знайти задовільну початкову конфігурацію контролера.

Параметри регулятора, які вважаються задовільними, мають постійну часу 2-3Т, а максимальна величина перерегулювання становить 30%. Важливо врахувати, що перерегулювання не призводить до «наївних» графіків (наприклад, коли висота резервуара становить 4,5 м, а максимальне Н на графіку переходу більше 4,5). Після визначення параметрів, які вважаються прийнятними, важливо провести процедуру підвищення цих параметрів.

Процес оптимізації — це запланований пошук (пошук) параметрів, які максимізують цільовий максимум. Цільова функція в ТАУ може бути одним із критеріїв якості регулювання технологічних параметрів, а інші критерії можна розглядати як обмеження.

Наприклад, найбільш простий і зрозумілий опис задачі оптимізації виглядає наступним чином:

$$T \rightarrow \min_{P,I,D}, \text{ за умови } \sigma \leq 30\%$$

У результаті важливо знайти такі місця розташування регулятора P , I і D , в яких час налаштування T мінімізований, а максимальний ступінь перерегулювання становить не більше 30%. Величина перенормування є умовною, для кожного технологічного об'єкта вона буде базуватися на вимогах технологічного процесу, в якому він бере участь, об'єкта. або проектні характеристики об'єкта.

Метод оптимізації з переходом до першого поліпшення (без збурення)

1 Крок: виберіть відповідні початкові значення для оптимізації ($P = 0,65$, $I = 0$ $D = 83,4$), а потім встановіть значення пошуку для кожного параметра, що дорівнює приблизно 10% від початкових значень (у кожному напрямку, тобто $Sh_P = 0,065$, $Sh_I = 0,01$, $Sh_D = 8,34$).

Крок 2: зробіть крок $Sh_P = 0,065$ у напрямку P с . За допомогою цього кроку отримаємо дві точки в тривимірному просторі параметрів пошуку (це призведе до точки ($P = 0,715$, $I = 0$ $D = 83,4$) і точки ($P = 0,585$, $I = 0$ $D = 83,4$)). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі.

Якщо в одній із заданих точок значення показника T більше (менше), а обмеження не порушується (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку і переходимо до кроку 3. Якщо показник якості не мав значного збільшення в жодному з двох нових місць, б перейшли до кроку 3. Наприклад, точка ($P = 0,66$, $I = 0$ $D = 83,5$) була більш ефективною, і будемо продовжувати його використовувати.

Крок 3: виконуємо пробний крок у напрямку I с з кроком $Sh_I = 0,01$, отримаємо дві точки в тривимірному просторі параметрів пошуку (це означає, що отримаємо точку ($P = 0,65$, $I = 0,01$ $D = 83,4$), а друга точка не має фізичного значення). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення показника T вище (менше), а обмеження не переступає (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку та її якісний показник, далі

переходимо до кроку 4. Якщо індикатор якості не знаходиться в одному з двох нових місць, якість продукту не була покращена, тоді переходимо до четвертого кроку. Наприклад, ($P = 0,65$, $I = 0$, $D = 83,5$) було більш ефективним, тому продовжуватимемо його використовувати.

Крок 4: зробіть пробний крок у напрямку D з кроком $Sh_D = 8,34$, це дасть нам дві точки в тривимірному просторі параметрів пошуку (тобто отримаємо точку ($P = 0,66$, $I = 0$, $D = 91,74$) і точку ($P = 0,66$, $I = 0$, $D = 75,06$)). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення показника T більше (менше), а обмеження не порушується (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку і переходимо до кроку 5. Якщо показник якості не мав значного збільшення в одному з двох нових місць, перейшли б до кроку 5. Наприклад, точка ($P = 0,65$, $I = 0$, $D = 83,4$) була більшою ефективний, і продовжуватимемо його використовувати.

Крок 5: збираємо інформацію про останній виявлений корисний параметр у просторі параметрів і вносимо її в таблицю 4.1.

Результати досліджень моделі представлені у таблиці 4.1.

Задамо крок: $P = 0,065$, $I = 0,01$, $D = 8,34$.

Метод оптимізації з переходом щодо першого поліпшення (з обуренням 0,2)

1 Крок: обираються початкові параметри, які вважаються допустимими для оптимізації ($P = 0,76$, $I = 0$, $D = 140$), потім встановіть значення пошуку для кожного параметра, що дорівнює 10% початкових значень у кожному напрямку (наприклад, $Sh_P = 0,076$, $Sh_I = 0,01$, $Sh_D = 14$).

Крок 2: виконується крок до P з кроком $Sh_P = 0,076$, це призведе до двох точок у тривимірному просторі параметрів пошуку (це призведе до точки ($P = 0,834$, $I = 0$, $D = 140$) і точку ($P = 0,684$, $I = 0$, $D = 140$)). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення

показника T більше (менше), а обмеження не порушується (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку і переходимо до кроку 3. Якщо індикатор якості не мав значного збільшення в жодному з двох нових місць, перейшли б до кроку 3. Наприклад, точка ($P = 0,834, I = 0, D = 140$) була більш точною, і будемо продовжувати його використовувати.

Крок 3: виконується пробний крок у напрямку I с з кроком $Sh_I = 0,01$, отримуємо дві точки в тривимірному просторі параметрів пошуку (тобто отримуємо точку ($P = 0,834, I = 0,01, D = 140$), а друга точка не є раціональною). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення показника T вище (менше), а обмеження не переступає (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку та її якісний показник, далі переходимо до кроку 4. Якщо індикатор якості не знаходиться в одному з двох нових місць, якість продукту не була покращена, тоді переходимо до четвертого кроку. Наприклад, крапка ($P = 0,834, I = 0, D = 140$) виявилася ефективнішою, тому будемо її використовувати й надалі.

Крок 4: виконується пробний крок у напрямку D с з кроком $Sh_D = 14$, це призведе до отримання двох точок у тривимірному просторі параметрів пошуку (це призведе до отримання точка ($P = 0,834, I = 0, D = 154$) і точка ($P = 0,834, I = 0, D = 126$)). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення показника T більше (менше), а обмеження не порушується (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку і переходимо до кроку 5. Якщо показник якості не мав значного збільшення в одному з двох нових місць, б перейшли до кроку 5. Наприклад, точка ($P = 0,834, I = 0, D = 126$) була більш точною, і будемо продовжувати його використовувати.

Крок 5: обираються початкові параметри, які вважаються прийнятними для оптимізації ($P = 0,834, I = 0, D = 126$), потім встановить значення пошуку

для кожного з цих параметрів, що дорівнює приблизно 10% початкових значень у кожному напрямку (наприклад, $Sh_P = 0,0834$, $Sh_I = 0,01$ і $Sh_D = 12,6$).

Крок 6: виконується пробний крок у напрямку P з кроком $Sh_P = 0,0834$, це дасть нам дві точки в тривимірному просторі параметрів пошуку (тобто отримуємо точку ($P = 0,9174$, $I = 0$, $D = 126$) і точку ($P = 0,706$, $I = 0$, $D = 126$)). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення показника T більше (менше), а обмеження не порушується (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку і переходимо до кроку 3. Якщо індикатор якості не мав значного збільшення в жодному з двох нових місць, перейшли б до кроку 3. Наприклад, точка ($P = 0,9174$, $I = 0$, $D = 126$) була більш точною, і будемо продовжувати його використовувати.

Крок 7: обирається крок Sh_IC з кроком 0,01, це призведе до двох точок у тривимірному просторі параметрів пошуку (це призведе до точки ($P = 0,9174$, $I = 0,01$, $D = 126$), а другий пункт не має фізичного значення). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і граничне значення для нього. Якщо в одній із позначених точок значення показника T вище (менше), а межа не перевищена (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо точку та показник її якості, далі переходимо до кроку 4. Якщо показник якості не мав значного підвищення в одному з двох нових місць, переходимо до кроку 4. Наприклад, точка ($P = 0,9174$, $I = 0$, $D = 126$) все ще буде розглядається.

Крок 8: виконується пробний крок, який слідує напрямку D з кроком $Sh_D = 12,6$, отримуємо дві точки в тривимірному просторі параметрів пошуку (це означає, що отримуємо точку ($P = 0,9174$, $I = 0$, $D = 138,6$) і точку ($P = 0,9174$, $I = 0$, $D = 114$)). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення показника T більше (менше), а обмеження не порушується (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку і переходимо до кроку

5. Якщо показник якості не мав значного збільшення в одному з двох нових місць, перейшли б до кроку 5. Наприклад, точка ($P = 0,9174$, $I = 0$ $D = 114$) була більшою точні, і продовжуватимемо його використовувати.

Крок 9: обираються початкові параметри, які вважаються допустимими для оптимізації ($P = 0,9174$, $I = 0$ $D = 114$), потім встановить значення пошуку для кожного параметра на 10% від початкових значень у кожному напрямку ($Sh_P = 0,09174$, $Sh_I = 0,01$, $Sh_D = 11,4$).

Крок10: виконується тестова процедура в напрямку P з кроком $Sh_P = 0,09174$, отримаємо дві точки в тривимірному просторі параметрів пошуку (це означає, що отримаємо точку ($P = 1,009$), $I = 0$ $D = 114$) і точку ($P = 0,82566$, $I = 0$ $D = 114$)). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення показника T більше (менше), а обмеження не порушується (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку і переходимо до кроку 3. Якщо показник якості не мав значного збільшення в жодному з двох нових місць, перейшли б до кроку 3. Наприклад, точка ($P = 0,9174$, $I = 0$ $D = 114$) була більшою точні, і продовжуватимемо його використовувати.

Крок 11: обирається крок Sh_IC з кроком 0,01, це призведе до двох точок у тривимірному просторі параметрів пошуку (це призведе до точки ($P = 0,9174$, $I = 0,01$ $D = 114$), і другий пункт не має фізичного значення). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення показника T вище (менше), а обмеження не переступає (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку та її якісний показник, далі переходимо до кроку 4. . Якщо індикатор якості не знаходиться в одному з двох нових місць, індикатор не покращився, тоді переходимо до наступного кроку 4. Наприклад, ($P = 0,9174$, $I = 0$, $D = 114$) був найкращим результатом, продовжуватимемо його використовувати.

Крок 12: виконується пробний крок у напрямку D с з кроком $Sh _ D = 11,4$, це дасть нам дві точки в тривимірному просторі параметрів пошуку (тобто отримуємо точку ($P = 0,9184, I = 0 D = 124,4$) і точки ($P = 0,9184, I = 0 D = 103,6$)). По черзі підставляємо в модель значення параметрів регулятора і розраховуємо значення показника якості T і його межі. Якщо в одній із заданих точок значення показника T більше (менше), а обмеження не порушується (тобто не перевищує 30%), то запам'ятовуємо цю точку і переходимо до кроку 5. Якщо показник якості не мав значного збільшення в одному з двох нових місць, перейшли б до кроку 5. Наприклад, точка ($P = 0,9174, I = 0 D = 114$) була більшою точні, і продовжуватимемо його використовувати.

Крок 13: збирається інформація про останній виявлений корисний параметр у просторі параметрів і вводимо її в таблицю 4.2.

Результати досліджень моделі показані у таблиці 4.2.

Задамо крок : $P = 0,077, I = 0,011, D = 14, P = 0,0844, I = 0,011, D = 12,7, P = 0,09184, I = 0,011, D = 11, 5$.

Таблиця 4.1 – Результати досліджень моделі

P	I	D	Статична похибка	Час регулювання	Перерегулювання	Примітки.
0,66	0	83,5	0	293	0	Стартова точка пошуку, найкращий результат
0,725	0	83,5	0	293	3,23	Виявилось перерегулювання
0,586	0	83,5	0	445	0	Час регулювання підвищився
0,67	0,011	83,5	0	∞	∞	Час регулювання перерегулювання максимальне
0,67	0	91,75	0	428	0	Час регулювання збільшився
0,65	0	75,05	0	293	3,25	Вивилося підвищився

Найкращі показники якості система виявила за налаштуваннях регулятора $P = 0,66, I = 0, D = 83,5$. Для регулювання висоти рідини у герметизованому бакові без збурення.

Таблиця 4.2 – Результати досліджень моделі (зі збуренням)

P	I	D	Статична помилка	Час регулювання	Перерегулювання	Примітки.
0,77	0	150	0	632	0	Стартова точка пошуку
0,835	0	150	0	574	0	Час регулювання понизився
0,685	0	150	0	703	0	Час регулювання підвищився
0,835	0,01	150	0	∞	∞	Час регулювання, перерегулювання нескінченно
0,835	0	155	0	633	0	Час регулювання підвищився
0,835	0	127	0	498	0	Час регулювання понизився
0,9175	0	127	0	387	0	Час регулювання підвищився
0,9175	0,01	127	0	∞	∞	Час регулювання та перерегулювання нескінченно
0,9175	0	115	0	292	0	Час регулювання понизився, найкращий результат
1,0091	0	115	0	293	3,29	Час регулювання підвищився та з'явилося перерегулювання
0,9174	0,01	115	0	∞	∞	Час регулювання та перерегулювання нескінченно
0,9174	0	102,7	0	2932	3,32	Час регулювання підвищився, з'явилося перерегулювання

Найкращі показники якості система має при налаштуваннях регулятора $P = 0,9175$, $I = 0$, $D = 115$. Для регулювання висоти рідини у герметизованому бакові зі збуренням .

4.6 Висновки із результатів моделювання

Як задокументовано в дослідженні, можна зробити такі висновки (без гніву):

збільшення відсотка пропорційної складової регулятора суттєво впливає на загальну картину перехідного процесу, відсоток перерегулювання збільшується, а час регулювання залишається постійним.

Як видно з таблиці, збільшення коефіцієнта диференціації в ланках призводить до значного збільшення часу перебудови, при зменшенні коефіцієнта диференціації в ланках час перебудови також зменшується. Проте з'являється зарегульованість.

Відсутність узгодженої помилки можна пояснити наявністю сполучної ланки в ланцюзі управління. Відповідний регулятор вважається ПІД-регулятором. Оптимальними є настройка: ($P = 0,66$, $I = 0$, $D = 83,5$).

Як задокументовано в дослідженні, можна зробити такі висновки: збільшення відсотка пропорційної складової регулятора суттєво впливає на загальну картину перехідного процесу, час регулювання зменшується, а при збільшенні відсотка пропорційної складової регулятора час регулювання збільшується. Після подальшого дослідження процесу виявили, що збільшення відсотка збільшує час, необхідний для регулювання, і з'являється надмірне регулювання.

З таблиці видно, що збільшення коефіцієнта диференціації ланок призводить до значного збільшення часу налагодження, при найбільшому зниженні коефіцієнта виникає перерегулювання і час налагодження збільшується:

- відсутність статичної похибки пояснюється наявністю інтегруючої ланки у колі управління;
- прийнятним регулятором можна вважати схему із ПІД-регулятор;
- оптимальними є налаштування: ($P = 0,9175$, $I = 0$, $D = 115$).

4.7 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі коротко викладено загальний склад системи контролю. Вибрано досліджувану схему керування. Структурна схема системи автоматичного керування складається з типових блоків, які функціонують спільно.

Для розширення параметрів схеми було проведено синтез регуляторів для першого нагрівача, що сприяло вибору найбільш ефективного способу регулювання. Подібні етапи синтезу регулювання були використані для другого та третього нагрівача.

Проведено синтез та проведено дослідження схеми керування.

ВИСНОВКИ

Після отримання магістерського завдання та вивчення всіх вихідних даних була створена система рівнянь для екструдера. Дискретні рівняння виводяться методом скінченних різниць. Усі перехідні функції каналів поєднуються.

Мета полягала в тому, щоб створити три моделі обігрівачів і дослідити їхню поведінку однаковою чином. Встановивши однакові значення для трьох моделей, було виявлено, що друга модель майже точно описує поведінку об'єкта. Тому його рекомендується використовувати в процесі моделювання.

У першому розділі наведено опис екструзії полімерних матеріалів. Приведено опис шнеку та показано типи шнеків, що застосовуються при виробництві деталей полімерів. Наведено етапи екструзії, які складаються з етапів подачі (I), пластифікації (II), дозування розплаву (III) і подальшого просування розплаву через канали формуючої головки.

Описано метод виробництва пластмаси з багаторазовим впорскуванням невеликими партіями у форму. Це найрентабельніший спосіб виробництва пластику, і завдяки цьому близько третини пластику виробляється в країні.

У другому розділі проведено розробку математичної моделі основного елемента екструдера, а саме шнеку. Наведена спрощена конструкція шнеку. Приведено опис конструкції, температурних зон. На основі наведеного опису, виконано розробку математичної моделі різних зон нагріву.

Приведені технологічні характеристики об'єкту дослідження.

У третьому розділі проведено дослідження математичних моделей розроблених у попередньому розділі. Наведені графіки залежностей нагрівання усіх трьох зон нагрівання шнеку від зовнішньої температури. Отримані перехідні характеристики об'єктів дослідження. Досліджена якість апроксимації, та ідентифікація об'єктів. Обрана математична модель для подальшого моделювання.

В четвертому розділі проведено синтез системи управління. Обрана структурна схема керування, яку було досліджено. Структурна схема системи автоматичного керування складається з типових функціональних блоків.

Для подальшого розроблення параметрів схеми проведено синтез регуляторів для першого нагрівача, який дозволив обрати найкращий спосіб регулювання. Аналогічні етапи синтезу регуляторів виконано і для другого нагрівача та для третього нагрівача.

Проведено синтез та виконано дослідження схеми управління.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямком «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.
2. Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Дубік Р. М. Динамічна оптимізація з використанням MATLAB та SIMULINK. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 209 с.
3. Кубрак А.І., Жученко А.І., Кваско М.З. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем. – К., «Політехніка», 2004.
4. Остапенко Ю. О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування./ К.: Задруга, 1999. - 424с.
5. Жученко А.І., Кваско М.З., Кубрак Н.А. Ідентифікація динамічних характеристик. Комп'ютерні методи. - К.: Вид. відд. КЛТКМ та М., 2001. -182с.
6. Коржик М.В. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab / Навч. посібн. для студентів вищих навч. закл. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 174 с.
7. Ладієва Л.Р. Оптимальне керування системами. Навчальний посібник. - К.: НМЦ ВО, 2000.-187с.
8. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування для студ. спец. Напряму 0925 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» ден., заочн. та скороч. форм навчання – К.: НУХТ, 2006. – с
9. Пластмаси, полімери і синтетичні смоли. Хімічні назви. Терміни та визначення : ДСТУ 2406-201. – [Чинний від 01.01.2001]. – К. : Держстандарт України, 2001. – 14 с. – Національний стандарт України

10. Пластмаси. Словник термінів : ДСТУ ISO 472:2008 (ISO 472:1999, IDT). – [Чинний від 01.01.2010]. – К. : Держстандарт України, 2010. – 24 с. – Національний стандарт України
11. [Суберляк О. В.](#) Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. — Львів : Растр-7, 2007. — 375 с.
12. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – Київ, 2006. – 270 с.
13. Дубовик В.П. Вища математика: навч. посібн. / В.П. Дубовик, І.І. Юрик. – Київ: А.С.К., 2005. – 648 с
14. Лавренчук В.П. Вища математика. Загальний курс. Ч.2. Диференційне числення. / В.П. Лавренчук, О.Р. Мартинюк, О.С. Кондур. – Чернівці, Книга – ХХ1, 2010. – 319 с.
15. Дюженкова Л.І. Вища математика: приклади і задачі: навч. посібн. / Л.І. Дюженкова, О.Ю. Дюженкова, Г.О. Міхалін. – Київ, Академія, 2002. – 624 с.
16. Дюженкова Л.І. Математичний аналіз у задачах і прикладах: у 2-х частинах. Ч.1 Навч. посібн. / Л.І. Дюженкова, Т.В. Колесник, М.Я. Лященко та інш. – Київ, Вища школа, 2002. – Ч.1. – 462 с.
17. Автоматика та електропривод техніки реєстрації інформації [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Г. Г. Власюк, В. М. Співак, К. О. Трапезон, В. Б. Швайчен-ко. - Київ : Освіта України, 2010. - 159 с. - Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19129>.
18. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / Ю. П. Колонтаєвський. - Київ : Каравела, 2006. - 384 с.
19. Макаренко В. В. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Акустотехніка» [Електронний ресурс] / В. В.

Макаренко, В. М. Співак ; НТУУ «КПІ». -Київ : НТУУ «КПІ», 2015. - 314 с. -
Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19099>.

20. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теоретичних основ електротехніки: цикл 1./ Укл. А.А. Щерба, В.С. Бойко, В.І. Чибеліс, І.А. Курило.– К., НТУУ "КПІ", 2008. – 28 с.

21. Воробйова О. М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / О. М. Воробйова, Ю. В. Флейта. - Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. - 208 с.

22. Бойко В. І. Мікрокомп'ютерна техніка / В. І. Бойко, А. Т. Нельга. - 2-ге вид. - Київ : Науково-методичний центр вищої освіти, 2008. - 254 с.

23. Метельский В.П. Электричні машини та мікромашини/ В.П. Метельский. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2001. – 600 с

24. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти у 4-х т. Під ред. В. І. Сенька. – Т.1: Елементна база електронних пристроїв. – К.: ТОВ “Видавництво Обереги”, 2000.– 300 с.

25. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.

26. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського.– Вінниця, 2017. -270 с.

27. Щерба А.А., Поворознюк Н.І. Електротехніка. Частина І. Електричні кола.: Посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Київ: ТОВ "Лазурит-Поліграф", 2011. – 384 с.

28. Шевченко В.П. Машини змінного струму: навч. посіб./ В.П. Шевченко, Л.Я. Белікова. – О.: Наука і техніка, 2005. – 270 с.

29. Навчально-методичний посібник з курсу “Електротехніка”. Розділ “Розрахунок лінійних кіл постійного струму” / укл. Щерба А. А., Грудська В. П., Спінул Л.Ю - К.: ІВЦ «Політехніка».- 2004.

30. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.
31. Навчально-методичний посібник “Взаємна індукція у колах змінного струму”. / укл. Щерба А.А., Грудська В. П., Чибеліс В.І., Спінул Л.Ю. - К.: ВПЦ «Політехніка».- 2006.
32. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум. - К.: Каравела, 2003. – 440 с.
33. Монтаж електрообладнання і систем керування / За заг. ред. проф. Яковлева В.Ф. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 348 с.
34. Навчально-методичний посібник з курсу “Електротехніка”. Розділ “Розрахунок лінійних кіл однофазного синусоїдного струму” / укл. Щерба А.А., Грудська В. П., Спінул Л.Ю. - К.: ІВЦ «Політехніка».- 2004.
35. Електроніка і мікропроцесорна техніка / Сенько В.І., Лисенко В.П., Юрченко О.М., Лукін В.Є., Руденський А.А. — К. : «Агроосвіта», 2015. — 676 с.
36. Електропостачання агропромислового комплексу : підруч. / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К. : Аграрна освіта, 2011. – 448 с.
37. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр’єва; за ред. В. І. Мілих. – Харків : ФОП Панов А. М., 2017. – 452 с.
38. Загірняк М.В. Електричні машини : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невзлін. – Київ : Знання, 2009. – 399 с.
39. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 434 с.; іл.

40. Яцун М.А. Електричні машини : навч. посіб. для студ. базового напрямку «Електромеханіка» / М.А. Яцун – 2-ге вид., стер. – Львів : Видво Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 440 с.
41. Електричні машини : підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.
42. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування/ М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. -Київ, “Либідь”, 2007.-504 с.
43. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Підручник/ В.І. Ткачук. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2006. - 440 с.
44. Півняк Г.Г. Сучасні частотно-регульовані електроприводи зі широтно- імпульсною модуляцією: Монографія/ Г.Г. Півняк, О.В Волков.. - Дніпропетровськ, НГУ, 2006. - 470 с.
45. Ісікова, Н. П. Проєктування інформаційних систем [Текст] : навч. посіб. / Н. П. Ісікова, Т. В. Решетняк. — Краматорськ : ДДМА, 2020. — 111 с.
46. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої» для студентів спеціальності 092206 «Електричні машини та апарати» / Уклад.: Ю. С. Грищук, Т. П. Павленко. – Харків : ХДПУ, 2005. – 32 с.
47. Мікропроцесорна техніка : підручник / Ю. І. Якименко, Т. О. Терещенко, Є. І. Сокол та ін. / за ред. Т. О. Терещенко. – Київ : Політехнік, 2003. – 440 с.
48. Електротехніка та електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп’ютерних технологій: Навчальний посібник. / А.А. Щерба, В.М. Рябенький, М.Є. Кучеренко, К.К. Победаш. В.І. Чибеліс, А.Т. Кінаш, Л.В. Солобуто: За заг. ред. А.А. Щерби та В.М. Рябенького. – К.: «Корнійчук», 2007. – 488 с.
49. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко,

О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.

50. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г.,Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.

51. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: У 3 т.; Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2004. – 272 с.

52. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: У 3 т.; Т. 2: Перехідні процеси у лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2008. – 224 с.

53. Петренко І.А. Основи електротехніки та електроніки: Навч. посібник для дистанційного навчання: у 2 ч. – Ч.1: Основи електротехніки. – К.: Університет «Україна», 2006. – 411с. Ч.2: Основи електроніки. – К.: Університет «Україна», 2006. – 307 с.

54. Загальна електротехніка з основами автоматики: Навчальний посібник / Т.В.Левченко. – К., 2010. – 358 с.

55. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.

56. Електричні машини. Навчальний посібник / Г.Г.Півняк, Ф.П.Шкрабець, В.П.Довгань. -Дніпропетровськ,Видавництво Національного гірничого університету, 2003, - 331с.

57. Електроніка та мікросхемотехніка: Навчальний посібник / За ред. проф. В.Ф. Яковлєва. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 329 с.

58. Малинівський С.М. Загальна електротехніка. – Львів: Видавництво Національного ун-ту “Львівська політехніка”, 2001. – 594 с.

59. Андрієнко В.М. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К. : НУХТ, 2010. – 366 с.
60. Довідникова книга з електроенергетики: навчальний посібник/ П.В. Волох, М.П. Цоколенко, Л.В. Ревенко, В.А. Грічаненко та ін. –К. : Аграрна освіта, 2014. – 506 с.
61. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів /Л. Я. Белікова, В. П. Шевченко. – О.: Наука і техніка, 2012.– 480 с.
62. Розрахунок електричних кіл постійного струму. Навчальне видання. / Уклад.: І.А. Курило, І.Н. Намацалюк, А.А. Щерба. – К.: НТУУ “КПІ”, ФЕА, 2006. – 51 с.
63. Ремонт машин та обладнання : підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К. : Агроосвіта, 2014. – 665 с.
64. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 584 с.; іл.
65. Розрахунок електричних кіл синусоїдного однофазного струму. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт. / Уклад.: І.А. Курило, І.Н. Намацалюк, А.А. Щерба. – К.: НТУУ “КПІ”, 2004. – 82 с.
66. Комп'ютери та комп'ютерні технології : навч. посіб. Ч. 1. Програмування в математичному пакеті MathCAD / В.П. Лисенко. І.М. Болбот. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 229 с.
67. Костинюк Л.Д. Моделювання електроприводів/ Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С Паранчук.. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2004. - 404 с.
68. Мілих В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / В.І. Мілих, О.О. Шавьолкін; за ред. В.І.Мілих. – Київ : Каравела, 2012. – 688 с.

69. Васильєва Л.Д., Медведенко Б.І., Якименко Ю.І. Напівпровідникові прилади: Підручник. – К.: ІВЦ, “Видавництво «Політехніка»”, 2003. – 388 с.

70. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теоретичних основ електротехніки: цикл 2./ Укл. А.А. Щерба, В.С. Бойко, В.І. Чибеліс та інші. – К., НТУУ "КПІ", 2008. – 36 с.

Додаток А
**Стаття у фаховому журналі (подана до редакції журналу «Вісник
Хмельницького національного університету»)**

МОРКУН Наталія

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-1261-1170>

МАКАРИШКІН Денис

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>
makaryshkinde@khmnu.edu.ua

КОРЕЦЬКА Людмила

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-4284-4936>

koretskal@khmnu.edu.ua

РОМАНЮК Ю.В.

Хмельницький національний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА ЛИСТОВИХ
ПОЛІМЕРІВ**

В статті розглянуто методи виготовлення листового пластику. Досліджено технологічне обладнання і система керування ним. Розглянуто різні види шнеків що використовуються при виробництві деталей з пластмас. Запропоновано статична модель зони нагріву. Запропоновано і розглянуто математичні моделі різних зон нагріву у диференційній і дискретній формах. Отримані математичні моделі у дискретній формі можуть бути використані для математичного моделювання процесу нагріву пластику під час проходження по шнекові, а також для оптимального налаштування системи керування шнеком і усією установкою виробництва деталей з пластику.

Ключові слова: деталі з пластику, технологічний процес екструзії, система керування, математична модель.

MORKUN Natalia, MAKARYSHKIN Denys, KORETSKA Liudmyla,

ROMANYUK Y.V.

Khmelnyskyi National University

RESEARCH ON METHODS OF AUTOMATED CONTROL OF SHEET POLYMER PRODUCTION

The article discusses methods for manufacturing sheet plastic. The technological equipment and its control system are studied. Various types of screws used in the production of plastic parts are considered. A static model of the heating zone is proposed. Mathematical models of various heating zones in differential and discrete forms are proposed and considered. The obtained mathematical models in discrete form can be used for mathematical modeling of the plastic heating process during passage through the screw, as well as for optimal adjustment of the screw control system and the entire installation for the production of plastic parts.

Keywords: plastic parts, extrusion technological process, control system, mathematical model.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Складність і швидкість технологічних процесів хімічної промисловості, їх чутливість до зміни режиму, а також підвищена ймовірність вибухо- та пожежонебезпечних ушкоджень зумовлюють посилення уваги до автоматизації хіміко-технологічних процесів. Автоматизоване та ефективне керування технологічними процесами забезпечує високу якість продукції, раціональний підхід до використання сировини та енергозбереження, збільшення міжремонтних інтервалів устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу.

Процедура виробництва листових полімерів використовується для створення корисних продуктів з оброблених матеріалів, які потім подаються в екструдер у вигляді капсул. Зокрема, це включає такі речі, як пакети та плівки в харчовій промисловості, труби для зрошення та інших практичних застосувань, які виготовляються з листового полімеру. Таким чином, можна сказати, що виробництво листів полімерів, які вже є популярними, майже повністю складається з переробки вже виготовлених виробів. [1, 2]

Формулювання цілей статті

Метою даного дослідження є ознайомлення з фактичною процедурою виробництва листових полімерів, огляд існуючих математичних моделей процесу виробництва листових полімерів, дослідження температурного діапазону процесу виробництва листових полімерів, розробка спрощеної математичної моделі процесу виробництва листових полімерів, процес виготовлення листових полімерів, а також дослідження механічного та енергетичного стану екструдерів з урахуванням їх заданих атрибуту технологічного регламенту.

Виклад основного матеріалу

Екструзія - це спосіб виготовлення виробів або частин виробів обмеженої довжини в екструдері, який продавлює полімерний розплав через головку форми, яка має канали відповідного профілю. Для цього використовуються екструдери, які використовують шнеки або черв'яки.

Виробництво різних продуктів за допомогою методу екструзії здійснюється шляхом попереднього нагрівання розплаву в екструдері та додавання формованого екструдату однієї з двох основних форм, який потім пропускається через головки створення відповідної конструкції з подальшим охолодженням, перевіркою і т.д. [3]

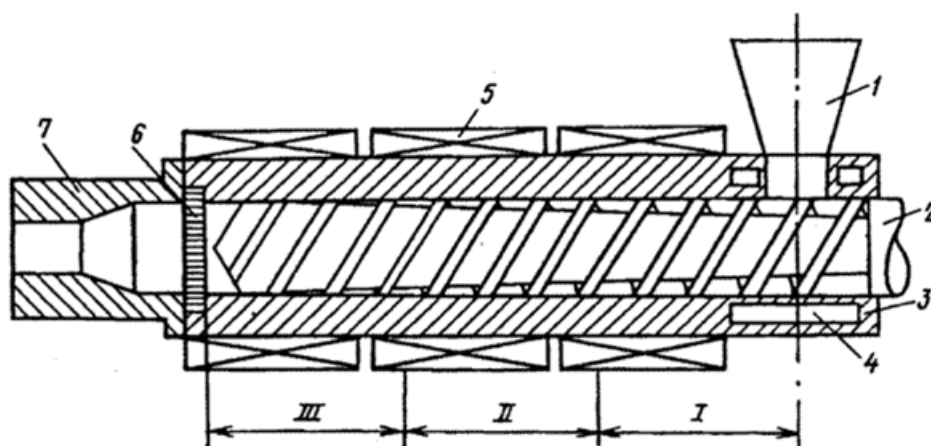


Рис. 1. Схема одношнекового екструдера: 1- бункер; 2- шнек; 3- циліндр; 4 - порожнина для циркуляції води; 5- нагрівач; 6- решітка з сітками; 7- формуюча голівка; I, II, III- технологічні зони.

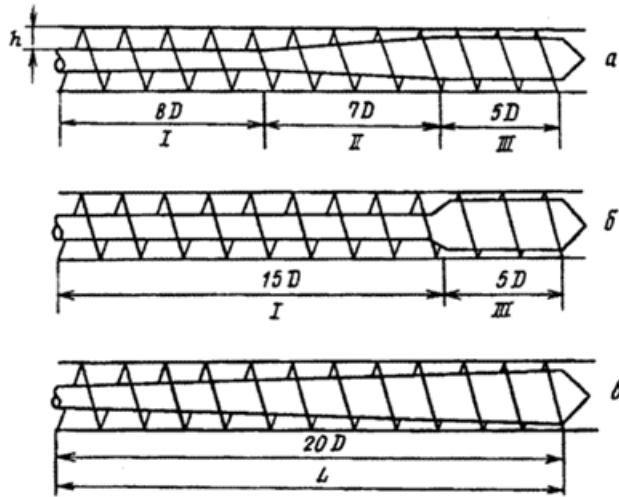


Рис. 2. Основні типи шнеків: а – шнек загального призначення з трьома (I, II, III) геометричними зонами; б – шнек для переробки висококристалічних полімерів (в – шнек для екструзії ПВХ) D – зовнішній діаметр; L – довжина (технологічна) шнека; h – глибина нарізки шнека

Технологічний процес екструзії включає послідовне переміщення компонентів матеріалу обертовою лопаттю в його ділянках (див. рис. 1): подачу (I), пластифікацію (II), дозування розплаву (III) і подальше просування. розплавляються через канали формуючої головки.

Розподіл компонентів шнека на зони I-III базується на технологічному атрибуті та висвітлює основні операції, що виконуються кожною секцією шнека. Поділ шнека на зони залежить від типу полімеру, що переробляється, температури і швидкості процесу, а також інших факторів, початок і кінець окремих операцій можна змішувати вздовж шнека, займаючи різні зони або перехід від однієї секції до іншої. Циліндр також має певну кількість зон з певною довжиною тепла. Довжина цих областей визначається положенням нагрівачів на поверхні та температурою нагрівачів. Межі зон, в яких знаходяться гвинти, і зон, що обігріваються циліндром, не можуть перетинатися. Для полегшення плавного руху матеріалу умови для переміщення твердого матеріалу із зони завантаження бункера в простір під бункером є вирішальними. [3]

Розглянемо поведінку матеріалу послідовно на кожному етапі екструзії. Наповнення сировини. Матеріал для екструзії може подаватися в бункер у вигляді порошку, гранул або стрічок. Кінцевий вид сировини є звичайним для переробки відходів виробництва плівок і проводиться на спеціальних екструдерах, які мають живильники, встановлені в пазі. Послідовне дозування матеріалу з бункера відповідає за високу якість екструдату.

Переробка полімерів у вигляді гранул є найефективнішим способом живлення екструдера. Пов'язують це з тим, що полімерні гранули менш схильні до «зависання», утворення заторів в бункері, ніж порошок.

Порошкоподібний матеріал може згрупуватися під час зберігання або транспортування, особливо це стосується матеріалів, які проходять через бункер. На відміну від порошку, гранульований матеріал має одиничну насипну масу, яка є постійною. Завантаження міжоборотного простору під лійкою бункера здійснюється на відрізок довжини шнека, що дорівнює (1 - 1,5) D. При обробці декількох компонентів використовуються окремі дозатори для їх завантаження в бункер: шнековий (об'ємний), вібраційний, ваговий і так далі. Якщо при використанні порошкоподібних матеріалів останні мають нестійку плинність, то в бункерах утворюються «склепіння», які кріпляться до стінок бункера, забезпечуючи гвинт великою кількістю матеріалу. Щоб уникнути це, важливо включити в бункер мішалки. Об'єм речовини залежить від вологості: чим вище вологість, тим менше об'єм. У результаті речовини спочатку необхідно висушити.

Щоб підвищити ефективність машини, пелети можна попередньо нагріти. Використання пристрою для примусової подачі матеріалу з бункера в шнек також підвищує ефективність роботи машини (до 3 разів).

Коли матеріал додається в міжоборотний простір шнека, повітря, що вийшло, повертається через бункер. Якщо процес видалення повітря не завершено, повітря, що залишилося, залишиться в розплаві та створить порожнини в продукті після формування. Це процес, за допомогою якого створюються дефектні продукти.

Зміна об'єму матеріалу в бункері впливає на ступінь його заповнення в шнеку. У результаті бункер оснащений спеціальним автоматичним рівнеміром, який використовується для розміщення матеріалу бункера на бажаному рівні. Завантаження екструдера здійснюється за допомогою пневмотранспорту.

Процес подачі шнека залежить від форми частинок сировини та їх об'ємної щільності. Гранули, що утворюються в процесі різання на гарячій решітці гранулятора, не мають гострих кутів і країв, що сприяє їх більшій сипучості. Окатиші, отримані холодним різанням прутка, мають гострі кути, плоский профіль, що сприяє їх крипленню і, як наслідок, меншій сипучості. Під час тривалої роботи екструдера температура циліндра під лійкою бункера може перевищуватись. У цьому випадку гранули почнуть групуватися разом, і подача в шнек припиниться. Для запобігання перегріву цієї частини циліндра в ній створені канали для потоку охолоджуючої води. [4, 5]

Зона потужності (I). Невеликі височини в основі сходів зони I ущільнюються від вхідних отворів бункера для гранул. Ущільнення і пресування гранул в зоні I зазвичай викликані зменшенням глибини різального механізму шнека. Руху гранул сприяє різниця в силі тертя між полімером по внутрішній поверхні циліндра і поверхні гвинта. Оскільки поверхня контакту полімеру з поверхнею шнека більша за поверхню циліндра, зменшення коефіцієнта тертя полімеру по шнеку призведе до того, що матеріал не буде рухатися вздовж осі шнека, а обертатиметься разом з ним. Це досягається підвищенням температури стінки циліндра (нагрівання) і зниженням температури шнека (охолодження води в зоні I). У зоні I велике внутрішнє і зовнішнє тертя викликає виділення тепла, яке також витрачається на нагрівання матеріалу. Ця ж область забезпечується теплом через нагрівачі, розташовані по колу циліндра. Іноді внутрішнього виділення тепла може бути достатньо для розплавлення полімеру, тоді нагрівачі вимикаються. Такий режим називається адіабатичним. У більшості випадків процедури не дотримуються цього принципу. Якщо температура циліндра така, що полімер передчасно розплавиться на його границях, то матеріал буде ковзати по цій поверхні, тобто він також буде обертатися разом із гвинтом. Рух матеріалу стає більш поступальним. При температурі, яка є найбільш ефективною, полімер нагрівається, ущільнюється і утворює міцний бар'єр у просторі між витками. Найефективніше створювати змінну пробку на межі I та II зон. Характеристики пробки істотно впливають на продуктивність машини, стабільність транспортування полімеру, максимальний тиск тощо.

Щорічно у світі виробляється до 180 тонн різних пластмас, які використовуються для створення споживчих товарів, упаковки та одягу. Термін служби пластикових виробів зазвичай становить від кількох хвилин до кількох років (якщо мова, наприклад, про упаковку).

Крім того, період розкладання більшості полімерів обмежений кількома сотнями років, в результаті на Землі все більше накопичується пластикове сміття.

Сучасне виробництво має інший підхід: замість того, щоб створювати новий пластик, вони беруть пластикові відходи зі своїх поточних продуктів і створюють замітники, які не поступаються новому пластику.

Метод екструзії використовується в кожному виробництві, цим методом переробляють не більше 50% термопластів. Екструзія дозволяє виготовляти з ПВХ такі матеріали:

- плівки;
- листи;
- труби;
- шланги;
- капіляри;
- прутки;
- сайдинг;
- профільну продукцію незалежно від ступеня складності і конфігурації;
- нанесення полімерного матеріалу на елементи електропроводів;

- виготовлення багатошарових елементів і деталей.

Найпоширенішим методом виробництва пластмаси є багаторазове впорскування невеликими партіями у форму. Це найрентабельніший спосіб виробництва пластику, і завдяки цьому близько третини пластику виробляється в країні. Гранули є вихідними матеріалами для процесу плавлення, після чого вони передаються на спеціальні машини для формування.

При виготовленні пластмас методом лиття під тиском використовуються термопластавтомати. Основними функціями автоматичних виробників є: подрібнення гранул, нагрівання полімерної маси, литникова система, яка перенаправляє нагрітий полімер у форму для формування.

Багато компаній намагаються усунути відходи від виробництва пластикових виробів, вони також використовують машини та обладнання для обробки шматків, що залишилися. [4, 5]

Основні функціональні властивості АБС-пластику $(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$:

- щільність - 1,02 - 1,08 г / см³
- міцність при стисненні - 46 - 80 МПа
- міцність при розтягуванні - 35 - 50 МПа
- міцність при вигині - 50 - 87 МПа
- модуль пружності при розтягуванні при 23 ° С - 1700 - 2930 МПа
- відносне подовження - 10 - 25%
- усадка (при виготовленні виробів) - 0,4 - 0,7%
- вологопоглинання - 0,2 - 0,4%
- ударна в'язкість по Шарлі (з надрізом) - 10 - 30 кДж / м²
- твердість по Бринеллю - 90 - 150 МПа
- температура розм'якшення - 90 - 105 ° С
- теплостійкість по Мартенсу - 86 - 96 ° С
- максимальна температура тривалої експлуатації - 75 - 80 ° С
- діапазон технологічних температур - 200 - 260 ° С
- діелектрична проникність при 106 Гц - 2,4 - 5,0
- тангенс кута діелектричних втрат при 106 Гц - (3 - 7) x10⁻⁴
- питомий об'ємний електричний опір - 5x10¹³ Ом / м
- електрична міцність - 12 - 15 МВ / м
- температура самозаймання - 395 ° С

Екструдер можна показати як математичне представлення, як показано на рис.3.

Оскільки фізичні процеси в трьох областях різні, ми створимо для них 3 окремі математичні моделі: зони нагріву, плавлення та гомогенізації. [6, 7]

Теплове рівняння теплового балансу у екструдері буде таким:

$$\frac{Qn(x,t)}{ln} dx - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * dx * [\theta k(x,t) - \theta p(x,t)] - \alpha_0 * 2\pi * r_3 * dx * [\theta k(x,t) - \theta_{os}] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta k(x,t)}{\partial x^2} = \frac{M_k}{lk} * dx * c_k * \frac{\partial \theta k(x,t)}{\partial t}$$

де в дискретній формі, перетворивши, отримаємо:

$$\frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta k_{s,k} - \theta p_{s,k}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta k_{s,k} - \theta_{os}) + \alpha_k \frac{\theta k_{s+1,k} - 2\theta k_{s,k} + \theta k_{s-1,k}}{hx^2} = \frac{M_k * c_k}{lk} * \frac{\theta k_{s,k+1} - \theta k_{s,k}}{T}$$

$$\theta_{k,s,k+1} = \theta_{k,s,k} + \frac{lk}{M_k * c_k} * \left[\frac{Q_{n,s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta_{k,s,k} - \theta_{p,s,k}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta_{k,s,k} - \theta_{os}) + \alpha_k \frac{\theta_{k,s+1,k} - 2\theta_{k,s,k} + \theta_{k,s-1,k}}{hx^2} \right]$$

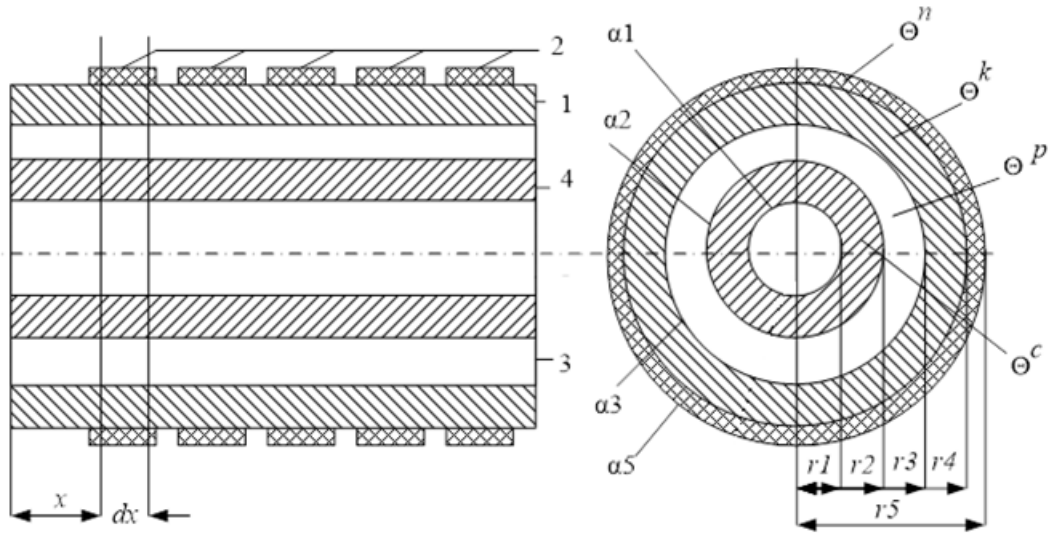


Рис. 3. Схематичне зображення конструкції розрахункової частини екструдера
1 – корпус циліндра екструдера; **2** – нагрівачі; **3** – полімер; **4** – шнек; dx – елементарний об’єм, Θ^n – температура нагрівача, Θ^k – температура корпусу екструдера, Θ^p – температура полімеру, Θ^c – температура черв’яка (шнеку), α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від черв’яка до води, α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від полімеру до черв’яка, α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від корпусу до полімеру, α_5 – коефіцієнт тепловіддачі від нагрівача до повітря, r_1 – внутрішній радіус черв’яка, r_2 – еквівалентний зовнішній радіус черв’яка, r_3 – внутрішній радіус корпусу, r_4 – зовнішній радіус корпусу, r_5 – зовнішній радіус нагрівача

Рівняння теплового балансу для полімеру буде наступним:

Під час нагрівання полімеру:

$$V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t) - \left[V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t) + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t)] dx}{\partial x} \right] + \alpha_1 * 2\pi r_2 * dx [\theta k(x, t) - \theta p(x, t)] - \alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta p(x, t) - \theta s(x, t)] + \frac{Q_d dx}{L} = \frac{dx * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t)}{\partial t}$$

В дискретному вигляді

$$V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p_{s,k} - \left[V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p_{s,k} + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s+1,k} - \theta p_{s,k})] dx}{hx} \right] + \alpha_1 * 2\pi r_2 * dx [\theta r_{s,k} - \theta p_{s,k}] - \alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}] + \frac{Q_d dx}{L} = \frac{dx * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s,k+1} - \theta p_{s,k})}{T}$$

$$\theta_{p_{s,k+1}} = \theta_{p_{s,k}} + \frac{T}{\pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p} * \left[\frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta_{p_{s+1,k}} - \theta_{p_{s,k}})]}{hx} + \alpha_1 * 2\pi r_2 * [\theta_{r_{s,k}} - \theta_{p_{s,k}}] - \alpha_2 * 2\pi r_1 * [\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}] + \frac{Q_d}{L} \right]$$

За початкових умов:

$$\theta_{p_{s,0}} = \theta_{p_{vh}}$$

Рівняння теплового балансу для шнеку має вид:

$$\alpha_1 * 2\pi * r_1 * dx * [\theta p(x,t) - \theta s(x,t)] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta s(x,t)}{\partial x^2} = \frac{M_s}{l_s} * dx * c_s * \frac{\partial \theta s(x,t)}{\partial t}$$

Де у дискретному виді маємо:

$$\begin{aligned} \alpha_2 * 2\pi * r_1 * (\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}) &= \frac{M_s * c_s}{l_s} * \frac{\theta_{s_{s,k+1}} - \theta_{s_{s,k}}}{T} + \alpha_s \frac{\theta_{s_{s+1,k}} - 2\theta_{s_{s,k}} + \theta_{s_{s-1,k}}}{hx^2} \\ \theta_{s_{s,k+1}} &= \theta_{s_{s,k}} + \frac{ls}{M_s * c_s} * \left[\alpha_2 * 2\pi r_1 * (\theta_{p_{s,k}} - \theta_{s_{s,k}}) + \alpha_s \frac{\theta_{s_{s+1,k}} - 2\theta_{s_{s,k}} + \theta_{s_{s-1,k}}}{hx^2} \right] \end{aligned}$$

За початкових умов:

$$\theta_{s_{s,0}} = \theta_{s_{s,1}}$$

Після цього рівняння теплового балансу у екструдері буде наступним:

$$\frac{Qn(x,t)}{ln} dx - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * dx * [\theta k(x,t) - \theta p(x,t)] - \alpha_0 * 2\pi * r_3 * dx * [\theta k(x,t) - \theta_{os}] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta k(x,t)}{\partial x^2} = \frac{M_k}{lk} * dx * c_k * \frac{\partial \theta k(x,t)}{\partial t}$$

де в дискретній формі, перетворивши, отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta_{k_{s,k}} - \theta_{p_{s,k}}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta_{k_{s,k}} - \theta_{os}) &+ \alpha_k \frac{\theta_{k_{s+1,k}} - 2\theta_{k_{s,k}} + \theta_{k_{s-1,k}}}{hx^2} = \frac{M_k * c_k}{lk} * \frac{\theta_{k_{s,k+1}} - \theta_{k_{s,k}}}{T} \\ \theta_{k_{s,k+1}} &= \theta_{k_{s,k}} + \frac{lk}{M_k * c_k} * \left[\frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta_{k_{s,k}} - \theta_{p_{s,k}}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta_{k_{s,k}} - \theta_{os}) + \alpha_k \frac{\theta_{k_{s+1,k}} - 2\theta_{k_{s,k}} + \theta_{k_{s-1,k}}}{hx^2} \right] \end{aligned}$$

Рівняння теплового балансу у полімері буде відповідати наступним рівнянням.

Полімерна маса складається з розплавленого матеріалу.

$$\begin{aligned} \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x,t)] dx * \partial t}{Rp * \partial x} &+ \frac{\alpha_1 * 2\pi r_2 * dx [\theta k(x,t) - \theta p(x,t)] * \partial t}{Rp} \\ - \frac{\alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta p(x,t) - \theta s(x,t)] * \partial t}{Rp} &+ \frac{Q_d dx * \partial t}{Rp * L} \\ &= \frac{d(mp(x,t))}{dt} \end{aligned}$$

Коефіцієнт складу розплаву у полімері можна знайти як:

$$\frac{d(Fp(x, t))}{dt} = \frac{mp(x, t)}{\pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p dx}$$

У дискретному виді

$$\begin{aligned} & \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s+1,k} - \theta p_{s,k})] dx T}{Rp * hx} \\ & + \frac{\alpha_1 * 2\pi r_2 * dx [\theta r_{s,k} - \theta p_{s,k}] T}{Rp} - \frac{\alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}] T}{Rp} \\ & + \frac{Q_d dx T}{Rp * L} = \frac{(mp_{s,k+1} - mp_{s,k})}{T} \\ mp_{s,k+1} = mp_{s,k} & + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s+1,k} - \theta p_{s,k})] dx T^2}{Rp * hx} \\ & + \frac{\alpha_1 * 2\pi r_2 * dx [\theta r_{s,k} - \theta p_{s,k}] T^2}{Rp} - \frac{\alpha_2 * 2\pi r_1 * dx [\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}] T^2}{Rp} \\ & + \frac{Q_d dx T^2}{Rp * L} \\ Fp_{s,k+1} = Fp_{s,k} & + \frac{T mp_{s,k}}{\pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p hx} \end{aligned}$$

За початкових умов:

$$mp_{s,0} = 0$$

$$Fp_{s,0} = 0$$

Рівняння теплового балансу шнеку набуває вигляду:

$$\begin{aligned} & \alpha_1 * 2\pi * r_1 * dx * [\theta p(x, t) - \theta s(x, t)] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta s(x, t)}{\partial x^2} \\ & = \frac{M_s}{l_s} * dx * c_s * \frac{\partial \theta s(x, t)}{\partial t} \end{aligned}$$

У дискретному виді отримуємо:

$$\begin{aligned} & \alpha_2 * 2\pi * r_1 * (\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}) \\ & = \frac{M_s * c_s}{l_s} * \frac{\theta s_{s,k+1} - \theta s_{s,k}}{T} + \alpha_s \frac{\theta s_{s+1,k} - 2\theta s_{s,k} + \theta s_{s-1,k}}{hx^2} \\ \theta s_{s,k+1} = \theta s_{s,k} & + \frac{l_s}{M_s * c_s} \\ & * \left[\alpha_2 * 2\pi r_1 * (\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}) + \alpha_s \frac{\theta s_{s+1,k} - 2\theta s_{s,k} + \theta s_{s-1,k}}{hx^2} \right] \end{aligned}$$

За початкових умов:

$$\theta s_{s,0} = \theta s_{s,1}$$

Після такого перетворення теплове рівняння теплового балансу у екструдері буде наступним:

$$\begin{aligned} & \frac{Qn(x, t)}{ln} dx - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * dx * [\theta k(x, t) - \theta p(x, t)] - \alpha_0 * 2\pi * r_3 * dx \\ & * [\theta k(x, t) - \theta os] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta k(x, t)}{\partial x^2} = \frac{M_k}{lk} * dx * c_k * \frac{\partial \theta k(x, t)}{\partial t} \end{aligned}$$

де в дискретній формі, після проведення перетворень, отримаємо:

$$\begin{aligned} & \frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta k_{s,k} - \theta p_{s,k}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta k_{s,k} - \theta os) \\ & + \alpha_k \frac{\theta k_{s+1,k} - 2\theta k_{s,k} + \theta k_{s-1,k}}{hx^2} = \frac{M_k * c_k}{lk} * \frac{\theta k_{s,k+1} - \theta k_{s,k}}{T} \\ \theta k_{s,k+1} = \theta k_{s,k} & + \frac{lk}{M_k * c_k} \\ & * \left[\frac{Qn_{s,k}}{ln} - \alpha_1 * 2\pi * r_2 * (\theta k_{s,k} - \theta p_{s,k}) - \alpha_0 * 2\pi r_3 * (\theta k_{s,k} - \theta os) \right. \\ & \left. + \alpha_k \frac{\theta k_{s+1,k} - 2\theta k_{s,k} + \theta k_{s-1,k}}{hx^2} \right] \end{aligned}$$

Рівняння для теплового балансу у полімері буде відповідати таким рівнянням.

Під час нагрівання пластику:

$$\begin{aligned}
& V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t) \\
& - \left[V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t) \right. \\
& \left. + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t)] dx}{\partial x} \right] + \alpha_1 2\pi r_2 \\
& * dx [\theta k(x, t) - \theta p(x, t)] - \alpha_2 2\pi r_1 * dx [\theta p(x, t) - \theta s(x, t)] \\
& = \frac{dx * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p(x, t)}{\partial t}
\end{aligned}$$

У дискретному виді

$$\begin{aligned}
& V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p_{s,k} \\
& - \left[V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * \theta p_{s,k} \right. \\
& \left. + \frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s+1,k} - \theta p_{s,k})] dx}{hx} \right] \\
& + \alpha_1 2\pi r_2 * dx [\theta r_{s,k} - \theta p_{s,k}] - \alpha_2 2\pi r_1 * dx [\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}] \\
& = \frac{dx * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s,k+1} - \theta p_{s,k})}{T} \\
\theta p_{s,k+1} & = \theta p_{s,k} + \frac{T}{\pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p} \\
& * \left[\frac{\theta * [V_p * \pi * (r_2^2 - r_1^2) * \rho_p * C_p * (\theta p_{s+1,k} - \theta p_{s,k})]}{hx} + \alpha_1 2\pi r_2 \right. \\
& \left. * [\theta r_{s,k} - \theta p_{s,k}] - \alpha_2 2\pi r_1 * [\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}] \right]
\end{aligned}$$

За початкових умов:

$$\theta p_{s,0} = \theta p_{vh}$$

Рівняння теплового балансу для шнеку буде виглядати:

$$\begin{aligned}
& \alpha_1 * 2\pi * r_1 * dx * [\theta p(x, t) - \theta s(x, t)] + \alpha_k \frac{\partial^2 \theta s(x, t)}{\partial x^2} \\
& = \frac{M_s}{l_s} * dx * c_s * \frac{\partial \theta s(x, t)}{\partial t}
\end{aligned}$$

Де у дискретному виді отримуємо:

$$\begin{aligned}
& \alpha_2 * 2\pi * r_1 * (\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}) \\
& = \frac{M_s * c_s}{l_s} * \frac{\theta s_{s,k+1} - \theta s_{s,k}}{T} + \alpha_s \frac{\theta s_{s+1,k} - 2\theta s_{s,k} + \theta s_{s-1,k}}{hx^2} \\
\theta s_{s,k+1} & = \theta s_{s,k} + \frac{l_s}{M_s * c_s} \\
& * \left[\alpha_2 * 2\pi r_1 * (\theta p_{s,k} - \theta s_{s,k}) + \alpha_s \frac{\theta s_{s+1,k} - 2\theta s_{s,k} + \theta s_{s-1,k}}{hx^2} \right]
\end{aligned}$$

При початкових умовах:

$$\theta s_{s,0} = \theta s_{s,1}$$

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В статті розглянуто методи виготовлення листового пластику. Досліджено технологічне обладнання і система керування ним. Розглянуто різні види шнеків що використовуються при виробництві деталей з пластмас. Запропоновано статична модель зони нагріву. Запропоновано і розглянуто математичні моделі різних зон нагріву у диференційній і дискретній формах. Отримані математичні моделі у дискретній формі можуть бути використані для математичного моделювання процесу нагріву пластику під час проходження по шнекові, а також для оптимального налаштування системи керування шнеком і усією установкою виробництва деталей з пластику.

Література

1. Технології виготовлення деталей з гуми та пластмас. Основи проектування деталей Навчальний посібник з вибіркової компоненти відноситься до циклу професійної та практичної підготовки освітньо-професійного рівня «бакалавр з інженерної механіки» для студентів галузі знань 13 Механічна інженерія, спеціальності 131 Прикладна механіка усіх форм навчання. / Уклад. Злочевська Н.К., Тітов В.А.– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
2. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – Київ, 2006. – 270 с.
3. Суберляк О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. — Львів : Растр-7, 2007. — 375 с.
4. Дубовик В.П. Вища математика: навч. посібн. / В.П. Дубовик, І.І. Юрик. – Київ: А.С.К., 2005. – 648 с
5. Лавренчук В.П. Вища математика. Загальний курс. Ч.2. Диференційне члення. / В.П. Лавренчук, О.Р. Мартинюк, О.С. Кондур. – Чернівці, Книга – ХХ1, 2010. – 319 с.
6. Дюженкова Л.І. Вища математика: приклади і задачі: навч. посібн. / Л.І. Дюженкова, О.Ю. Дюженкова, Г.О. Міхалін. – Київ, Академія, 2002. – 624 с.
7. Дюженкова Л.І. Математичний аналіз у задачах і прикладах: у 2-х частинах. Ч.1 Навч. посібн. / Л.І. Дюженкова, Т.В. Колесник, М.Я. Лященко та інш. – Київ, Вища школа, 2002. – Ч.1. – 462 с.

References

1. Tekhnolohii vyhotovlennia detalei z humy ta plastmas. Osnovy proektuvannia detalei Navchalnyi posibnyk z vybirkovoi komponenty vidnosytsia do tsyклу profesiinoi ta praktychnoi pidhotovky osvithnoprofesiinoho rivnia «bakalavr z inzhenernoi mekhaniky» dlia studentiv haluzi znan 13 Mekhanichna inzheneriia, spetsialnosti 131 Prykladna mekhanika usikh form navchannia. / Uklad. Zlochevska N.K., Titov V.A.– Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. – 70 s.
2. Suberliak O.V. Tekhnolohiia pererobky polimernykh ta kompozytsiinykh materialiv / O.V. Suberliak, P.I. Bashtannyk. – Kyiv, 2006. – 270 s.
3. Suberliak O. V. Tekhnolohiia pererobky polimernykh ta kompozytsiinykh materialiv : pidruch. [dlia stud. vyshch. navch. zakl.] / O. V. Suberliak, P. I. Bashtannyk. — Lviv : Rastr-7, 2007. — 375 s.
4. Dubovyk V.P. Vyshcha matematyka: navch. posibn. / V.P. Dubovyk, I.I. Yuryk. – Kyiv: A.S.K., 2005. – 648 s
5. Lavrenchuk V.P. Vyshcha matematyka. Zahalnyi kurs. Ch.2. Dyferentsiine chslennia. / V.P. Lavrenchuk, O.R. Martyniuk, O.S. Kondur. – Chernivtsi, Knyha – KhKh1, 2010. – 319 s.
6. Diuzhenkova L.I. Vyshcha matematyka: pryklady i zadachi: navch. posibn. / L.I. Diuzhenkova, O.Iu. Diuzhenkova, H.O. Mikhalin. – Kyiv, Akademiia, 2002. – 624 s.
7. Diuzhenkova L.I. Matematychnyi analiz u zadachakh i prykladakh: u 2-kh chastynakh. Ch.1 Navch. posibn. / L.I. Diuzhenkova, T.V. Kolesnyk, M.Ia. Liashchenko ta insh. – Kyiv, Vyshcha shkola, 2002. – Ch.1. – 462 s.

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Романюк Юрій Володимирович

Тема: Метод автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 85

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка методу автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі розглядається видалення полімерних речовин. Перераховані стадії екструзії, до яких відносяться процес подачі (I), пластифікації (II), дозування розплаву (III) і подальше просування розплаву по каналах формуючої головки. Пояснюється метод виробництва пластику, який передбачає багаторазове впорскування невеликих кількостей у форму. У другому розділі проведено розробку математичної моделі основного елементу екструдеру, а саме шнеку. Наведена спрощена конструкція шнеку. Приведено опис конструкції, температурних зон. На основі наведеного опису, виконано розробку математичної моделі різних зон нагріву. У третьому розділі проведено дослідження математичних моделей розроблених у попередньому розділі. Наведені графіки залежностей нагрівання усіх трьох зон нагрівання шнеку від зовнішньої температури. Отримані перехідні характеристики об'єктів дослідження. Досліджена якість апроксимації, та ідентифікація об'єктів. Обрана математична модель для подальшого моделювання. У четвертому розділі викладено загальний склад системи контролю. Вибрано досліджувану схему керування. Для розширення параметрів схеми було проведено синтез регуляторів для першого нагрівача, що сприяло вибору найбільш ефективного способу регулювання. Подібні етапи синтезу регулювання були використані для другого та третього нагрівача. Проведено синтез та проведено дослідження схеми керування.
4. Позитивні сторони роботи: розроблено метод автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється огляду існуючих технічних рішень

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

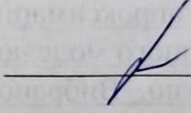
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,50/В)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки ПДДА
Ріфа Юфійвна

“18” 12 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТгаР
д-ру техн. наук, проф. Мартинюку В.В.

Романюк Юрій Володимирович

ПШБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРМ-23-1

ЗАЯВА

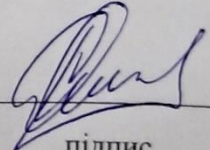
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2024 року

дата


підпис

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Юрій РОМАНЮК

Співавтор:

Назва: МКР Романюк

Науковий керівник: Наталія МОРКУН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:12.8%

Коефіцієнт подібності 2:5.3%

Мікропробіли: 16

Заміна букв: 5

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2024-12-19 10:21:44.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

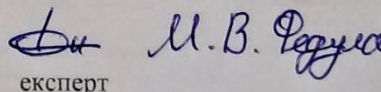
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-12-19

Дата


експерт

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 6.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилки в документах: 11%**

ID: 161272 Назва: МКР Метод автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів Додано в БД: 2024-12-19 Автора: Юрій РОМАНЮК Керівники: Наталія МОРКУН Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	68454	584	4964 (7%)	46 (8%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод автоматизованого керування екструдером при виробництві листових полімерів

Автор: Романюк Юрій Володимирович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Моркун Наталія Володимирівна, доктор технічних наук, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

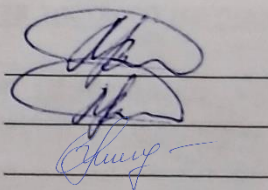
3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 12,8% і адресується до 25 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Наталія МОРКУН