

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «**Автоматизована система керування процесом виготовлення Petg
тари**»

Здобувача групи СУ.м-21

Нагорний Андрій Анатолійович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Андрій Нагорний

Керівник завідувач кафедри КСУ, к.т.н.

Петро Леонтєв

Консультант

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

_____ Леонт'єв П. В.

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Нагорного Андрія Анатолійовича

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система керування процесом виготовлення Petg тари. Затверджена наказом ректора СумДУ. №1097-VI від “09” жовтня 2023 р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 16 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація, список літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу тощо.

4. Зміст кваліфікаційної роботи: Аналіз предметної області, технологічна характеристика системи виготовлення petg тари, вимоги до автоматизованої системи керування системи виготовлення petg тари, алгоритм роботи автоматичної системи управління системи виготовлення petg тари, автоматизована система насосного агрегата, варіанти оптимізації різних компонентів системи, описання нейромереж, моделювання системи в середовищі Matlab, підбір та налаштування регуляторів, аналіз отриманих даних.

5. Перелік графічних матеріалів: 32 рисунка, 6 таблиць.

6. Календарний план виконання роботи

Номер Етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	13.09.2023 – 14.10.2023
2	Аналіз предметної області. Область застосування.	13.10.2023 – 15.11.2023
3	Аналіз системи виготовлення petg тари	14.11.2023 – 01.11.2023
4	Розробка автоматизованої системи системи виготовлення petg тари.	02.11.2023 – 17.11.2023
5	Вибір засобів автоматизації.	16.11.2023 – 01.12.2023
6	Моделювання системи та аналіз отриманих даних	01.12.2023 – 12.12.2023
7	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	13.12.2023 – 20.12.2023

7. Дата видачі завдання "14 " вересня 2023 р.

Керівник проекту:

Завідувач кафедри КСУ, к.т.н.

Леонт'єв П. В.

Здобувач:

студент групи СУ.м – 21 _____

Нагорний А. А.

АНОТАЦІЯ

Нагорний Андрій Анатолійович. "Автоматизована система керування процесом виготовлення PETG тари". Дипломний проект. Сумський державний університет, Суми, 2023 рік.

Дипломний проект охоплює 61 сторінок пояснювальної записки, 32 рисунків, 6 таблиць та 5 схем. Під час його розробки було використано 6 літературних джерел.

Цей дипломний проект зосереджений на розробці та описі системи управління для автоматизації процесу виробництва PETG пляшок. Було створено технічне завдання, основні технічні креслення та алгоритми роботи. У рамках проекту була розроблена система управління, призначена для використання у виробництві тари з PETG.

Ключові слова: система керування, PET, PETG, тара, пляшки, нейромережі.

ABSTRACT

Andrii Nagorny. "Automated control system of PETG containers manufacturing process". Diploma project. Sumy State University, Sumy, 2023.

The diploma project includes 61 pages of explanatory note, 32 figures, 6 tables, 5 appendices. During its development, 6 of literary sources were used.

This thesis project focuses on the development and description of a control system to automate the PETG bottle production process. A technical specification, basic technical drawings, and work algorithms were created. As part of the project, a control system was developed for use in the production of PETG containers.

Keywords: control system, PET, PETG, packaging, bottles.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	3
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	5
1.1 Переваги ПЕТ тари	5
1.2 Методи виготовлення преформи та ПЕТ тари.....	6
1.3 Технологія виготовлення ПЕТ тари.....	7
1.4 Характеристики та різновиди ПЕТФ-преформ.....	8
1.5 Конструкція преформи.....	9
1.6 Процес виробництва готової тари з преформ	14
1.7 Обладнання для виготовлення ПЕТ тари	16
1.8 Існуючі проблеми в виробництві	25
1.9 Висновок.....	26
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	27
2.1 Оптимізація процесу лиття: Аналіз та покращення ливарної машини.	28
2.2 Оптимізація процесу розігріву: Аналіз та покращення станції розігріву	30
2.3 Оптимізація процесу видуву: Аналіз та покращення станції видуву.....	31
2.4 Банк. Оптимізація процесу складування тари	33
2.5 Вибір компонента для оптимізації.....	34
2.6 Варіанти нейронних мереж, та вибір.....	35
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ	37
3.1 Станція розігріву ПЕТФ-преформи	37
3.2 Технологічний розрахунок станції розігріву	39
3.3 Моделювання процесу розігріву ПЕТ-заготовки	41
3.4 Математична модель розігріву ПЕТ-заготовки	44
3.5 Математична модель ливарної машини	47
3.6 Математична модель станції видуву	50
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ НАГРІВАЧА	52
4.1 Впровадження нейромережі	52
4.2 Аналіз та синтез регулятора для управління роботою нагрівача.....	55
4.3 Висновок до розділу	57
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

АСУ – автоматизована система управління

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

САУ – система автоматичного управління

ОУ – об'єкт управління

СУ – система управління

ПЗО – пристрої зв'язку з об'єктом

ФСА – Функціональна схема автоматизації

ПК – пристрій керування

ВП – виконавчий пристрій

КВП – контрольно-вимірювальні прилади

АВР – автоматичне включення резерву

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

МПСА – мікропроцесорна система автоматизації

ПЕТ – Поліетилентерефталат

КЕ – керівництво по експлуатації

ВСТУП

Виготовлення ПЕТФ тари є значущим і перспективним напрямком у сучасній промисловості, оскільки цей матеріал знаходить широке застосування у різних галузях.

Мета цієї роботи полягає у розробці та вдосконаленні технологічних процесів виробництва ПЕТФ упаковки, з акцентом на підвищення її продуктивності та ефективності. Предметом дослідження є детальний аналіз існуючих методів виготовлення ПЕТФ тари та розробка нових технічних рішень для оптимізації цього процесу.

В роботі будуть розглянуті ключові етапи виготовлення ПЕТФ тари, починаючи від вибору сировини та закінчуючи кінцевою обробкою продукту. Особливу увагу буде приділено вивченню та впровадженню новітніх технологій у виробничий процес, що дозволить підвищити якість кінцевого продукту.

У дипломній роботі також буде зосереджено увагу на методах контролю якості виробленої ПЕТФ тари, що є важливим аспектом для забезпечення високих стандартів продукції. Завершальна частина роботи міститиме підсумки проведених досліджень, а також обговорення можливостей подальшого розвитку і вдосконалення технологій виробництва ПЕТФ тари.

РОЗДІЛ 1 ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Переваги ПЕТ тари

ПЕТ-поліетилентерефталат - матеріал з численними перевагами. Ось деякі з них:

Легкість: Пляшка з ПЕТ ємністю 0,5 літра має вагу приблизно 30 грам, в той час як аналогічна скляна пляшка важить близько 350 грам.

Прозорість: ПЕТ-пляшки відрізняються своєю прозорістю, що робить їх ідеальними для розливу напоїв, особливо газованих. Їх можна забарвити в різні кольори, такі як блакитний або зелений, для задоволення потреб споживачів в естетиці.

Міцність і безпека: Пластикові пляшки не ламаються, як скло, знижуючи ризик пошкодження під час транспортування.

Гігієнічність: Пластикові пляшки герметично закриваються, перешкоджаючи потраплянню сторонніх часток, на відміну від поверхонь банок, які можуть бути запилені і вимагають очищення перед використанням.

ПЕТ-пляшки ідеально підходять для нанесення етикеток, завдяки своїй гладкій поверхні. Вони сумісні з різними типами етикеток, включаючи паперові та пластикові. Етикетка, наліплена на ПЕТ-пляшку, міцно тримається завдяки взаємодії клею з пластиковою поверхнею, уникаючи відшарування під час зберігання чи транспортування.

ПЕТ-пляшки можна повторно переробити, що робить їх екологічно відповідальним вибором. Це сприяє створенню сталої та відходівільної економіки, зберігаючи довкілля.

ПЕТ-пляшки забезпечують надійне зберігання рідин, зокрема завдяки гвинтовим кришкам з подвійним ущільненням, які щільно прилягають до шийки пляшки. Це запобігає витоків рідини та дозволяє безпечно зберігати недопиті напої, включаючи харчові рідини як пиво, яке можна зберігати у холодильнику для подальшого вживання.

ПЕТ-пляшки вирізняються своєю функціональністю та ефективністю використання простору. Завдяки своїм розмірам, вони дозволяють максимально ефективно використовувати полиці та складські площі у магазинах. Їх легкість поєднується з вмістимістю, що робить покупки більш зручними для споживачів. Наприклад, можна придбати значну кількість пива, не несучи важку упаковку. Порожні ПЕТ-пляшки також легко транспортувати, запобігаючи забрудненню природи битим склом.

Сьогодні ПЕТ-упаковка з її безмежними можливостями інновацій і гнучкістю у дизайні вважається матеріалом, що має потенціал відкривати нові ринки та формувати нові споживчі тенденції.

1.2 Методи виготовлення преформи та ПЕТ тари

Виробництво преформ є складним процесом, що вимагає ретельного моніторингу вхідної сировини та точного дотримання технологічних параметрів. Преформа представляє собою зменшену версію ПЕТ-пляшки з уже сформованою готовою шийкою та особливим технологічним кільцем. Більша частина майбутньої пляшки залишається недоформованою і в стадії заготовки. Преформи виробляються у спеціальних формах, що можуть вміщати до 150 одиниць за цикл.

Існують два основних методи виробництва:

Одностадійний процес, де сформовані преформи негайно перетворюються на готову тару у спеціалізованих машинах. У цих машинах використовуються гранули поліетилентерефталату, з яких виходять готові ПЕТ-пляшки.

Двостадійна схема дає виробникам напоїв більше можливостей для технологічної гнучкості. У цьому випадку на етапі виробництва достатньо мати обладнання для останнього етапу видування, а преформи можна закуповувати від зовнішніх постачальників.

Такий підхід має декілька переваг:

Він спрощує процес зміни асортименту продукції, оскільки не потрібно переналаштовувати обладнання для виробництва преформ різної ваги чи розміру. Покупка преформ забезпечує стабільність і якість кінцевого продукту без додаткових витрат на виробництво.

У разі потреби, виробник напоїв може придбати обладнання для виготовлення преформ, використовуючи власні заготовки для забезпечення наявного видувного устаткування.

1.3 Технологія виготовлення ПЕТ тари

Процес виготовлення ПЕТ, хоч і не надто складний, вимагає уваги до деталей. Наприклад, в стандартній високошвидкісній ротаційній машині SBM, преформи переносяться з основного бункера до розподільника за допомогою вертикального механізму. Тут преформи автоматично розташовуються в потрібному положенні для подальшої передачі в робочу частину машини. Далі вони піднімаються спірально, щоб досягти правильного положення для переходу в головний робочий відсік.

Кожна преформа фіксується за допомогою спеціальних штифтів, що гарантує її стабільність під час обробки. В опалювальній каруселі преформа нагрівається до потрібної температури, щоб забезпечити м'якість, необхідну для наступного етапу - видування повнорозмірної пляшки.

Для забезпечення рівномірного нагрівання, преформи постійно обертаються у нагрівальній камері. Після нагрівання їх необхідно охолодити, для цього вони тримаються в контрольованому середовищі, щоб температура вирівнялася, перш ніж преформи відправляються в форми для видування пляшок.

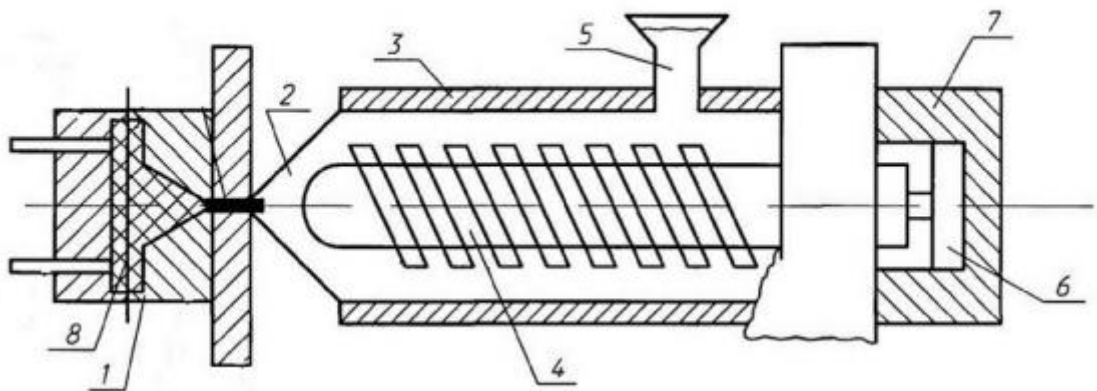
Розтягування заготовки відбувається за допомогою механічного стрижня, який забезпечує формування пляшки від горлечка до дна. Після цього відбувається процес дуття під високим тиском, що надає пляшці її кінцеву форму.

По завершенню цього процесу, стрижень видаляється, пляшка охолоджується, форма відкривається, і готова пляшка виймається з машини.

Технологічний процес формування виробів з термопластичних полімерів містить ряд кроків, включаючи:

- розплавлення,
- уніфікацію та дозування полімеру;
- закривання форми;
- підключення узла ін'єкції до форми;
- ін'єкція полімерної суміші;
- утримання під визначеним тиском і від'єднання узла ін'єкції;
- охолодження готового виробу;
- відкриття форми та витягнення виробу.

Діаграма процесу лиття під тиском представлена на малюнку 7.1.



1-форма; 2-сопло; 3-циліндр литтєвої машини; 4-шнек; 5-бункер; 6-поршень для вприску; 7-циліндр вузла вприску; 8-виріб; Рисунок 1.0 - Схема процесу лиття під тиском

1.4 Характеристики та різновиди ПЕТФ-преформ

Сучасний ринок пропонує широкий вибір ПЕТФ-преформ, різноманітність яких є значною.

Преформи класифікуються за рядом критеріїв:

За призначенням або областю застосування, преформи використовуються для створення тари під різні типи напоїв, включаючи:

- безалкогольні, газовані напої та мінеральні води
- негазовані питні напої
- соки та напої, що містять сік
- молочні продукти
- пиво та слабоалкогольні напої
- міцні алкогольні напої, такі як вино або горілка
- холодний чай та кава
- олію та соду

Вага преформи також відіграє роль, вона впливає на розмір і об'єм кінцевої пляшки. Є стандартні співвідношення між вагою преформи та ємністю пляшки, що можна отримати, і ці дані зазвичай представлені в таблиці для легкого використання.

Цей перефразований текст детально описує різні аспекти класифікації ПЕТФ-преформ, зберігаючи при цьому основну інформацію оригінального тексту.

Таблиця 1.1 — Співвідношення між масою преформи і ємністю готової тари

Ємність пляшки, л	Маса преформи, г
0,33	20
0,5	23
0,7	25
1	37-39
1,5	42-34
2	48
3 - 5	86
19	700-780

1.5 Конструкція преформи

Преформи для ПЕТ-пляшок класифікуються на три основні типи:

- Універсальні
- Товстостінні
- Укорочені

Найпопулярніший тип - універсальна преформа. Її особливість полягає у рівномірній циліндричній формі без значного розширення. Така преформа має вагу 42 грами, довжину 148 мм та товщину стінки 3 мм. Якість виробленої пляшки значно залежить від процесу розігрівання преформи, причому тонша стінка спрощує цей процес.

Товстостінні преформи, з товщиною стінки до 4,5 мм, технологічно легше виготовляти. Однак, для їх якісного формування потрібно більше часу для розігріву, що може вплинути на продуктивність процесу.

Укорочені преформи мають свої переваги та недоліки. Вони простіші у виробництві та ефективніші при транспортуванні - в одну упаковку можна помістити на 30-40% більше укорочених преформ, ніж універсальних. Проте, для їх видування необхідне більш потужне обладнання з тиском повітря від 30 до 40 бар.

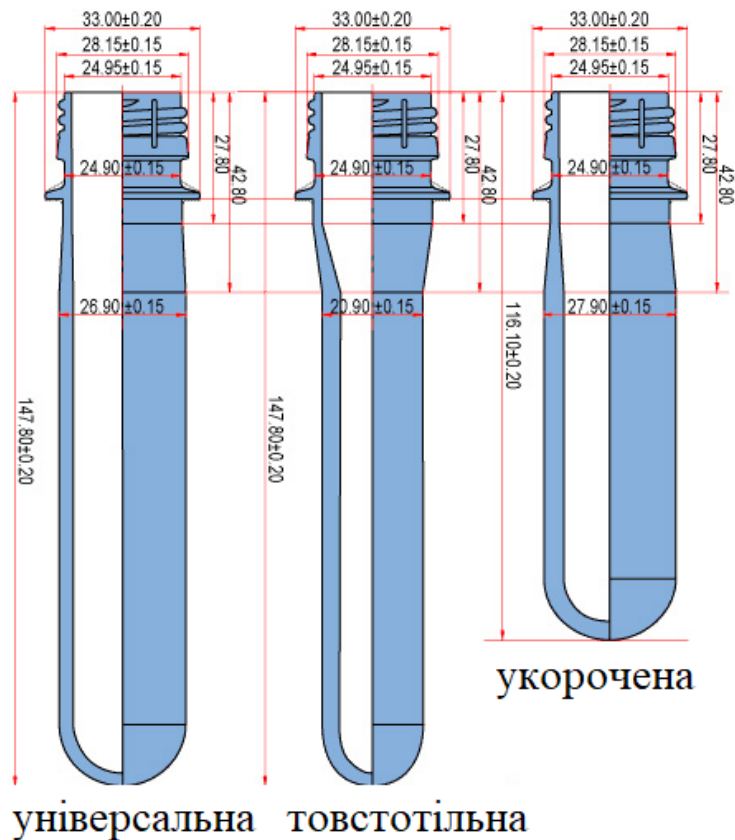


Рисунок 1.1 — Різновиди конфігурацій заготовок.

Залежно від конфігурації горла розрізняють преформи/пляшки зі стандартом:

- BPF/PCO (для газованих напоїв та мінеральної води, пива)
- Oil (для олії)
- Vericap (для напоїв, води)
- «38» (для соків, молочної продукції)

BPF (British Plastic Federation) та PCO (Plastic Closures Only) є двома основними стандартами, які використовуються для напоїв, таких як мінеральна вода, газовані напої та пиво. Стандарт BPF переважно використовується в країнах Східної та Північної Європи, а також у державах, що входили до складу колишнього СРСР. Натомість, стандарт PCO більш поширений у Сполучених Штатах Америки, його головна перевага – менша вага порівняно з BPF.

Важливою характеристикою обох цих стандартів є їхня здатність зберігати газу, що робить їх ідеальними для упаковки різноманітних газованих напоїв, включаючи мінеральну воду та пиво.

Ілюстрація 1.2 демонструє візуальне порівняння стандартів горлечка BPF та PCO.

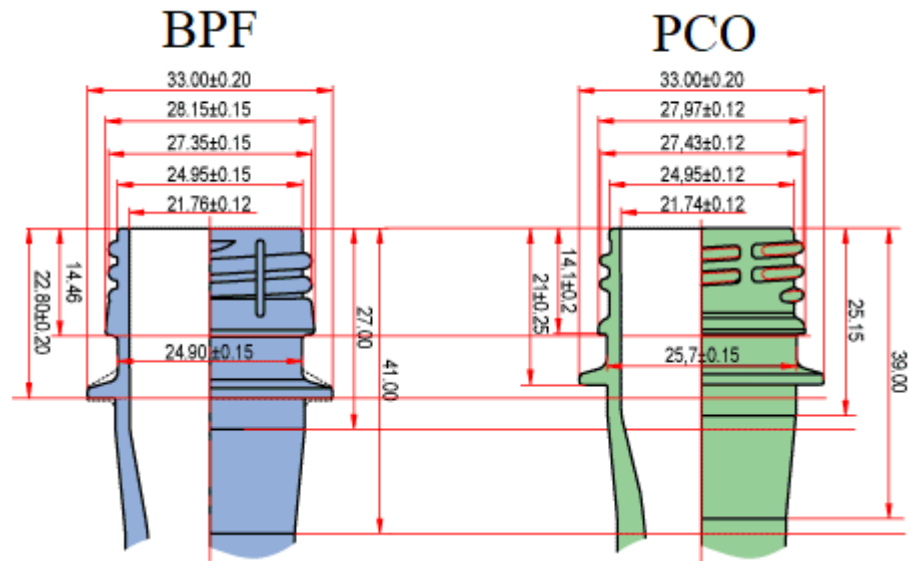


Рисунок 1.2 — BPF/PCO стандарти

Стандарт OIL розроблений спеціально для пляшок, призначених для розливу соняшникової та інших видів олій. Ця назва стандарту вказує на його основне призначення, адже слово "oil" в англійській мові означає "масло".

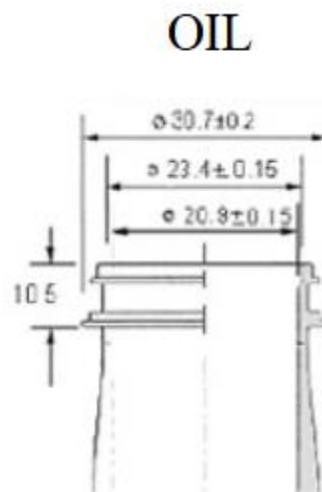


Рисунок 1.3 зображено стандарти горлечка OIL

Стандарт Bergsar був названий на честь компанії-розробника, яка зареєструвала патент на цей дизайн. Ці пляшки зазвичай використовують для упаковки різних напоїв, особливо води.

Vericap

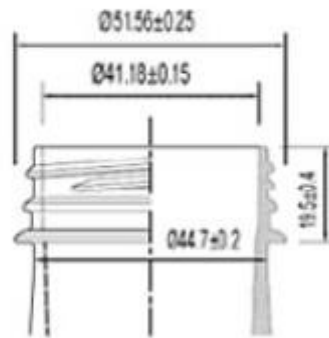


Рисунок 1.4 зображено стандарти горлечка Vericap

«38» - пляшки цього стандарту використовуються, як правило, під молочну продукцію та соки.



Рисунок 1.5 зображено стандарти горлечка «38»

Новий стандарт PCO 1881 для преформ із поліетилентерефталату був розроблений та отримав офіційне схвалення від Міжнародної організації технологів напоевої промисловості (ISBT). До складу цієї організації входять провідні міжнародні компанії, серед яких Coca-Cola, PepsiCo, Kraft Foods, Sidel та інші відомі бренди.

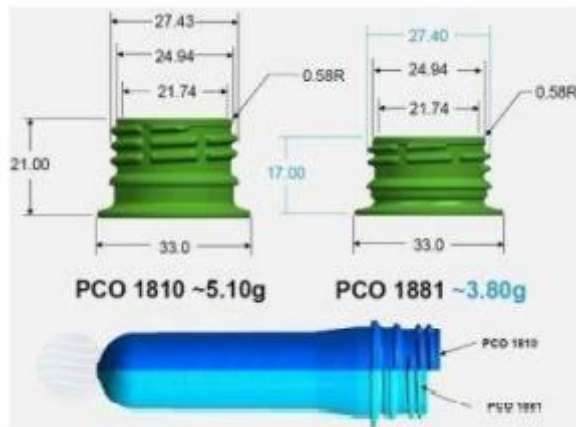


Рисунок — 1.6 стандарти різьблення PCO 1810 і PCO 1881

1.6 Процес виробництва готової тари з преформ

Процес виготовлення ПЕТ-пляшок включає 5 ключових стадій:

Формування преформ. Важливим кроком є ретельне сушіння ПЕТ-гранул у спеціалізованих сушильних установках, оскільки гранули мають тенденцію активно вбирати вологу з повітря. Неякісно висушені гранули призводять до створення мутних або жовтуватих преформ з можливими внутрішніми порожнинами та бульбашками, що може призвести до деформації пляшки під час експлуатації.

Після сушіння гранулят переплавляється, і на цій стадії додається барвник, схоже на процес створення кольорових скляних пляшок, де до розплавленої скломаси вносять, наприклад, з'єднання кобальту для надання синього кольору або хрому для зеленого відтінку.

Колірність ПЕТ-пляшок, як і скляних, не є лише естетичним вибором. Вартість високоякісного барвника для грануляту може бути порівнянна з вартістю тонни самого грануляту. Основна функція барвника - захист від

ультрафіолетових променів, що негативно впливають на якість напоїв у прозорих пляшках. Хоча колір барвника зазвичай не має великого значення, існує традиція використання коричневого або зеленого кольорів для пивних ПЕТ-пляшок, тоді як лимонади та інші напої розливають в пляшки жовтого, червоного та інших кольорів.

Процес формування преформ включає лиття розплавленої суміші грануляту під тиском у охолоджену форму за допомогою спеціалізованих ливарних машин - термопластавтоматів. Важливим є контроль температури готової преформи, яка повинна бути вищою за 50-55°C, оскільки при нижчих температурах вона може легко деформуватися під час зберігання.

Об'єм майбутніх ПЕТ-пляшок залежить від ваги використовуваної преформи. З деяких преформ формуються пляшки об'ємом 0,5 літра, тоді як з інших - 1,5 літра.

Під час контролю якості преформи, ті, що містять браки, відсіваються ще до етапу нагрівання. Це здійснюється за допомогою електронного інспектора, який вимірює преформи та видаляє ті, що не відповідають стандартам.

Далі йде процес розігрівання преформ. Після візуальної перевірки, преформи транспортують до печі для нагрівання, де вони досягають температури, необхідної для подальшого формування пляшок. Процес нагрівання преформи - швидкий, триває кілька секунд. Преформа розміщується на короткому штирі (дорні), перевертаючись і рівномірно нагріваючись за допомогою інфрачервоних ламп, розташованих з обох боків транспортера.

Преформа під час процесу нагрівання постійно обертається навколо своєї осі та обдувається гарячим повітрям для забезпечення її рівномірного нагрівання. Етап видуву тари. Після розігрівання, заготовку поміщають у прес-форму. В неї вставляється довгий металевий стрижень (шток), який, опускаючись, розтягує нагріту преформу. Спочатку преформа розширюється переважно у вертикальному напрямку. Коли шток досягає дна форми, підвищується тиск

повітря, що витягує заготовку до стінок форми. Такий порядок дій дозволяє уникнути розриву матеріалу через нерівномірне розтягування.

Охолодження. Після формування пляшка проходить охолодження водою. Особливу увагу приділяють дну пляшки, адже там розташований найтовстіший шар матеріалу. Для більш ефективного охолодження дно пляшки додатково обполіскують зовнішньо водою.

1.7 Обладнання для виготовлення ПЕТ тари

Виробництво ПЕТ-тари може здійснюватися двома методами, і відповідно обладнання доступне у напівавтоматичній або автоматичній конфігурації.

У напівавтоматичному варіанті, подача заготовок до робочої зони та вивантаження готових виробів відбувається вручну. Такий метод часто використовується на невеликих виробництвах або для спеціалізованих, малих партій продукції.

Автоматична конфігурація виключає потребу в ручній роботі, оскільки всі процеси, від подачі заготовок до вивантаження готової продукції, здійснюються за допомогою транспортерів або конвеєрів. Автоматизація особливо доцільна при інтеграції обладнання у виробничі лінії з розливу, оскільки це дозволяє знизити вплив людського фактора та збільшити продуктивність.

Однією з ключових складових обладнання для виробництва ПЕТ-тари є прес-форми. Вони виготовляються з нержавіючої сталі та являють собою матриці, внутрішні поверхні яких точно відтворюють форму і розміри готового виробу. Кожен тип і обсяг пляшки потребує окремої моделі прес-форми. Таким чином, виробничі підприємства, які випускають широкий асортимент продукції, зазвичай використовують декілька десятків різних прес-форм у своєму виробничому процесі.



Рисунок 1.9 — Прес-форма [8]

— повітряний компресор

Типова модель такого компресора має потужність близько 12,5 кВт. Вона здатна створювати тиск у діапазоні від 16 до 25 атмосфер, що є ключовим для процесу видування преформ у готові пляшки. Також цей компресор може виробляти до 500 літрів стиснутого повітря на хвилину, забезпечуючи достатнє та рівномірне постачання повітря для неперервної роботи виробничого обладнання.



Рисунок 1.10 — Повітряний компресор К-22 [9]

— напівавтомат для видування

Основні функції такого обладнання включають:

Перешкоджання потраплянню масла з повітря в виріб, що забезпечує чистоту та якість готових пляшок.

Охолодження горлечка з різьбленням під час процесу видування, щоб уникнути деформації цієї важливої частини пляшки.

Водяне охолодження прес-форми, що є важливим для швидкого та ефективного відведення тепла після формування пляшки.

Очищення повітря фільтрами для запобігання появі небажаних запахів у готовій продукції.

Щодо продуктивності, обладнання для виготовлення пластикових пляшок у напівавтоматичному режимі може досягати виробництва до 1000 виробів на годину, з можливістю формування пляшок об'ємом від 0,2 до 5 літрів. Це робить таке обладнання гнучким та ефективним рішенням для виробництв, які потребують широкий асортимент пластикових пляшок різних розмірів і форм.



Рисунок 1.11 — Напівавтомат для видування [10]

— піч для розігрівання преформ;

Ключові характеристики цієї печі включають:

Ніхромові спіралі як нагрівальні елементи, які є ефективними для створення необхідного тепла. Ці спіралі розміщені усередині трубок з кварцу, які забезпечують рівномірний розподіл тепла та захищають нагрівальні елементи.

Функція обертання преформ, що забезпечує рівномірний розігрів по всій поверхні заготовки. Це важливо для забезпечення однакової якості та товщини стінок готових пляшок.

Зонний розігрів, який дозволяє налаштовувати різні температури в різних частинах заготовки. Це особливо важливо для точного контролю якості продукції, оскільки різні частини пляшки можуть вимагати різних рівнів гнучкості та міцності.

Ці особливості печі є критично важливими для виробництва якісних ПЕТ-пляшок, оскільки нерівномірний нагрів або неправильна температура можуть призвести до дефектів у готовій продукції, таких як нерівномірна товщина стінок, слабкі місця або неправильна форма.



Рисунок 1.12 — Піч для розігрівання преформ ПРТ4-1800 [11]

— охолоджувач води замкнутого водопостачання.

Цей агрегат виконує критичну функцію у процесі контролю температури прес-форм і готових виробів, гарантуючи їх правильне охолодження та затвердіння. Основні характеристики охолоджувача води включають:

Здатність охолоджувати воду до температурних діапазонів між 5 та 15 градусами за Цельсієм. Ця температура є оптимальною для ефективного охолодження прес-форм і готових пляшок, що допомагає запобігти їх деформації та іншим дефектам.

Конструкція агрегату передбачає замкнуту систему водопостачання, що забезпечує постійний цикл охолодження води, знижуючи потребу у великих обсягах води і зменшуючи водоспоживання.

Енергоспоживання охолоджувача становить приблизно 2,3 кВт, що є порівняно низьким для такого типу обладнання і дозволяє зменшити загальні витрати на виробництво.

Наявність охолоджувача води є суттєвою для забезпечення високої якості кінцевої продукції, оскільки правильне охолодження під час виробничого процесу гарантує міцність та довговічність пластикових пляшок



Аналіз існуючих рішень

Наринку обладнання для виробництва ПЕТ-тари дійсно присутня широка різноманітність виробників та обладнання. Одним із відомих виробників є компанія Pet Technologies, яка відрізняється своїм комплексним підходом до виробництва ПЕТ-тари. До асортименту продукції цієї компанії входять:

Автомати для видуву ПЕТ-тари: Ці машини використовуються для автоматизованого процесу формування пляшок з ПЕТ-преформ. Завдяки автоматизації вони здатні виробляти велику кількість пляшок з високою швидкістю та точністю, що робить їх ідеальними для великих виробничих потужностей.

Універсальний напівавтомат для видуву ПЕТ-тари: Це більш гнучке обладнання, призначене для виробництв з меншими обсягами або для спеціалізованих партій продукції. Напівавтомати дозволяють здійснювати більш точний контроль над процесом видування, а також вони зручні у випадках, коли потрібно швидко переналаштовувати виробництво на інший тип пляшок.

Подавач преформ: Це обладнання призначене для автоматичного подавання преформ у машини для видування. Воно грає ключову роль у підвищенні ефективності виробничих ліній, зменшуючи потребу в ручній праці та забезпечуючи більш стабільний та неперервний процес виробництва.

Таким чином, Pet Technologies пропонує широкий спектр обладнання, яке може задовольнити різні потреби виробників ПЕТ-тари, від великих заводів до менших спеціалізованих виробничих ліній.



Рисунок 1.14 – APF-Max 8 [13]

APF-Max 8 - це автоматична машина для виготовлення ПЕТ-тари до 2 літрів, здатна виробляти до 14 000 пляшок на годину. Вона також підтримує видування різноманітних преформ з варіюванням діаметра. Детальні технічні характеристики представлені у таблиці 1.2.

таблиця 1.2 — Технічні характеристики APF-Max 8

Технічні дані	APF-Max 8
Продуктивність	До 13000 пл/год
Об'єм пляшки	0,3 - 2,0 л
Тиск повітря для пневмоциліндрів	8-9 бар
Тиск повітря для видуву	До 30 бар
Температура рідини для охолодження	8-9 °C
Потужність	130 кВт
Габарити	9510 x 3200 x 3100 мм
Вага	10000.00 кг



Рисунок 1.15 – АПФ-30 [14]

АПФ-30 - це машина для видуву ПЕТ-пляшок з максимальним об'ємом до 35 літрів, має продуктивність до 250 одиниць на годину. Цей автомат також може ефективно нагрівати товстостінні преформи різного діаметра. Деталі технічних характеристик зазначені в таблиці 1.3.

таблиця 1.3 — Технічні характеристики АПФ-30

Технічні дані	АПФ-30
Продуктивність	До 240 пл/год
Об'єм пляшки	15,0– 34,0 л
Тиск повітря для пневмоциліндрів	9-10 бар
Тиск повітря для видуву	До 40 бар
Температура рідини для охолодження	8-9 °С
Потужність	87 кВт
Габарити	6600 x 2400 x 3100 мм

Вага	6040 кг
------	---------



Рисунок 1.16 – УПФ-5 [15]

УПФ-5 представляє собою універсальний напівавтомат для виготовлення ПЕТ-тари, ідеально підходить для старту бізнесу з обмеженими інвестиціями. Технічні деталі обладнання вказані в таблиці 1.3.

Таблиця 1.4 — Технічні характеристики УПФ-5

Технічні дані	УПФ 5
Продуктивність	600-800 пл/год при об'ємі 0,2-0,3л
Об'єм пляшки	0,3 – 6,0 л
Тиск повітря для пневмоциліндрів	11 бар
Тиск повітря для видуву	До 25 бар
Температура рідини для охолодження	8-9 °С
Потужність	7,5 кВт

Габарити	1700 x 600 x 2200 мм 1300 x 600 x 1100 мм
Вага	10020 кг

1.8 Існуючі проблеми в виробництві

У процесі виробництва ПЕТФ тари, однією з ключових проблем є контроль температури, який впливає на якість кінцевого продукту. Неправильне регулювання температури може призвести до низки дефектів, включаючи:

Нерівномірність Матеріалу: Надто висока або низька температура може спричинити нерівномірне розплавлення матеріалу, що веде до утворення слабких зон у готовому продукті.

Деформації: Невідповідні температурні умови можуть викликати деформації у тарі, що робить її непридатною для використання.

Проблеми з Прозорістю та Кольором: Неправильний контроль температури може змінити оптичні властивості ПЕТФ, впливаючи на прозорість та колір продукту.

Внутрішні Напруги в Матеріалі: Нерівномірне охолодження може створювати внутрішні напруги, що знижують міцність та довговічність тари.

У наступному розділі нашого дослідження ми зосередимо увагу на стратегії оптимізації процесу контролю температури. Це включатиме вивчення та впровадження передових технік температурного регулювання, щоб забезпечити рівномірний розплав та охолодження матеріалу. Мета цих заходів - мінімізувати виробництво дефектної продукції та забезпечити високу якість ПЕТФ тари. Також будуть розглядатися можливості використання автоматизованих систем контролю, які можуть точно підтримувати необхідні температурні параметри в усьому виробничому процесі.

1.9 Висновок

У цьому розділі було обговорено технології та методи виготовлення ПЕТ-тари. Був проведений аналіз існуючих рішень і розглянуто різні підходи до виробництва, включаючи використання автоматичного обладнання у лінії розливу готової продукції та напівавтоматичного обладнання з участю працівників. Також було досліджено принципи класифікації преформ та стандарти, які застосовуються в сучасному виробництві.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Мною була проаналізована та виконана функціональна система автоматизації. В цьому розділі я більше детально розповім про її контури, та можливі стратегії для їх оптимізації. Для покращення продуктивності, та зменшення кількості браку.

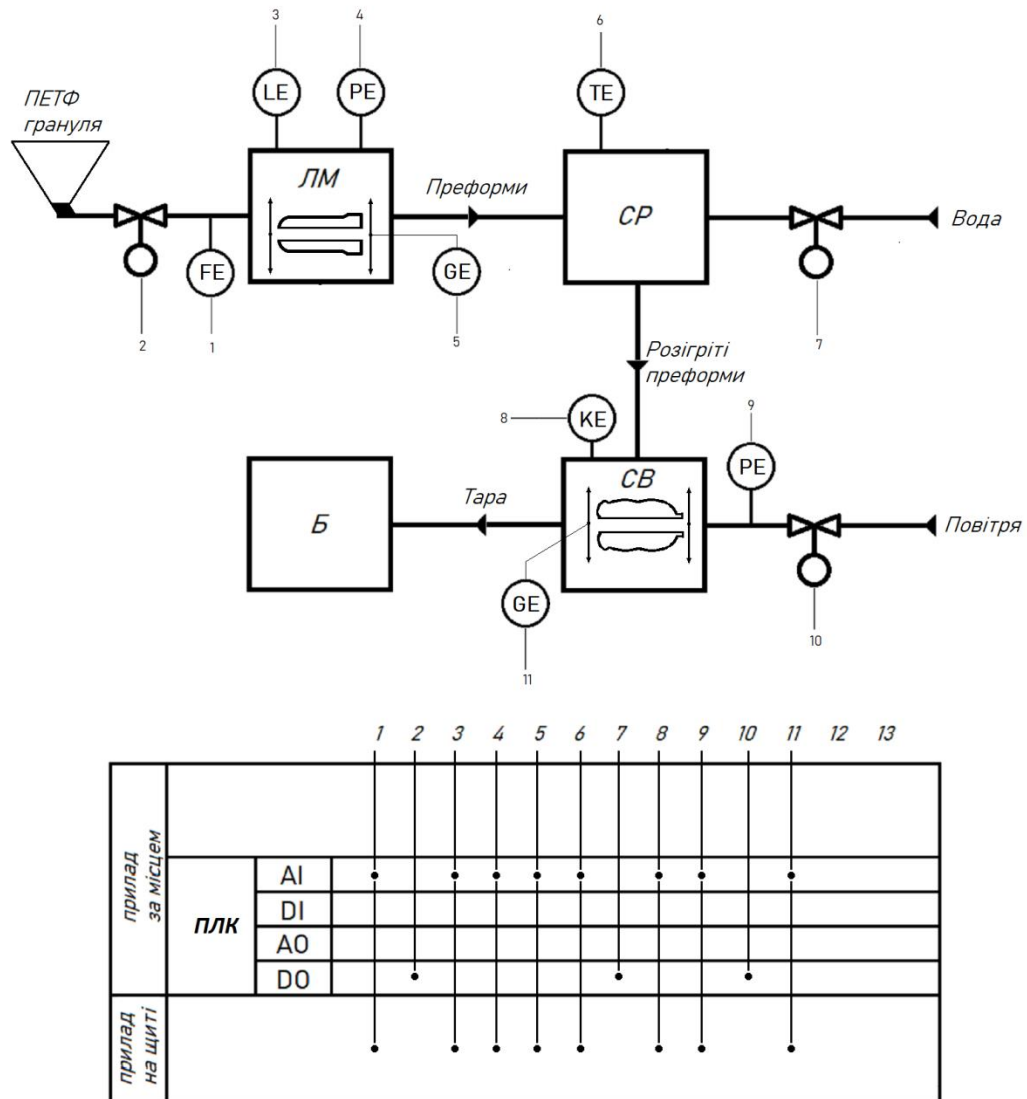


Схема 2.1 Функціональна схема автоматизації

Умовні позначення обладнання

Позначення	Найменування
ЛМ	Ливарна машина
СР	Станція розігріву
СВ	Станція видуву
Б	БАНК

Таблиця 2.2 Умовні позначення функціональної схеми автоматизації

Структурна діаграма розроблена для ілюстрації системи моніторингу та управління виробничими операціями на даному об'єкті. Вона демонструє взаємозв'язки між управлінськими панелями, центрами керування та оперативними станціями ключового технологічного обладнання, а також пояснює концепцію централізованого управління об'єктом з адміністративно-технічної точки зору.

2.1 Оптимізація процесу лиття: Аналіз та покращення ливарної машини.

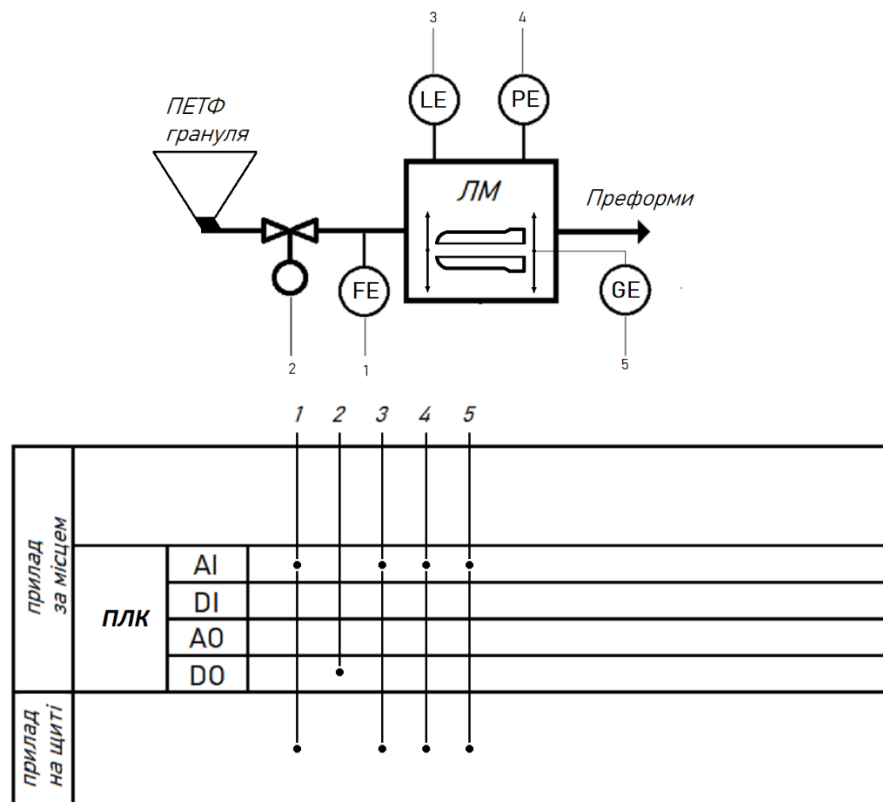


Рисунок 2.3 Ливарна машина

Оптимізація процесу лиття на ливарних машинах для виготовлення ПЕТФ-тари є важливою для підвищення продуктивності та зниження витрат. Одним із ключових аспектів є автоматизація контролю процесу лиття, що включає впровадження розширених систем контролю для точного регулювання температури, тиску та швидкості лиття. Це дозволяє підвищити однорідність та якість продукції, а також забезпечує більшу гнучкість у виробництві.

Зменшення витрат енергії може бути досягнуто через використання енергоефективних рішень, таких як удосконалені нагрівальні елементи та ізоляційні матеріали, що зменшують тепловтрати. Впровадження рекуперативних технологій, які дозволяють повторно використовувати відпрацьоване тепло, також є ефективним рішенням для підвищення енергоефективності.

Використання нейронних мереж для прогнозування оптимальних параметрів лиття відкриває нові можливості для автоматизації та оптимізації виробничого процесу. Ці системи можуть аналізувати величезні обсяги даних, виявляючи закономірності, які не очевидні для людського ока, і пропонувати рішення для підвищення ефективності та зниження витрат. Такий підхід може значно покращити стабільність процесу лиття та якість кінцевого продукту.

2.2 Оптимізація процесу розігріву: Аналіз та покращення станції розігріву

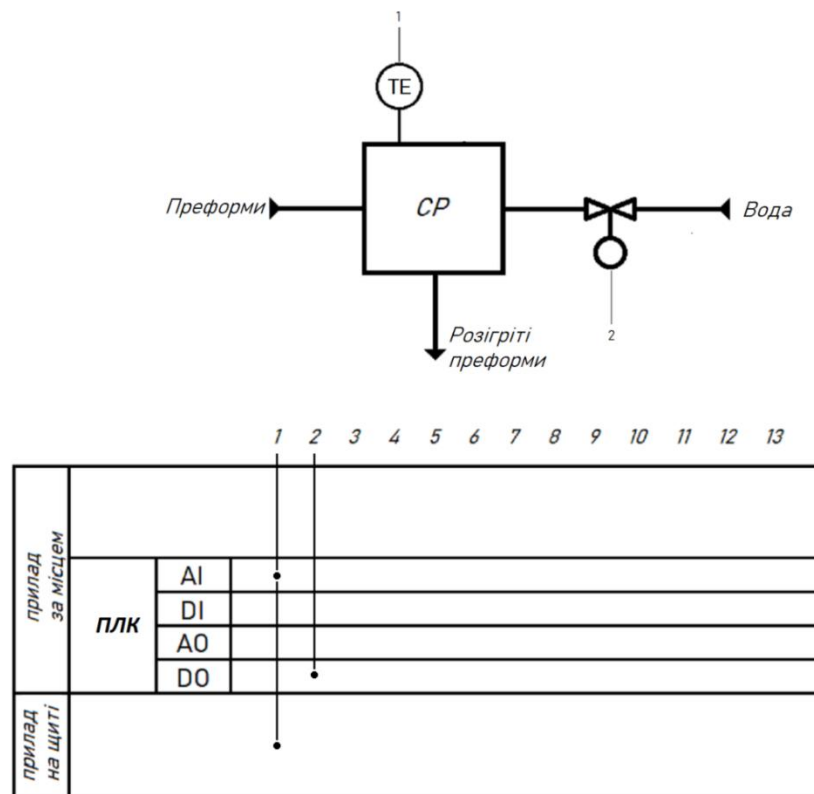


Рисунок 2.4 Станція розігріву

Розуміння властивостей ПЕТФ-преформ є ключовим для їх ефективного розігріву. Поліетилентерефталат (ПЕТФ) вирізняється міцністю, стабільністю та прозорістю, що робить його ідеальним для виробництва тари, особливо пляшок для напоїв. Різноманітність товщини та геометрії преформ впливає на їх теплопровідність та час розігріву. Важливо також звертати увагу на кольорові добавки та інші модифікації, що змінюють теплову поведінку матеріалу. Наприклад, кольорові преформи потребують індивідуалізованого підходу до розігріву порівняно з прозорими через різницю в поглинанні та відбиванні тепла.

Для оптимізації процесу розігріву необхідно розробити спеціалізовані теплові профілі, які враховують унікальні характеристики кожного типу преформ. Використання сучасних датчиків та автоматизованих систем контролю

допомагає точно налаштувати температуру та час розігріву, забезпечуючи рівномірне прогрівання та попередження пошкоджень.

Швидкість розігріву має безпосередній вплив на якість кінцевого продукту. Занадто швидкий розігрів може викликати нерівномірне прогрівання та внутрішні напруги, що спричиняє деформацію або слабкість продукту. Навпаки, занадто повільний розігрів знижує продуктивність виробництва. Оптимальна швидкість забезпечує рівномірний розподіл тепла, підтримуючи міцність і прозорість тари, а також ефективність виробничого процесу.

Використання інноваційних підходів, таких як машинне навчання та нейронні мережі, для контролю процесу розігріву може значно підвищити ефективність та якість виробництва. Ці технології дозволяють аналізувати великі обсяги даних та виявляти оптимальні умови розігріву для різних типів преформ, автоматично адаптуючись до змінних умов.

2.3 Оптимізація процесу видуву: Аналіз та покращення станції видуву

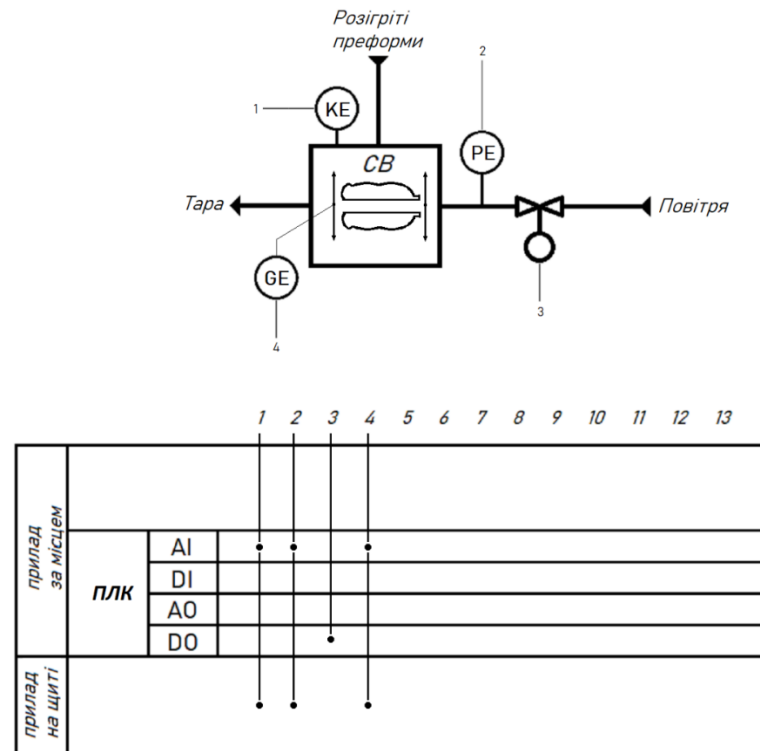


Рисунок 2.4 Станція видуву

Станція видуву є критичною частиною процесу виробництва ПЕТФ-тари, де оптимізація параметрів видуву має вирішальне значення для поліпшення якості кінцевого продукту. Ключовими факторами тут є тиск і час видуву, які безпосередньо впливають на міцність та форму ПЕТФ-тари. Правильно налаштований тиск забезпечує достатню силу для формування тари, тоді як оптимальний час видуву гарантує, що матеріал рівномірно розподіляється по формі, уникнення тонких місць або дефектів.

У контексті автоматизації та контролю, розробка систем автоматизованого контролю на станції видуву є важливою для забезпечення постійно високої якості продукції. Це включає в себе інтеграцію систем візуального контролю, що дозволяє неперервно моніторити та оцінювати якість тари на різних етапах виробництва. Візуальний контроль допомагає виявляти будь-які дефекти або невідповідності у формі та розмірах продукції, що дозволяє своєчасно вживати коригувальні заходи.

Інноваційним підходом у цьому контексті є оптимізація процесу видуву за допомогою нейронних мереж. Ця технологія дозволяє аналізувати великі обсяги даних з виробничих ліній, адаптуватися до змінних умов та точно налаштовувати параметри процесу для досягнення оптимальної якості продукції. Використання нейронних мереж допомагає визначити ідеальні умови для кожного типу продукції, забезпечуючи стабільність та ефективність процесу видуву.

2.4 Банк. Оптимізація процесу складування тари

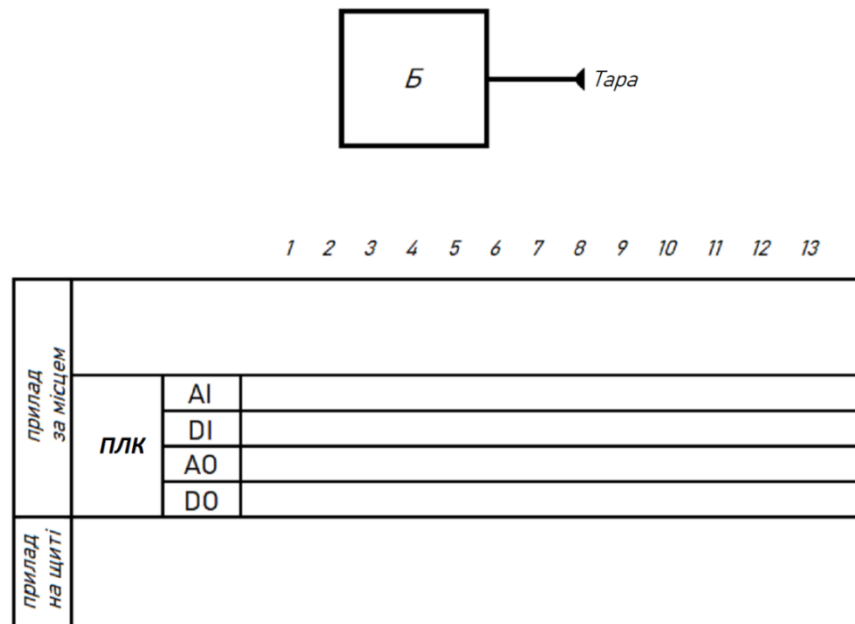


Рисунок 2.5 Банк

В рамках логістичної оптимізації для зберігання та логістики ПЕТФ-тари, кілька ключових стратегій можуть бути застосовані для підвищення ефективності. Ефективне управління потоками готової продукції вимагає точного планування та координації, що може бути підсилене впровадженням автоматизованих систем складування. Ці системи дозволяють оптимізувати використання простору, забезпечуючи більш раціональне розміщення продукції та зниження витрат на зберігання.

Інтеграція технологій RFID та інших сучасних інструментів трекінгу дозволяє точно відстежувати місцезнаходження кожної одиниці продукції, спрощуючи управління запасами та відвантаження. Такі технології забезпечують швидкий доступ до інформації про стан запасів та можуть істотно покращити ефективність логістичних операцій.

Використання нейронних мереж у логістиці та управлінні запасами може внести великий вклад у автоматизацію та оптимізацію логістичних процесів. Штучний інтелект може аналізувати великі обсяги даних, прогнозуючи тенденції попиту, оптимізуючи розподіл та розміщення запасів, а також вдосконалюючи маршрутизацію та розподіл ресурсів. Все це сприяє зниженню витрат, підвищенню швидкості обслуговування та загальній ефективності логістичних операцій.

2.5 Вибір компонента для оптимізації

Після ретельного аналізу різних аспектів виробництва ПЕТФ-тари, включаючи процес лиття на ливарній машині, технологічні параметри, та енергоефективність, я вирішив зосередитися на оптимізації станції розігріву за допомогою нейронної мережі. Оскільки температурні режими та швидкість розігріву мають значний вплив на якість кінцевого продукту, використання нейронних мереж дозволить точно налаштувати ці параметри для кожного типу ПЕТФ-преформи.

Автоматизація контролю процесу розігріву через машинне навчання забезпечить не тільки підвищену якість тари, але й сприятиме енергозбереженню, оскільки система зможе оптимізувати споживання енергії на основі реальних умов виробництва. Це також відкриває можливості для впровадження інноваційних методів зменшення витрати енергії на станції розігріву, наприклад, через використання рекуперативних технологій.

Інтелектуальне керування температурними процесами дозволить не тільки знизити експлуатаційні витрати, але й забезпечить більш стабільний та ефективний виробничий процес. Такий підхід є важливим кроком у напрямку досягнення високої якості продукції з одночасним підвищенням енергоефективності виробництва.

2.6 Варіанти нейронних мереж, та вибір

Для оптимізації регулювання станцією видуву, де ключовими параметрами є температура та подача води, вибір відповідної нейронної мережі відіграє важливу роль. Нейронна мережа повинна бути здатна аналізувати великі обсяги даних та виявляти складні залежності між параметрами процесу видуву. Наступні критерії є вирішальними при виборі відповідної нейронної мережі:

Мережа зворотного поширення помилок (Backpropagation Neural Network): Цей тип мережі є ефективним у виявленні залежностей у складних процесах. Вона може бути тренувана для визначення оптимальних налаштувань температури та подачі води, аналізуючи вхідні дані та їх вплив на якість кінцевого продукту.

Конволюційні нейронні мережі (CNN): Хоча цей тип частіше асоціюється з обробкою зображень, він також може бути корисним для виявлення патернів у часових рядах та сенсорних даних. Вони можуть допомогти в аналізі тенденцій та аномалій у параметрах процесу видуву.

Рекурентні нейронні мережі (RNN): Ці мережі ефективні для роботи з послідовностями даних, такими як часові ряди. Вони могли б аналізувати історичні дані про температуру та подачу води, щоб зрозуміти динаміку процесу видуву та передбачати оптимальні параметри.

Нейронні мережі з глибоким навчанням (Deep Learning Neural Networks): Ці мережі, особливо з великою кількістю шарів, можуть виявляти складні залежності та автоматично виділяти корисні характеристики з даних, що робить їх ідеальними для управління складними процесами, як станція видуву.

При виборі нейронної мережі також важливо враховувати здатність до швидкого адаптування до змін у виробничому середовищі, а також інтеграцію з існуючими системами контролю на станції. Мережа повинна бути достатньо

гнучкою, щоб адаптуватися до різних сценаріїв роботи та мати здатність ефективно навчатися на непередбачуваних виробничих даних.

Я вирішив вибрати Рекурентні Нейронні Мережі (RNN) для оптимізації процесу розігріву в виробництві ПЕТФ-тари, оскільки ця технологія ідеально підходить для аналізу часових рядів та послідовних даних. RNN здатні ефективно обробляти історичні дані про режими розігріву, що дозволить точно прогнозувати оптимальні параметри для кожного конкретного випадку. Цей вибір допоможе не тільки покращити якість кінцевого продукту, але й забезпечить більш ефективне та енергозберігаюче використання обладнання.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ

Якість ПЕТ-упаковки представляє собою кінцевий результат усіх виробничих процесів. Отримання високоякісної пляшки з преформи в значній мірі залежить від ефективності процесу розігріву. Після виготовлення пляшки можуть виникати різні дефекти, такі як нерівномірність товщини стінки, неправильно сформована днище, поздовжня деформація, овалізація, морщення, або навіть виникнення непотрібного перламутрового або сріблястого відтінку. Ці дефекти перш за все залежать від характеристик нагрівання, таких як профіль температур та тривалість нагрівання. Розроблена математична модель процесу розігріву ПЕТ-заготовки допоможе визначити оптимальний температурний режим для забезпечення різних рецептур виробництва ПЕТ-пляшок і досягнення високої якості виробу.

3.1 Станція розігріву ПЕТФ-преформи

Основними частинами станції розігріву є: механізм переміщення преформ, блок нагріву та електронна система управління.

Механізм переміщення преформ забезпечує поступальний рух заготовок уздовж нагрівальних елементів з одночасним обертанням їх уздовж поздовжньої осі для забезпечення рівномірного прогріву. Він включає ланцюговий, замкнутий в горизонтальній площині конвеєр з 34 шпинделями (гніздами для установки преформ). Конвеєр рухається мотор-редуктором. На осі шпинделя закріплена шестерня, при контакті зубців якої з гребінцем забезпечується обертання преформи.

Блок нагріву забезпечує регульоване підвищення температури повітря навколо преформ до величини, при якій матеріал їх набуває необхідної пластичності. Основними елементами блоку нагрівання є 16 ТЕНів, оболонки яких виготовлені з кварцового скла. ТЕНи встановлені вздовж ланцюгового конвеєра з двох сторін та рознесені по висоті, утворюючи вісім зон прогріву преформ. Для локалізації гарячого повітря у зоні руху преформ передбачені

сталеві кожухи. Температура повітря під кожухом вимірюється за допомогою термопари та відображається на дисплеї терморегулятора, встановленого на лицьовій панелі ящика для приладів. Щоб різьбові частини преформ не деформувалися від нагріву, уздовж їх руху прокладена прямокутна трубка, в порожнині якої циркулює рідина, що охолоджує.

Електронна система станції розігріву забезпечує керування як температурою в зонах розігріву преформ, так і їх швидкістю під час руху. Конструктивно всі елементи електронної системи змонтовані у передньому відсіку корпусу станції розігріву та приладовому ящику. Усі органи управління та регулювання станції розігріву розташовані на лицьовій панелі приладової скриньки.

Температура розігріву регулюється зміною величини прикладеної до ТЕН напруги. Тиристорна схема дозволяє змінювати напругу від 0 до 220В. Регулювання швидкості руху преформ здійснюється за допомогою перетворювача частоти. Працюючи устаткування напруга, подводимое до ТЕНам, задається оператором за результатами оцінки якості розігріву преформ і залежить від температури зовнішнього повітря, розмірів та конфігурації преформи, властивостей її матеріалу та заданої продуктивності-тобто від швидкості руху ланцюгового конвеєра станції.

Завантаження преформ здійснюється вручну. Вона починається після досягнення заданих значень температур зон нагріву, про що можна судити з показань на дисплеї терморегулятора (зазвичай через 10-15 хвилин після включення). На ланцюг механізму переміщення преформи встановлюються парами з однаковими інтервалами з-поміж них. Перед початком видування перших - пробних пляшок оператор навпомацки повинен переконатися в тому, що преформи прогрілися рівномірно по висоті і набули необхідної для формування пластичності. А візуальний контроль має бути спрямований на недопущення перегріву преформ, що виражається у локальному чи повному помутнінні матеріалу.

Підібравши температурні режими роботи станції, здійснюють пробний видування, після чого оператор збільшує завантаження конвеєра до забезпечення необхідної продуктивності. У міру вилучення для видування пари розігрітих преформ, на їх місця в комірці, що звільнилися, поміщаються нові преформи. Станція розігріву СП-8 має продуктивність 1200 преформ на годину, тобто може одна обслуговувати два агрегати видування.

3.2 Технологічний розрахунок станції розігріву

Станцію розігріву спрощено можна подати у вигляді ланцюгового, замкнутого в горизонтальній площині конвеєра, що рухається зі швидкістю V_k і має гнізда Z для встановлення преформ. На рис. 4 наведено розрахункову схему механізму переміщення преформ.

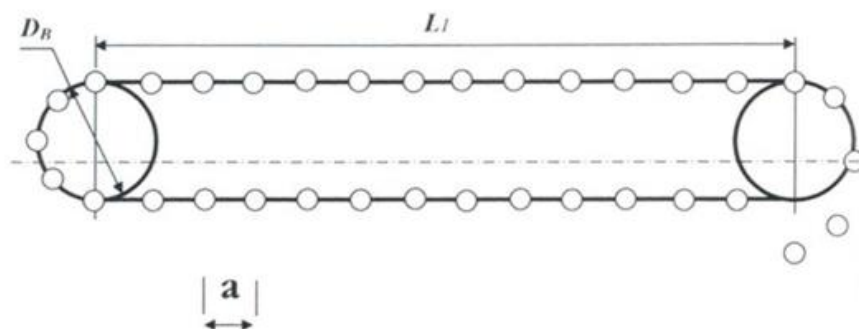


Рис.3.1 Розрахункова схема механізму переміщення преформи

Годинна продуктивність преформ Π при безперервному русі механізму визначається за формулою

$$\Pi = 3600 \cdot V_k / d \text{ [преформ в годину]},$$

де d -відстань між шпинделями,

м; V_k – швидкість переміщення ланцюга конвеєра, м/с.

Причому швидкість V_k на практиці задається з досвіду роботи, в інженерних розрахунках може бути визначена за формулою:

$$V_k = D_v \cdot n_v / 60000 \text{ [м/с]}$$

де D_v – діаметр провідної зірочки, мм; n_v - Частота обертання провідної зірочки, про / хв.

Машина однопоточна; тоді, якщо рахувати по ротору завантаження, її годинна продуктивність складе:

$$П = 3600 \cdot n_p \cdot Z \text{ [преформ в час]}$$

де Z -кількість шпинделів на роторі; n_p - частота обертання ротора завантаження, про/с.

У поточних машинах час технологічного циклу нагріву преформ T_n виражається залежністю:

$$T_n = L / V_{cp} \text{ [сек]}$$

де V_{cp} - середня швидкість руху преформ, м / с (підбирається дослідним шляхом для кожного конкретного типу і ваги преформи); L -шлях, що проходить преформою в машині, м;

$$L = 2 L_1 + S \text{ [м]}$$

де L_1 - Довжина прямої ділянки конвеєра, м; $S = \pi D_v$ – довжина криволінійної ділянки, м.

Технологічний цикл завантаження-вивантаження преформ T_z дорівнює тривалості повороту ротора на кут φ між позиціями завантаження та вивантаження. Тривалість технологічного циклу може бути знайдена із пропорційного співвідношення:

$$T_z = 60 \cdot \varphi / n_p \cdot 360 \text{ [сек]}$$

Тривалість робочого циклу T_r визначиться за такою формулою:

$$T_r = T_z + T_n \text{ [сек]}$$

3.3 Моделювання процесу розігріву ПЕТ-заготовки

Основні технологічні параметри, які визначають хід процесів нагрівання та формування пляшок з ПЕТ-заготовок і мають вплив на якість готової продукції, включають такі аспекти:

- Початкова температура преформи.
- Потужність інфрачервоних ламп для нагріву.
- Момент початку попереднього видування та початковий тиск при формуванні пляшки.
- Швидкість формування та охолодження пляшки.
- Геометрія готового виробу.
- Властивості полімерної сировини.
- Температура та вологість робочого середовища інших факторів.

Важливо відзначити, що процес нагріву преформи є ключовим у виробництві пляшок. Цей процес займає значну частину часу у загальному циклі виготовлення виробу (приблизно 50-80%). Крім того, правильний розподіл температур під час нагріву є критичним, оскільки нерівномірний розігрів може призвести до нерівномірної деформації преформи під час формування пляшки, утворення перегрітих областей і, як наслідок, розриву пляшки.

Недоліки в поточному методі регулювання процесу нагрівання преформи включають відсутність врахування зовнішніх факторів, таких як умови виробничого середовища та фізичні властивості використовуваних преформ. Оцінка якості нагріву часто проводиться емпірично операторами обладнання.

Оскільки процеси формування ПЕТ-пляшок мають деформаційний характер, важливо враховувати особливості деформаційної поведінки полімерних матеріалів при виборі оптимальної температури для кожної зони нагріву. Розробка математичної моделі нагріву може сприяти покращенню контролю та оптимізації цього процесу.

Нагрів заготівок відбувається в печі видування, яка складається з дев'яти камер, кожна з яких містить дев'ять горизонтально розташованих ламп інфрачервоного випромінювання. Кожна лампа відповідає за окрему зону нагріву на заготівці і регулюється за допомогою струму для живлення ламп розжарювання. Спіраль лампи випромінює тепло в інфрачервоному діапазоні, і зв'язок між температурою та потужністю променистого тепла визначається законом Стефана-Больцмана.

$$Q_{\text{вип}} = (q_{\text{heater}} - q_{\text{air}}) \times F_{\text{пов}} \times t,$$

$Q_{\text{вип}}$ - потужність випромінювання в печі

q_{heater} - тепловіддача від нагрівача до полімерного матеріалу (преформи), Вт/м²

q_{air} - тепловіддача навколишньому повітрю, Вт/м²

$F_{\text{пов}}$ - площа преформи, м²

t - час перебування заготівки в камері, с;

Процес нагрівання преформи для виготовлення ПЕТ-пляшок можна представити структурно-параметричною схемою, яка показана на рисунку 1 [1,2]. Для забезпечення стабільності температурного профілю під час виробництва ПЕТ-тари, можливо ввести в потік виробництва тари систему вимірювання початкової температури.

При нагріванні преформи однією з важливих вимог є досягнення мінімального перепаду температур між різними зонами преформи. В іншому випадку, може виникнути дефект, спричинений нерівномірними структурними змінами у всій стінці преформи. Тому для забезпечення високої якості технологічного процесу виготовлення ПЕТ-тари та регулювання температурного профілю нагрівання преформи розроблено математичну модель, яка підвищує об'єктивність контролю цього процесу.

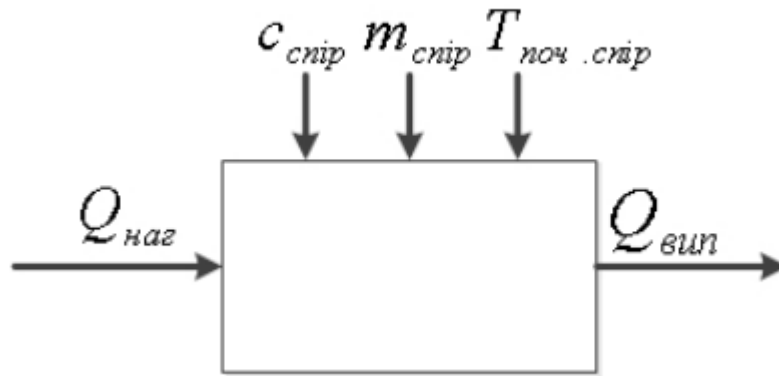


Рисунок. 3.2 Структурно-параметрична схема потужності розігріву преформи:

$Q_{наг}$ – теплове розжарювання спіралі лампи, $c_{спір}$ – питома теплоємність спіралі лампи, $m_{спір}$ – маса спіралі лампи, $T_{поч.спір}$ – середнє значення температури в цеху

Результатом числового моделювання є отримання графіка розподілу температури поліетилентерефталата по його товщині та в залежності від часу (показано на рисунку 2). Після аналізу залежності показника неоднорідності температури від часу нагріву та температури нагріву було визначено діапазони припустимих значень режимних параметрів. У цих діапазонах неоднорідність температури залишається на прийнятному рівні, не перевищуючи встановленого порогового значення.

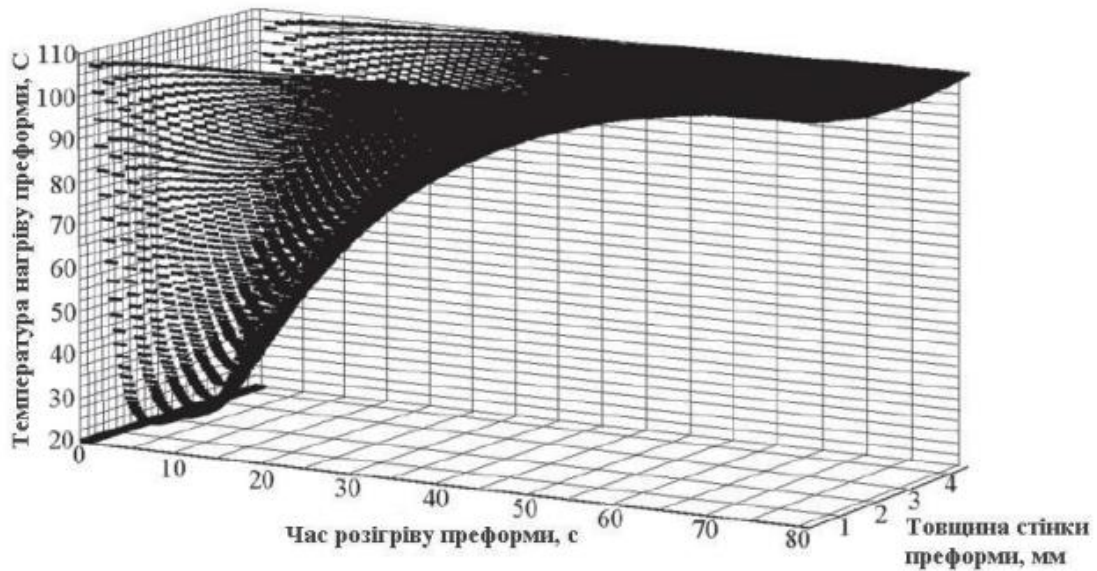


Рис.3.3. Розподіл температури поліетилентерефталата, з якого виготовлені преформи, по товщині та в часі

Результатом числового моделювання є отримання графіка розподілу температури поліетилентерефталата по його товщині та в залежності від часу (показано на рисунку 2). Після аналізу залежності показника неоднорідності температури від часу нагріву та температури нагріву було визначено діапазони припустимих значень режимних параметрів. У цих діапазонах неоднорідність температури залишається на прийнятному рівні, не перевищуючи встановленого порогового значення

3.4 Математична модель розігріву ПЕТ-заготовки

Система розігріву пресформи, і зв'язок між температурою та потужністю тепла визначається законом Стефана-Больцмана:

$$Q_{\text{вип}} = (q_{\text{heater}} - q_{\text{air}}) \times F_{\text{пов}} \times t,$$

$Q_{\text{вип}}$ - потужність випромінювання в печі

q_{heater} - тепловіддача від нагрівача до полімерного матеріалу (преформи), Вт/м²

q_{air} - тепловіддача навколишньому повітрю, Вт/м²

$F_{пов}$ - площа преформи, м²

t - час перебування заготівки в камері, с;

Щоб створити передатну функцію для вашої системи в MATLAB, де q_{heater} є вхідним сигналом, а q_{air} та $Q_{вип}$ є вихідними, ми можемо переформулювати вашу формулу так, щоб вона відповідала лінійній системі.

$$(q_{heater} - q_{air}) \times F_{пов} \times t = Q_{вип}$$

Враховуючи, що $F_{пов}$ і t є константами, ми можемо представити це співвідношення як передатну функцію для q_{heater} відносно q_{air} та $Q_{вип}$.

Передатна функція для q_{heater} до q_{air} могла б виглядати так:

$$H(s) = \frac{Q_{вип}(s)}{Q_{heart}(s)}$$

де $H(s)$ визначається як передатна функція системи.

Залишається питання, як моделювати відношення між q_{heater} та $Q_{вип}$. Оскільки $Q_{вип}$ є функцією від q_{heart} , q_{air} , $F_{пов}$ і t , можна припустити, що ця залежність може бути представлена як лінійна комбінація цих змінних.

Щоб побудувати диференціальне рівняння з формули, необхідно ввести залежність від часу. Первісна формула:

$$(q_{heater} - q_{air}) \times F_{пов} \times t = Q_{вип}$$

не містить часових залежностей, крім множника часу t , який є константою. Для побудови диференціального рівняння, ми можемо ввести динаміку у відношення між q_{heater} , q_{air} та $Q_{вип}$

Одна з можливих інтерпретацій - вважати, що $Q_{вип}$ залежить від швидкості зміни q_{heater} та q_{air} .

Наприклад:

$$\frac{dQ_{\text{вип}}}{dt} = F_{\text{площа}} \times \left(\frac{dq_{\text{heart}}}{dt} - \frac{dq_{\text{air}}}{dt} \right)$$

Де $\frac{dQ_{\text{вип}}}{dt}$ швидкістю зміни потужності випромінювання, а $\frac{dq_{\text{heart}}}{dt}$ та $\frac{dq_{\text{air}}}{dt}$ - швидкості зміни тепловіддач від нагрівача та до повітря відповідно. Це рівняння є диференціальним і відображає динаміку системи.

Щоб перетворити диференціальне рівняння

$$\frac{dQ_{\text{вип}}}{dt} = F_{\text{площа}} \times \left(\frac{dq_{\text{heart}}}{dt} - \frac{dq_{\text{air}}}{dt} \right)$$

на передатну функцію, нам потрібно використати перетворення Лапласа. Передатна функція визначає зв'язок між вхідними і вихідними сигналами в частотній області. У цьому випадку, ми розглядаємо зв'язок між q_{heart} та $Q_{\text{вип}}$, ігноруючи q_{air} для спрощення.

Використовуючи *перетворення* Лапласа, диференціальне рівняння у частотній області буде виглядати так:

$$sQ_{\text{вип}}(s) = F_{\text{пов}} \times (sq_{\text{heater}}(s) - q_{\text{air}}(s))$$

де s є змінною Лапласа. Припустимо, що початкові умови рівні нулю, що є загальним припущенням для передатних функцій. Передатна функція від q_{heater} до $Q_{\text{вип}}$ буде

$$H(s) = \frac{Q_{\text{вип}}(s)}{q_{\text{heater}}(s)} = \frac{F_{\text{пов}}s}{s}$$

Таким чином, передатна функція:

$$H(s) = F_{\text{пов}}$$

Але нам треба керувати температурою, представленою як змінна s у системі, і використовувати диференціальне рівняння для створення передатної функції, нам потрібно визначити, як температура взаємодіє з іншими параметрами системи.

Якщо припустити, що (тепловіддача від нагрівача) залежить від керованої температури s , ми можемо модифікувати диференціальне рівняння таким чином:

$$\frac{dQ_{\text{вип}}}{dt} = F_{\text{площа}} \times \left(\frac{ds}{dt} - \frac{dq_{\text{air}}}{dt} \right)$$

Тут s репрезентує швидкість зміни температури, яка впливає на випромінювану потужність $Q_{\text{вип}}$

Перетворення Лапласа для цього рівняння:

$$sQ_{\text{вип}}(s) = F_{\text{пов}} \times (s^2 - sq_{\text{air}}(s))$$

Тепер ми можемо визначити передатну функцію для цієї системи. Передатна функція $H(s)$ від температури s до випромінюваної потужності $Q_{\text{вип}}$ буде

$$H(s) = \frac{Q_{\text{вип}}(s)}{s^2} = \frac{F_{\text{пов}}}{s + q_{\text{air}}(s)}$$

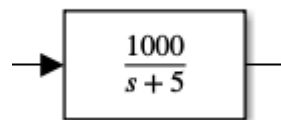


Рисунок 3.4. Передавальна функція станції видуву

3.5 Математична модель ливарної машини

Для побудови формули ливарної машини, яка працює з ПЕТФ гранулами і в якій контролюються температура і тиск, потрібно врахувати декілька ключових параметрів. Ось загальний вигляд такої формули:

$$Q = \alpha \cdot Gn \cdot e^{\beta(T - T_{\text{opt}})} \cdot P_{\text{opt}} P \cdot C(T, P) \cdot R$$

Q — кількість або якість продукції.

G — кількість гранул ПЕТФ, що подаються в машину.

T — температура процесу.

P — тиск у машині.

T_{opt} та P_{opt} — оптимальні температура та тиск для даного процесу.

α, β, n — константи, які визначаються експериментально.

e — основа натурального логарифму, що використовується для моделювання експоненційної залежності від температури.

$C(T, P)$ — коригувальний множник, що враховує додаткові змінні, такі як вологість, швидкість подачі та інші фактори, що залежать від температури та тиску.

R — коефіцієнт відновлення, що враховує можливі втрати матеріалу чи енергії в процесі.

Припустимо, що всі інші параметри, крім G , T і P є сталими або змінюються незначно. Тоді, зосередившись на G , T і P ми можемо записати часткові похідні для кожного з цих параметрів.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial G} \frac{dG}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial T} \frac{dT}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial P} \frac{dP}{dt}$$

$\frac{dQ}{dt}$ - швидкість зміни продуктивності.

$\frac{\partial Q}{\partial G}$ - часткова похідна Q за G .

$\frac{dG}{dt}$ - швидкість зміни кількості гранул ПЕТФ.

$\frac{\partial Q}{\partial T}$ - часткова похідна Q за T .

$\frac{dT}{dt}$ - швидкість зміни температури.

$\frac{\partial Q}{\partial P}$ - часткова похідна Q за P .

$\frac{dP}{dt}$ - швидкість зміни тиску.

Для кожної часткової похідної потрібно враховувати початкову формулу $Q = \alpha \cdot$

$Gn \cdot e^{\beta(T - T_{opt})} \cdot P_{opt}P \cdot C(T, P) \cdot R$, але для їх точного визначення потрібно знати конкретні значення параметрів, зокрема α , β , n , T_{opt} , P_{opt} , та форму коригувального множника $C(T, P)$.

Це рівняння дозволяє враховувати динаміку процесу виробництва в ливарній машині та може бути використане для аналізу та оптимізації процесу.

Для побудови передаточної функції з диференційного рівняння, яке ми розглядали раніше, потрібно спочатку перетворити диференційне рівняння в домені Лапласа. Передаточна функція $H(s)$ визначається як відношення Лапласового перетворення вихідного сигналу до Лапласового перетворення вхідного сигналу при нульових початкових умовах.

Диференційне Рівняння:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial G} \frac{dG}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial T} \frac{dT}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial P} \frac{dP}{dt}$$

Перетворимо кожен член рівняння з використанням Лапласового перетворення:

$$sQ(s) = \left(\frac{\partial Q}{\partial G}\right)G(s) + \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)T(s) + \left(\frac{\partial Q}{\partial P}\right)P(s)$$

Передавальна функція:

$$HG(s) = \frac{G(s)}{Q(s)} = \frac{\left(\frac{\partial Q}{\partial G}\right)}{s}$$

Аналогічно, ми можемо визначити передаточні функції для T та P .

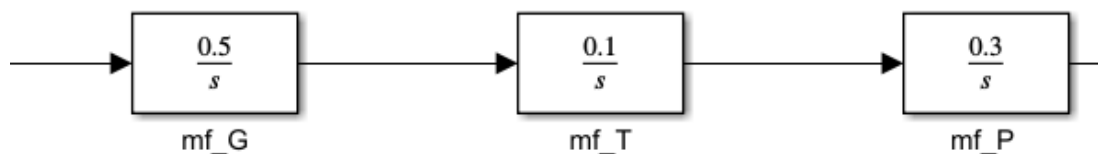


Рисунок 3.5. Передавальна функція ливарної машини

3.6 Математична модель станції видуву

Для створення моделі станції видуву, де ключовими параметрами є час видування, тиск повітря і ступінь зжиму, ми можемо сформулювати диференційне рівняння, що описує залежність продуктивності або якості видуву від цих змінних.

Припустимо, що Q - це вихідна величина, яка описує якість або продуктивність видуву. Тоді диференційне рівняння може бути представлено так:

$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right) \frac{dT}{dt} + \left(\frac{\partial Q}{\partial P}\right) \frac{dP}{dt} + \left(\frac{\partial Q}{\partial C}\right) \frac{dC}{dt}$$

де:

T - час видування,

P - тиск повітря,

C - ступінь зжиму,

$\frac{\partial Q}{\partial T}$ $\frac{\partial Q}{\partial P}$ $\frac{\partial Q}{\partial C}$ - часткові похідні Q по відповідним змінним.

Тепер перетворимо це диференційне рівняння у передаточні функції для кожного параметра:

$$HT(s) = \frac{Q(s)}{T(s)} = s \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)$$

$$HP(s) = \frac{Q(s)}{P(s)} = s \left(\frac{\partial Q}{\partial P}\right)$$

$$HC(s) = \frac{Q(s)}{C(s)} = s \left(\frac{\partial Q}{\partial C}\right)$$

де s - змінна Лапласа.

Ці передаточні функції можуть бути реалізовані в MATLAB таким чином:

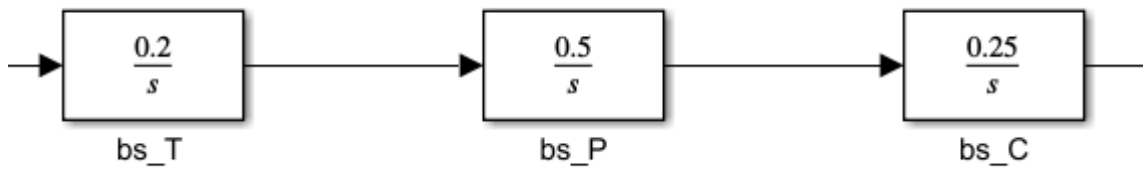


Рисунок 3.6. Передавальна функція станції видуву

Складемо загальну систему описаного механізму на основі отриманих раніше даних, результат моделювання представлений на (Рис. 3.6)

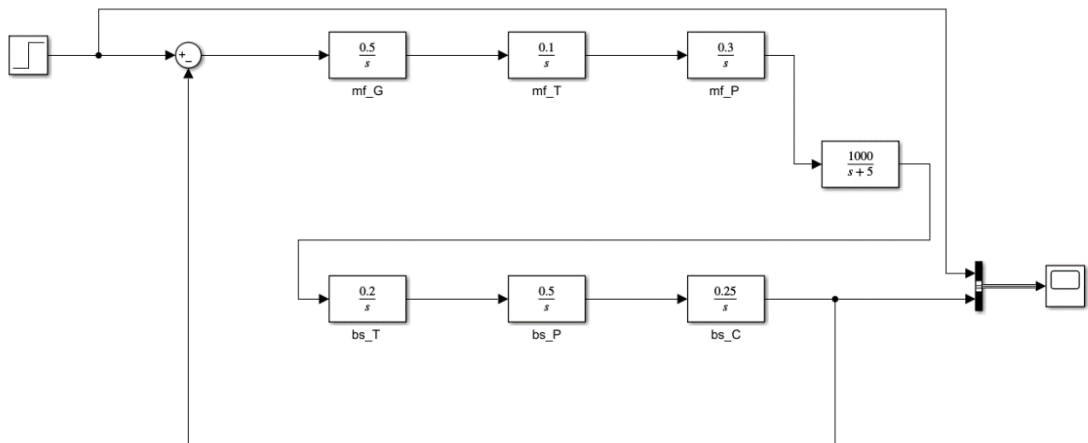


Рисунок 3.6. Загальний вигляд структури виготовлення ПЕТФ-тари

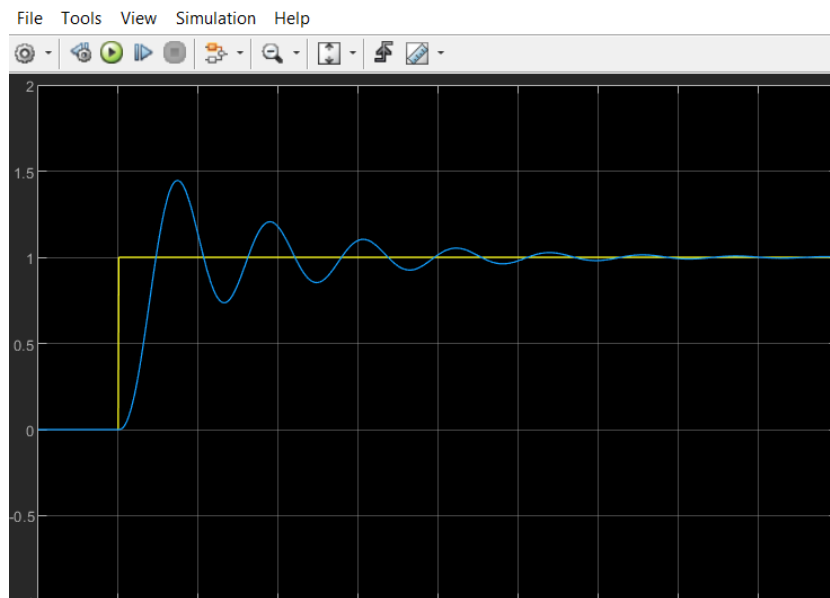


Рисунок 3.7. Графік перехідного процесу

РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ НАГРІВАЧА

В цьому розділі ми порівняємо роботу ПІД регулятора та регулятора на основі нейронних мереж для управління нагрівачем в нашій вже розробленій системі.

4.1 Впровадження нейромережі

Задача полягає в створенні нейронної мережі, яка б регулювала температуру, виходячи з даних від передатної функції. Це вимагає створення нейронної мережі, яка зможе прогнозувати необхідні керуючі сигнали на основі поточних параметрів системи, зокрема температури. Ось як це можна зробити у MATLAB:

Зібрати Дані: Для початку потрібно зібрати дані про поведінку системи, включаючи вхідні сигнали (наприклад, поточну температуру) та відповідні вихідні керуючі сигнали (тобто, як система реагувала на ці вхідні сигнали).

Створити Мережу:

Вибрати архітектуру нейронної мережі. Для задачі регулювання часто підходить проста повнозв'язна нейронна мережа.

Можна використати `feedforwardnet` або `fitnet` у MATLAB для створення архітектури мережі.

Навчити Мережу:

Поділемо дані на тренувальні та тестові набори.

Будемо використовувати тренувальні дані для навчання мережі. Параметри тренування, такі як кількість епох, швидкість навчання, можуть бути налаштовані відповідно до нашої системи.

Тестування мережі:

Після тренування, використаємо тестовий набір даних, щоб оцінити ефективність мережі.

Інтегрувати з Системою:

Після тестування та валідації, будемо інтегрувати нейронну мережу в систему керування таким чином, щоб вона могла приймати поточні показники температури та надавати керуючі сигнали.

Створення Мережі в MATLAB

З використанням `feedforwardnet`:

```
fx >> % Створення мережі з одним прихованим шаром з 10 нейронами
net = feedforwardnet(10);

% Вибір функції тренування
net.trainFcn = 'trainlm'; % Levenberg-Marquardt

% Вибір функції активації
net.layers{1}.transferFcn = 'tansig'; % Гіперболічний тангенс
net.layers{2}.transferFcn = 'purelin'; % Лінійна
```

Параметри навчання визначають, як мережа буде "вчитися" на основі даних.

```
>> % Розбиття даних на навчальні, тестові та валідаційні набори
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;

% Максимальна кількість ітерацій тренування
net.trainParam.epochs = 1000;

% Мета продуктивності
net.trainParam.goal = 0.01;

% Швидкість навчання
net.trainParam.lr = 0.01;
```

Ініціалізуйте мережу та, за потреби, виконайте передтренування з використанням частини ваших даних.

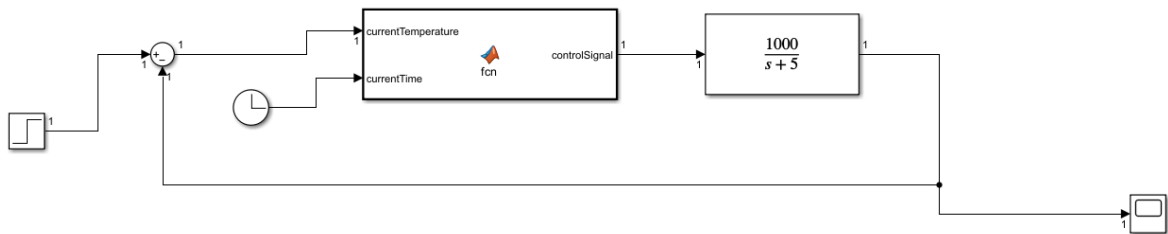

```
>> % Ініціалізація var
net = init(net);

% Передтренування (опціонально)
[net, tr] = train(net, inputs, targets);
```

Після тренування зберігаємо навчену мережу:

```
>>
>> save('trainedNetwork.mat', 'net');
>>
```

Ця функція буде аналізувати поточну температуру та порівнювати її з заданим діапазоном температур. Якщо температура виходить за ці межі, функція видасть сигнал для її корекції.



Функція яка знаходиться в блоці (fcn)

```

MATLAB Function
untitled1 MATLAB Function
1 function controlSignal = fcn(currentTemperature, currentTime)
2 % Завантаження навченої мережі
3 persistent net;
4 if isempty(net)
5     net = load('trainedNetwork.mat').net;
6 end
7
8 % Використання мережі для аналізу поточної ситуації
9 predictedControl = net([currentTemperature; currentTime]);
10
11 % Логіка регулювання
12 if predictedControl > 0
13     % Якщо передбачуваний контрольний сигнал позитивний, підвищуємо температуру
14     controlSignal = 1; % Активація нагрівання
15 else
16     % Якщо передбачуваний контрольний сигнал негативний, знижуємо температуру
17     controlSignal = -1; % Активація охолодження
18 end
19 end

```

4.2 Аналіз та синтез регулятора для управління роботою нагрівача

Схема системи контролю температури в установці для попереднього пластифікації, створена за допомогою MATLAB/Simulink, зображена на рисунку 4.1.

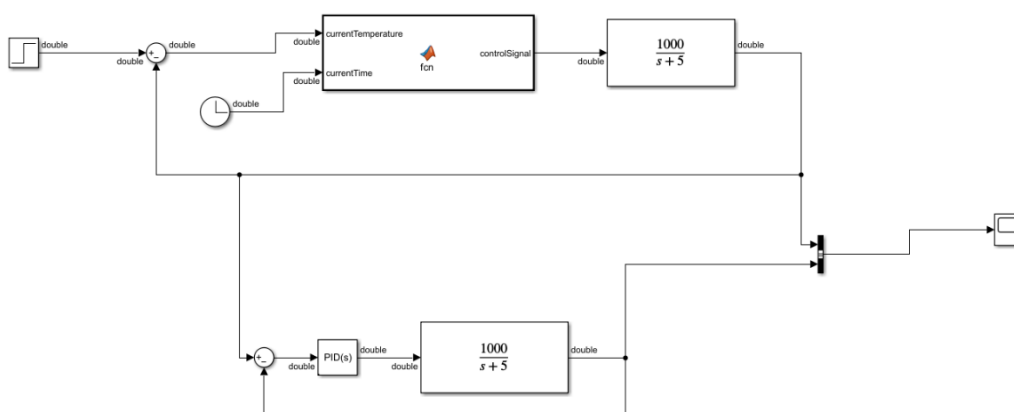


Рисунок 4.1 — Модель системи регулювання температури в нагрівачі.

Презентована модель демонструє функціонування обігрівача з використанням контролера, а кастомною функцією, яка використовує нейромережу. Діаграма, що показує відмінності цифрової системи з ПІД-контролем та з мережею, відображена на рисунку 4.2. На графіку цифрова характеристика з ПІД-корекцією позначена жовтим кольором, а характеристика нейромережі - жовтим.

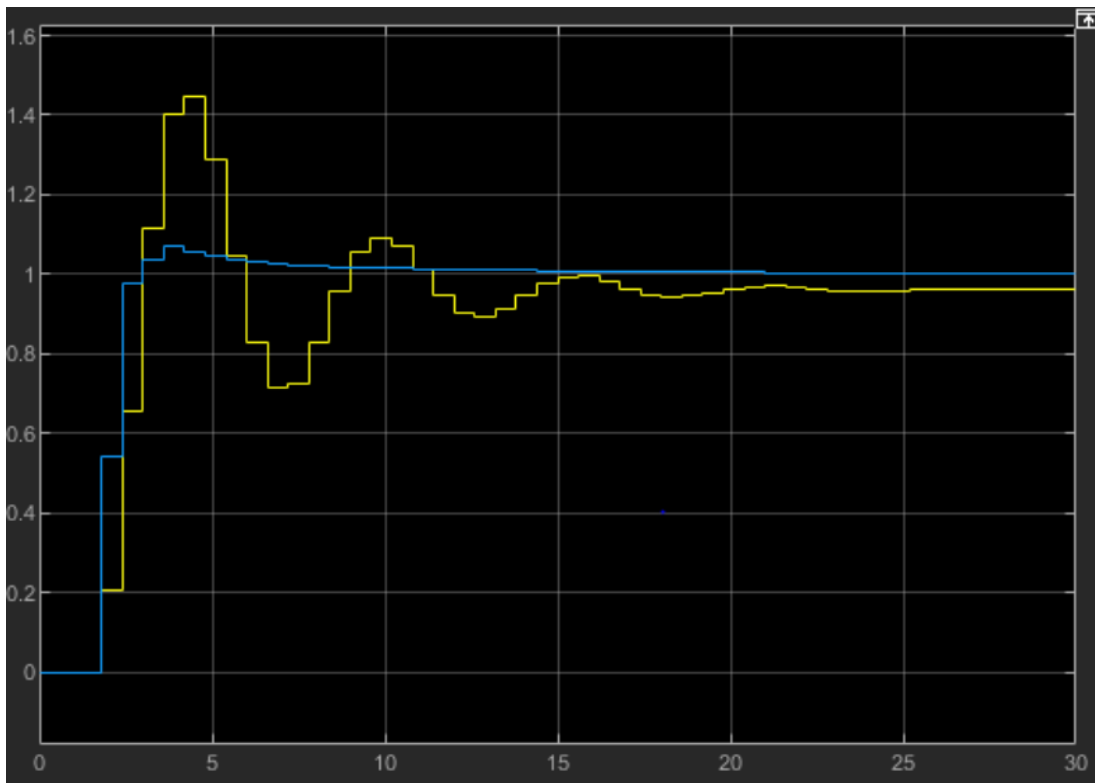


Рисунок 4.2 — графік характеристики цифрової системи

Параметри ПІД-регулятора зображено на рисунку 4.3

Proportional (P):	<input type="text" value="0.526131640430139"/>	⋮
Integral (I):	<input type="text" value="0.0532670865165147"/>	⋮
Derivative (D):	<input type="text" value="0.693594481799399"/>	⋮

Рисунок 4.3 — параметри ПІД регулятора

Цей контролер є ідеальним для нашої системи, оскільки він не викликає перерегулювання. Це критично для обігрівачів, адже перегрів матеріалу в установці для попереднього пластифікації може знизити якість виготовлених

преформ. Детальні показники ефективності перехідного процесу з використанням цього контролера, а також без нього, представлені у таблиці 4.1

Показники якості	З регулятором	Без регулятора
h_{max}	1.02	0.943
$t_{пп}$	22.2 с	7.9 с
$t_{уст}$	22.2 с	4.02 с
$h_{уст}$	1	0.837
σ	2 %	16 %

Таблиця 4.1 — показники якості перехідного процесу

4.3 Висновок до розділу

Була створена модель для управління температурою та подачою води охолодження в установці для станції розігріву. Були проаналізовані перехідні характеристики цих процесів, відображені на осцилографі. Використовуючи графіки, були визначені показники якості цих перехідних процесів, які потім були внесені у відповідні таблиці. Це дозволило зробити висновок про значне поліпшення ефективності системи завдяки застосуванню ПД-регуляторів.

ВИСНОВКИ

У ході виконання даної дипломної роботи, було проведено дослідження тенденцій розвитку ринку ПЕТ-тари та визначено її численні переваги порівняно з іншими видами упаковки. Під час роботи був ретельно проаналізований технологічний процес виготовлення ПЕТ-тари та його етапи.

На основі цього аналізу була розроблена загальна Функціональна Схема Автоматизації (ФСА) для всієї системи управління цим виробничим процесом. В цій схемі було окремо виділено шість ключових ділянок виробництва:

- Ділянка зберігання і підготовки сировини.
- Ділянка виробництва преформ.
- Ділянка виготовлення тари із готових преформ.
- Ділянка зберігання готової продукції.
- Компресорна установка.
- Охолоджувальна установка.

Далі, були проведені детальні аналізи технологічних процесів, які відбуваються на кожній з вищезазначених ділянок. В результаті цього аналізу виявлено, що ділянки виробництва преформ та виготовлення тари з преформ вимагають більш докладного дослідження.

Для забезпечення потреб управління цими процесами, були розроблені структурні та функціональні схеми, які дозволяють повною мірою задовольнити потреби в управлінні даними процесами. Також були обрані відповідні обладнання для зчитування інформації, керуючись характеристиками, наданими виробниками цього обладнання. Паралельно з цим були розроблені алгоритми для керування окремими елементами системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нагорний А. А. Автоматизація процесу виготовлення Petg пляшок. Суми: Сумський державний університет, 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/88554/1/Nahorny_i_bak_rob.pdf
2. Ринок продукції з ПЕТ, поліетилену та поліпропілену в Україні: виробництво власне, використовуючи імпортований пластик [Електронний ресурс] <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-izdelij-iz-pet-polietilena-polipropilena-v-ukraine-delaem-sami-no-iz-importnogo-plastika>
3. КЛАСИФІКАЦІЯ ПЕТФ-ПРЕФОРМ [Електронний ресурс] <https://jak.koshachek.com/articles/klasifikacija-pet-preform.html>
4. Конфігурації преформ [Електронний ресурс] <http://aszorin.blogspot.com/p/netstal-hp-3500.html>
5. СТАНДАРТ ВРФ і РСО [Електронний ресурс] <https://plastpacking.ru/bez-rubriki/standarty-bpf-i-rso>
6. Норми різьблення для харчових пляшок [Електронний ресурс] <https://souzplast.com/30114.htm>
7. ВИДИ ПЕТФ ПРЕФОРМ [Електронний ресурс] https://www.polymer.ru/letter.php?n_id=4462&cat_id=3&page_id=2
8. Контроль якості пет, пет-пляшки [Електронний ресурс] https://maspack.ru/kontrol_kachestva_pet/
9. Ливарне виробництво бутілок [Електронний ресурс] <https://klona.ua/blog/liteynoe-proizvodstvo/izgotovlenie-pressform-ot-cherteja-do-seriynogo-proizvodstva>
10. Копресор для виготовлення ПЕТ [Електронний ресурс] <http://99bar.ru/kompressory-porshnevye/415-porshnevoj-kompressor-k22.html>.
11. System 63 Hauben in PETG und PP [Електронний ресурс] <https://www.alsident.com/system-63-de>

12. Автомат для выдуву тари [Электронний ресурс]
https://masterpet.ru/equipment/blowing/pv1_1000_25/
13. Система ПРТ4-1800 [Электронний ресурс]
https://masterpet.ru/equipment/heating/prt4_1800/
14. Система ВТХО-6 [Электронний ресурс] http://www.phs-holod.ru/manufacture/ohlajdenie_jidkosti/ustanovki_jidkosti_pishivih/vtho.html
15. Система APF-Max 8 [Электронний ресурс] <https://pet-eu.com/ru/produkty/vyduvnoe-oborudovanie/apf-max-8/>
16. Система АПФ-30 [Электронний ресурс] <https://pet-eu.com/ru/produkty/vyduvnoe-oborudovanie/apf-30-250/>
17. Система УПФ-5 [Электронний ресурс] <https://pet-eu.com/ru/produkty/vyduvnoe-oborudovanie/upf-5/>
18. Давач CZAKI – 221, 231 [Электронний ресурс]
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%>
19. [Электронний ресурс]
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%>
20. Давач CZAKI – 293 [Электронний ресурс]
http://www.czaki.wchfs.pl/produkt/czujniki-termoelektryczne-tp-231_234/
21. Давач CZAKI – 293 [Электронний ресурс]
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0>.
22. PETG <https://www.material4print.de/filament/petg/>
23. Давач тиску. Різновиди. [Электронний ресурс]
<http://kontechsystem.com.ua/articles/datchiki-davlenija-tipy-harakteristiki-osobennostipodbor/>
24. Давач SMC PSE530 [Электронний ресурс]
<https://ua.rsdelivers.com/product/smc/pse530-m5-1/pressure-sensor-1mpa-6mm-1pc-fs/7007569>

25. Petg-bottls <https://www.bannerengineering.com/za/en/solutions/smart-sensors/detection-of-plastic-pet-bottles.html>
26. Давач ДМП343 [Електронний ресурс] <https://kip62.ru/p47909789-malogabaritnye-datchiki-absolyutnogo.html>
27. Ультразвуковий давач рівня EchoTREK [Електронний ресурс] <https://www.rospribor.com/catalog/daturc/urovnemer/>
28. Давач S-образного типу CAS SBA-C3 [Електронний ресурс] <https://topscan.com.ua/p8263269-cas-sbatenzodatchik.html>.
29. Давач НВМ С16І2С3 [Електронний ресурс] <http://contragent.com.ua/produktsiya/g-sh-o/item/datchikkontrolya-skorosti-dks>.
30. АУК-1М [Електронний ресурс] <https://sensorika.com.ua/shop/beskontaktnyie-vyiklyuchатели/datchikikontrolya-skorosti/datchik-kontrolya-skorosti-iv1b-af81a5-43n-10-lz>

