

Міністерство освіти і науки України  
Західноукраїнський національний університет  
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ЯВНА Аліна Романівна

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ ШОКОЛАДУ/  
SYSTEM OF AUTOMATED MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL  
PROCESS OF CHOCOLATE PRODUCTION**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

Випускна кваліфікаційна робота  
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконала: студент групи АКІТ-41  
Явна А.Р.

---

Науковий керівник:  
д.т.н., професор Николайчук Я.М.

---

Випускну кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту:  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри СКС  
\_\_\_\_\_ А. І. Сегін

Тернопіль 2023

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ .....	9
1.1 Характеристика продукції та сировини .....	9
1.2 Опис технологічного процесу .....	10
1.3 Технологічне обладнання для виготовлення шоколаду.....	13
1.4 Технологічна карта параметрів технологічного процесу.....	18
1.5 Функціональна схема автоматизації.....	21
2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	24
2.1 Технічні засоби для контролю температури обсмажувальних зерен	24
2.2 Засоби для вимірювання температури та рівня какао тертого.....	25
2.3 Вибір засобу для вимірювання витрат компонентів.....	26
2.4 Технічні засоби для вальцювальної машини .....	27
2.4.1 Датчик для контролю температури суміші .....	27
2.4.2 Датчик для контролю тиску подання суміші .....	28
2.4.3 Контролер E5CC-QX2ASM-880.....	29
2.5 Засоби вимірювання температури шоколадної маси .....	30
3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ...	53
3.1 Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів.....	53
3.2 Розробка структурної схеми системи автоматизації.....	54
3.3 Розрахунок параметрів математичної моделі.....	56
3.4 Вибір та обґрунтування параметрів перехідного процесу.....	57
3.5 Обґрунтування закону регулювання.....	58

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

3.6 Розрахунок оптимальних настроювань регулятора.....	58
3.7 Моделювання та оптимізація перехідного процесу.....	59
3.8 Розрахунок показників надійності контуру регулювання.....	63
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	65
4.1 Сучасний стан охорони праці в Україні.....	65
4.2 Оцінка заходів із забезпечення електробезпеки.....	72
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

						Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Технологічний процес виготовлення шоколаду передбачає первинну обробку какао-бобів, приготування шоколадної маси, формування шоколадних виробів, пресування какао тертого, пакування шоколадних виробів і фасування. У такому виробництві застосовується велика кількість складного, високоточного обладнання.

Найбільш ефективним методом покращення умов праці та якісного виконання усіх етапів виробництва є застосування автоматизованої системи управління. Передбачена широка автоматизація технічних процесів на основі автоматизованих систем, приладів та датчиків, за допомогою яких здійснюється керування певними ділянками виробництва.

Лише шляхом автоматизації технологічних комплексів можна стабілізувати швидкість роботи, спростити спостереження та знизити сумарне енергоспоживання в цеху. Через чітке дотримання параметрів виготовлення, строге дозування кожного компонента, досягається покращення якості продукції, і знижується кількість браку. Також автоматизація дозволяє мінімізувати частку ручної праці на виробничій лінії, що дає можливість запобігати можливому травматизму.

**Мета дослідження.** Метою бакалаврської роботи є розробка та проектування комплексної автоматизації технологічної лінії виготовлення шоколаду, визначення параметрів для контролю, керування та сигналізації, підбір необхідних технічних засобів автоматизації, їх детальний опис, розрахунок їх надійності, створення структурної та принципової схем.

Впроваджені нововведення повинні забезпечити точність отримуваних даних про технологічні параметри, і чіткість прийнятих рішень для їх регулювання. Завдяки вчасному надходженню даних про відхилення і коливання технологічних параметрів, відносно допустимих меж, має зрости надійність функціонування технологічного обладнання.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

Підсумком впровадженої модернізації повинно стати обґрунтування практичних рекомендації для системи автоматизованого управління технологічним процесом виготовлення шоколаду, яка дозволить забезпечити стабільну якість продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- реалізація аналізу технологічного процесу та виявлення недоліків існуючих технічних засобів, що використовуються при технологічному процесі виготовлення шоколаду;

- складання порад для модернізації системи керування технологічною лінією виробництва.

**Предмет дослідження.** Надійне технологічне обладнання шоколадного виробництва та безпечні умови праці.

**Об'єкт дослідження.** Технологічний процес виготовлення шоколаду.

**Методи дослідження.** У процесі дослідження застосовувались: математичні методи і системи управління, які дозволять мінімізувати частку ручної праці на виробничій лінії.

**Практичне значення одержаних результатів.** Створені практичні рекомендації, що пропонуються у дипломній роботі, призначені для створення та забезпечення оптимальних умов праці на підприємстві, автоматизації процесів по виготовленню шоколадних виробів.

**Напрямки подальшого розвитку.** Розроблена модернізація слугуватиме проектом для вдосконалення систем автоматизованого управління технологічним процесом виготовлення шоколаду за допомогою відповідних технічних засобів автоматизації.

						Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

# 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

## 1.1. Характеристика продукції та сировини

Шоколад є популярним продуктом споживання з неперевершеним смаком та ароматом. Продукція шоколадного виробництва складається з кількох компонентів, таких як какао-порошок, цукор, какао-масло та інші додаткові інгредієнти. Основною сировиною для виробництва є какао-боби та цукор.

Цукор – це білий, кристалічний порошок, який виробляють з цукрового буряка і тростини. Він використовується для надання солодкого смаку.

Головним компонентом є какао-боби, які збираються, сушаться, обсмажуються та обробляються для отримання какао-масла та какао-порошку. Какао-боби – насіння какао-дерева, що росте у тропічних районах центральної та південної Америки, Африки та Азії. Боби збираються вручну і після цього проходять декілька етапів обробки, які допомагають вилучити якнайбільше корисних речовин та надати кінцевому продукту потрібний смак та аромат.

Окрім какао тертого, цукрової пудри та какао-масла, в змішувач подають смакові та ароматичні добавки. Найчастіше, застосовують такі смакові добавки як: сухе молоко, сухі вершки, обсмажені (подрібнені або терті) горіхові ядра (мигдалю, фундука, кеш'ю і арахісу), фрукти (цукати, цедру, сухофрукти) та інше. В якості ароматизаторів в шоколадну масу вводять ванілін або ванільну есенцію. Дозування компонентів забезпечується датчиками, встановленими на опорах змішувача.

Шоколадна продукція характеризується такими параметрами, як:

- вміст какао-порошку та какао-масла;
- відсоток цукру;
- консистенція (наприклад, м'яка, тверда або кремувата);

						Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- аромат та смак.

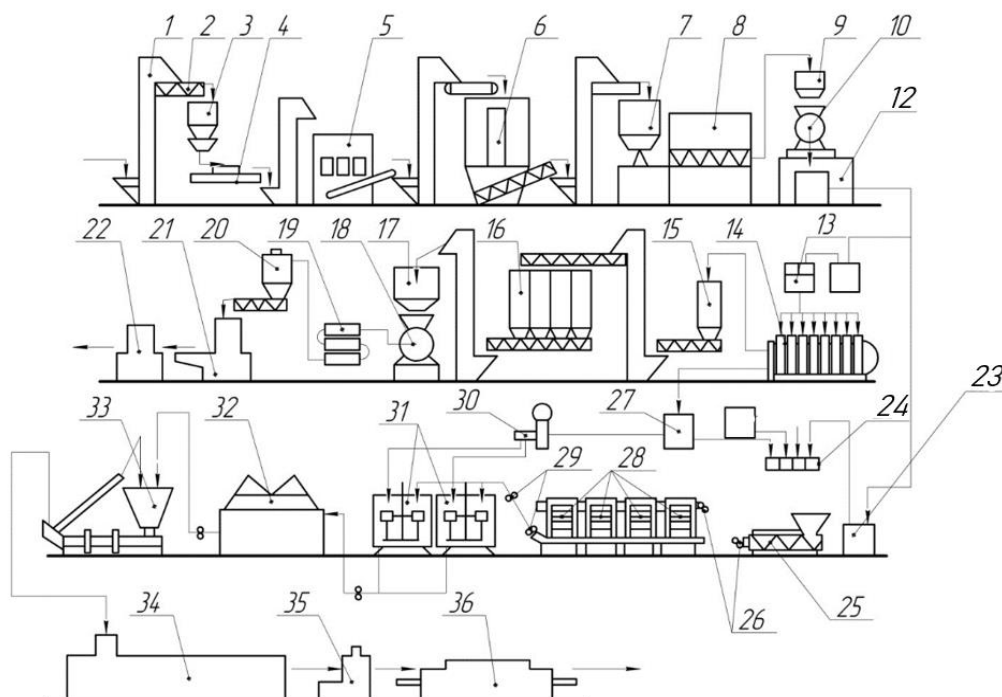
Якість шоколаду залежить від якості сировини та правильності технологічного процесу його виробництва. Шоколад повинен мати однорідну текстуру, без видимих часток невимішаних компонентів або дефектів.

## 1.2. Опис технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення шоколаду здійснюється в декілька етапів, які можна об'єднати в наступні групи:

- обробка какао-бобів;
- пресування какао тертого;
- виробництво та фасування какао-порошку;
- виготовлення какао-масла;
- приготування шоколадної маси;
- формування шоколадних виробів;
- пакування шоколадних виробів.

Машинно-апаратурна схема технологічного процесу виготовлення шоколаду представлена на рисунку 3.1.



					Арк.
					11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	

### Рисунок 1.1 – Машино-апаратурна схема виробництва шоколаду

Спершу, какао-боби обробляють, а саме піддають ферментації, обсмажуванню та подрібненню.

Спочатку боби завантажують в приймальну воронку 1, звідки, за допомогою шнеку 2, подаються на ваги 3. Потім, стрічковим конвеєром 4 какао-боби подаються в очисно-сортувальну машину 5. На даному етапі, сортування проводять задля очищення бобів від сторонніх домішків та відокремлення пошкоджених надломлених зерен.

Далі, какао-боби подаються в шахтну сушарку 6, де вони піддаються термічній обробці. Цей процес є одним з основних операцій над бобами, адже завдяки ньому шоколад стає твердим та стійким до тепла. Термічна обробка відбувається у два етапи, а саме:

- обсмажування (при температурі 140-180°C);
- охолодження (температура бобів знижується до 35-40°C).

Після термічної обробки какао-боби подають до проміжного бункера 7. З бункера боби надходять в дробильно-сортувальну машину 8, на якій здійснюється подрібнення зерен, розподіл отриманої крупки за розмірами та відокремлення какаовели. Отримана какао-крупка подається в бункер 9. З бункера крупка надходить в розмельний агрегат 10 для подрібнення. Під час дроблення відбувається розрив клітин зерна, з яких виділяється какао-масло. Отримана суспензія надходить в приймальний збірник 11 і шестерним насосом 12 перекачується в збірники на дві лінії переробки: для отримання какао-масла і шоколадної маси.

Суспензія зі збірника 13 надходить для пресування на гідропресову установку 14. Процес пресування проходить при температурі близько 100°C. Цикл пресування відбувається 15-40 хв, залежно від залишеного жиру в макусі. Утворені при пресуванні диски какао-макухи надходять на грубе подрібнення в макуходробарку 15. З дробарки отримані гранули макухи направляються в бункери 16 для охолодження. Після охолодження гранули подаються у проміжний бункер 17 розмельювального агрегату 18. Отриманий

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12



какао-порошок охолоджується в теплообміннику 19 і подається в циклон 20, де відділяється від повітря. Готовий порошок надходить на фасувально-пакувальний автомат 21, де фасується в картонні коробки, які згодом обклеюють целофаном на агрегаті 22. Отримане в результаті пресування какао-масло надходить у збірник 27.

Терте какао зі збірки 23, надходить на рецептурно-змішувальну станцію, яка укомплектована дозаторами 24 і змішувачем 25. Через дозатори в змішувач подаються какао-порошок, какао-масло, цукор та інші компоненти, передбачені рецептурою. Основним призначенням цього процесу є ретельне рівномірне змішування всіх інгредієнтів разом у певних пропорціях, для отримання гладкої, однорідної, пластичної, тістоподібної суміші, яка буде основою для шоколаду. Отримана в змішувачі шоколадна маса конвеєром 26 транспортується в п'ятивалковий млин 28. Далі, какао-масло з дозатора 30 та провальцована маса конвеєром 29 подається в шоколадно-оздоблювальну машину 31. Також, на цьому етапі в шоколадну суміш додається соєво-фосфатидний концентрат. Цей концентрат являє собою поверхнево-активну речовину, що здатна утворювати рідку, малов'язку шоколадну масу. Після цього виготовлена шоколадні суміш перекачується в місткості 32 для збереження. У місткостях температура маси постійно підтримується в межах 42-45°C.

Далі, шоколадну масу темперують в безперервнодіючій автоматичній машині 33. Цей етап включає нагрівання та охолодження шоколаду за певний час та при певних температурах. Темперування дозволяє отримати кінцеву консистенцію та блиск шоколаду, а також сприяє збереженню характерного смаку та аромату. Температура готової шоколадної маси після темперування повинна бути 30-31°C.

Після темперування маса потрапляє на формувальний автомат 34, де шоколад наливають у форми та охолоджують до затвердіння. Форми, що подаються закріплені та ледь підігріті до 33-35°C. Потім готовий шоколад знімається з форм та відправляється на пакування.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

Готовий шоколад запаковують в загортальній машині 35. Шоколад в плитках загортають у фольгу і етикетку, або в художньо оформлену фольгу. Шоколадні медалі загортають у фольгу. Шоколадні фігури загортають у художньо оформлену фольгу або полімерну плівку. Далі, шоколадні вироби запаковуються в коробки та заклеюються на машині 36.

Кожен з цих етапів може бути автоматизований за допомогою спеціалізованого обладнання, яке забезпечує швидке та точне виконання задач, зниження витрат на працю, а також підвищення якості продукції. Крім того, на кожному етапі можна встановити додаткові системи контролю якості, що дозволяє виявляти та виправляти недоліки виробництва в режимі реального часу.

### 1.3. Технологічне обладнання для виготовлення шоколаду

Технологічне обладнання для виготовлення шоколаду може бути досить складним і включати в себе багато етапів виробництва. Для кожного з цих етапів можуть використовуватися різні види устаткування.

Устаткування для очищення какао-бобів. Очисно-сортувальна машина для какао-бобів - це устаткування, яке дозволяє очищувати та сортувати какао-боби від різних домішок та забруднень. Така машина (рис.1.2) складається з трьох основних компонентів: подачі бобів, системи очищення та сортування. Під час процесу очищення, за допомогою вентиляторів та циклонів, боби можуть бути очищені від легких та тяжких домішків. Після процесу очищення боби піддаються сортуванню, під час якого відділяються залишки шкірки, зерна сортуються за розміром, формою та іншими параметрами, які впливають на якість продукту. Сучасні очисно-сортувальні машини для какао-бобів використовуються в багатьох виробництвах шоколаду та кондитерських виробів, оскільки вони забезпечують високу якість продукту та зменшують ризик забруднення, що може бути шкідливим для здоров'я людей.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

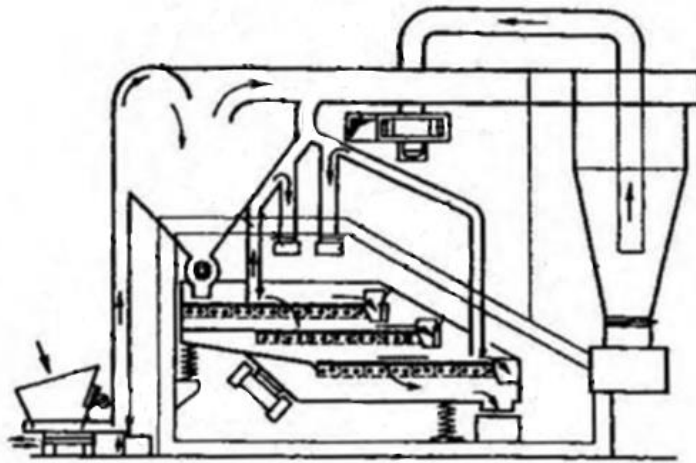


Рисунок 1.2 – Схема очисно-сортувальної машини для какао-бобів

Устаткування для обсмажування какао-бобів. На такому устаткуванні(рис.1.3) сире какао-зерно піддається високим температурам, що призводить до розвитку унікального смаку та аромату. Устаткування для обсмажування какао-бобів може бути різним. Наприклад, вертикальною конструкцією, на якій кріпляться необхідні вузли. Така машина має три зони. В зонах I і II відбувається сушка або обсмажування продукту, а в III зоні продукт охолоджується. Відповідно, зони забезпечені фільтрами, шнеками, відвідними патрубками і т.д., а також розділені заслінкою. Обсмажений і охолоджений продукт виводиться з сушарки через розвантажувальний пристрій.

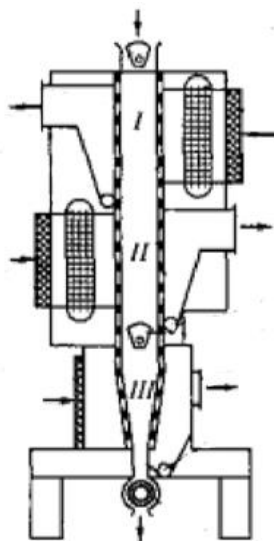


Рисунок 1.3 – Схема вертикальної одноканальної установки

						Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Устаткування для подрібнення какао-бобів. Для подрібнення та розмелення какао-бобів застосовують дробильно-сортувальні машини з розмельними механізмами. Агрегат (рис.1.4) складається з млина, циклону, приймальної ємкості для какао тертого, конденсатора, відцентрового вентилятора і відцентрового насоса. Подрібнюючий механізм млина складається з рухомого і нерухомого дисків. Корпус машини забезпечений водяною сорочкою, через яку пропускається холодна вода, для підтримки температури під час помелу. Дробильно-сортувальні машини з розмельними механізмами - це важлива складова процесу виробництва шоколаду та кондитерських виробів, яка забезпечує якість та однорідність продукту та дозволяє зберігати властивості сирих какао-бобів, що є важливим для кінцевого продукту.

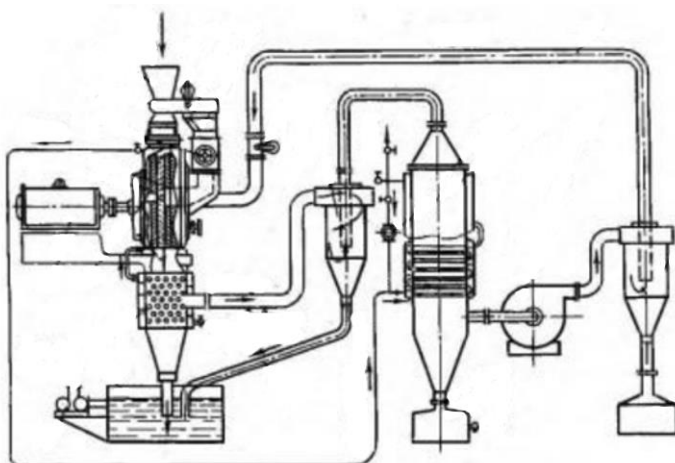


Рисунок 1.4 – Схема установки для дроблення какао-бобів

Устаткування для змішування компонентів шоколадної маси. Таке устаткування зазвичай включає в себе великі міксери, що працюють на принципі перемішування різних інгредієнтів для отримання однорідної маси. Для забезпечення якісного змішування усіх компонентів шоколадної маси використовують спеціальні міксери з різними типами перемішування. Міксер зі спеціальними насадками(рис.1.5) дозволяє отримувати різні типи перемішування, такі як горизонтальне, вертикальне або комбіноване змішування.

						Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

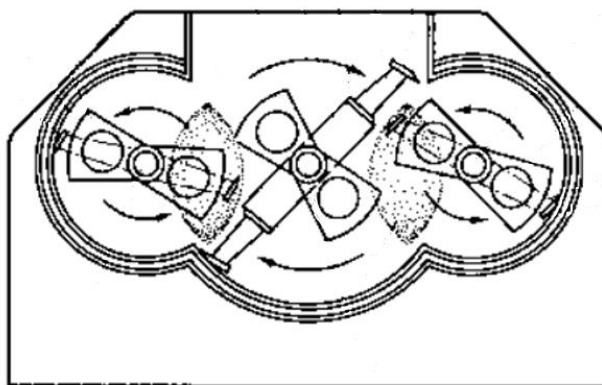


Рисунок 1.5 – Схема міксеру зі спеціальними насадками

Устаткування для вальцювання. Вальцювальна машина(рис.1.6) – це спеціальне обладнання, яке використовується в процесі виробництва шоколаду для подрібнення та змішування шоколадної маси з метою отримання необхідної консистенції та текстури продукту. Устаткування для вальцювання шоколадних мас складається з двох циліндричних валів, розташованих паралельно один до одного. Валки зазвичай виготовляються з нержавіючої сталі, а їх поверхня може бути гладкою або з рельєфним покриттям. Процес роботи такого устаткування полягає в наступному: шоколадна маса подається між валками, які рухаються в протилежні напрямки з однаковою швидкістю. Під час проходження маси між валками, вона поступово подрібнюється та змішується, що дозволяє отримати однорідний продукт з однаковою текстурою та смаком.

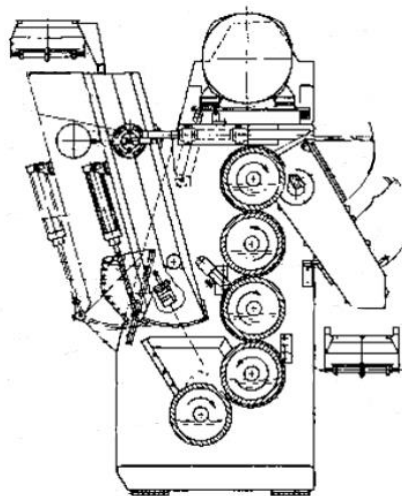


Рисунок 1.6 – Схема вальцювального млина для шоколаду

					Арк.
					17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	

Устаткування для коншування. Машина для коншування(рис.1.7) використовується для покращення текстури та смаку шоколаду шляхом подальшого перемішування та видалення зайвої вологи. Компоненти інтенсивно. Таке устаткування складається з барабана з рельєфним покриттям, а також з панелі управління, яка дозволяє вести контроль за роботою машини, видає повідомлення про неполадки, графічно представляє хід процесу і т.д.. Процес коншування полягає в тому, що шоколадна маса після розмелювання та змішування перекладається в барабан, де постійно перемішується та підтримується в певному температурному режимі. Під час перемішування шоколадна маса охолоджується, що дозволяє їй затвердіти та стати більш стійкою до розтоплення. Крім того, під час даного процесу з маси виділяється зайва волога та вуглекислий газ, що дозволяє досягнути більш насиченого та м'якого смаку продукту.

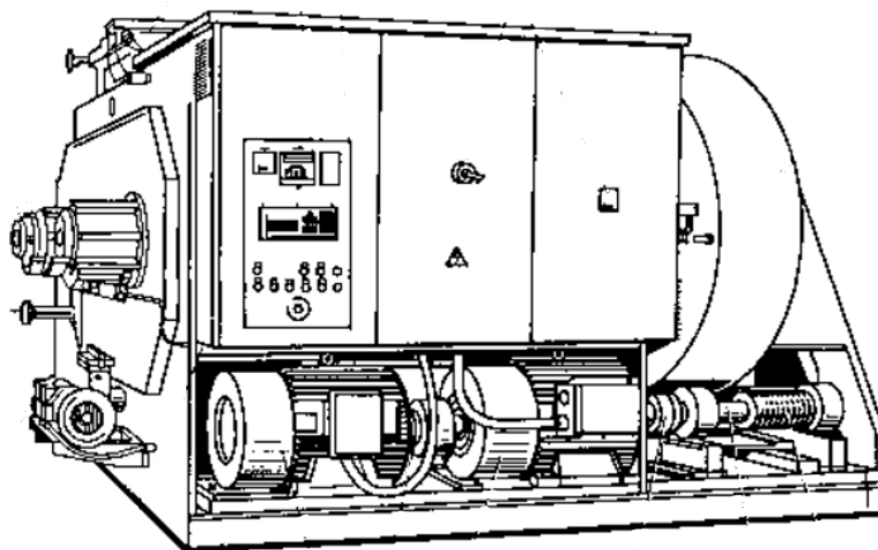


Рисунок 1.7 – Схема коншувальної машини

Устаткування для темперування. Машина для темперування(рис.1.8) використовується в процесі виробництва шоколаду для забезпечення правильної кристалізації жирів у шоколадній масі, що дозволяє досягнути стабільної та однорідної текстури продукту. Устаткування складається з резервуара, вертикальної труби, системи водяних комунікацій і пульта

						Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

управління. Для темперування шоколад розтоплюється в резервуарі, після чого поступово охолоджується та потім знову нагрівається до певної температури, і так по колу.

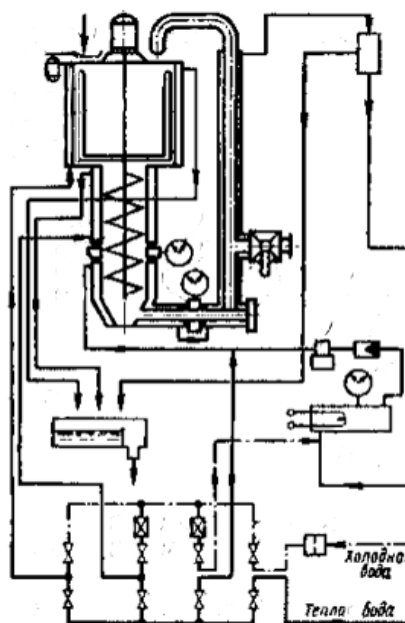


Рисунок 1.8 – Схема машини для темперування з вертикальною камерою

#### 1.4. Технологічна карта параметрів технологічного процесу

Аналізуючи технологічний процес виробництва було зроблено висновок, що схема автоматизації є застарілою. Впровадження модернізації даного виробництва розпочинається з визначення параметрів, які потрібно керувати, сигналізувати і регулювати. Для цього складається карта технологічних параметрів.

Під час виготовлення шоколаду наступні параметри визначатимуть нормальне протікання технологічного процесу:

- Температура обсмажувальних зерен. Під час обсмажування важливо контролювати температуру какао-бобів. Оптимально, вона повинна коливатись в межах 110-150°C. Для контролювання температури під час обсмажування, можна встановити спеціальні термометри в саму машину, які дозволяють точно вимірювати температуру на різних етапах обсмажування,

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

або використовувати більш простий спосіб - просто вимірювати температуру повітря біля устаткування для обсмажування. Контроль температури є одним з ключових етапів виготовлення шоколаду, оскільки якщо температура буде недостатньо високою або зависокою, то смак та якість шоколаду можуть страждати;

- Температура та рівень какао-порошку. Для забезпечення нормального протікання процесу необхідно безперервно подавати какао терте на змішування та контролювати рівень 0,1 – 0,4 м. Також, необхідно підтримувати температуру какао-порошку в межах 60-70°C. Недотримання даного параметру призведе до порушення рецептури або переповнення бункера. Для запобігання цього необхідно на бункері встановити датчик рівня, який подаватиме сигнал на сигналізатор, та датчик температури з'єднаний з регулятором, який впливатиме на електромагнітний клапан;

- Точне дозування кожного компоненту. Дозування компонентів відбувається за допомогою насосів-дозаторів та стрічкового дозатора, регулювання завдяки частотному перетворювачу, а управління ведеться універсальним контролером;

- Температура та тиск вальцювання. Контроль температури та тиску вальцювання шоколадної маси є критичним для отримання високоякісного шоколаду з бажаним смаком та текстурою. Щоб контролювати температуру вальцювання, можна використовувати комп'ютерні системи контролю температури, які автоматично регулюють температуру вальцювання відповідно до потреб виробництва. А для контролювання тиску, використовують спеціальні тискометри, які дозволяють вимірювати тиск на валках;

- Температура темперувальної маси. Контроль температури шоколадної маси під час темперування є дуже важливим етапом виготовлення даного продукту. Щоб контролювати температуру шоколадної маси під час темперування, зазвичай використовують спеціальні термометри. Вони можуть бути контактними (наприклад, електронні термометри, які

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20



підключаються до комп'ютерної системи) або безконтактними (такі як інфрачервоні термометри, які вимірюють температуру без контакту з шоколадною масою).

Складаю технологічну карту параметрів, відповідно до вказаної інформації.

Таблиця 1.1 – Технологічна карта параметрів

Апарат	Параметр				
	Назва	Од. вим.	Номін. значення	Мін. значення	Макс. значення
Устаткування для обсмажування	Температура обсмажувальних зерен	°С	120	110	150
Бункер для тертого какао	Температура какао тертого	°С	65	60	70
	Рівень какао тертого	м	0,3	0,1	0,4
Дозатори	Розхід какао тертого	кг/год	180	60	300
	Розхід цукру	кг/год	150	160	170
	Розхід какао-масла	кг/год	165	100	240
Вальцювальна машина	Температура суміші	°С	48	45	50
	Тиск подання суміші	кг/см <sup>2</sup>	25	20	30
Темперувальна машина	Температура шоколадної маси	°С	29	27	32

Кожен параметр повинен мати відповідне налаштування та механізм контролю, що забезпечить стабільну якість та високу продуктивність виробництва. Крім того, механізми контролю повинні бути підключені до

						Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

системи автоматизації виробництва шоколаду, що дозволяє автоматично коригувати параметри в разі потреби.

### 3.5. Функціональна схема автоматизації

Задача автоматизації шоколадного виробництва полягає в тому, щоб забезпечити постійний контроль технологічного процесу та виключити можливі помилки людського фактору. Створення сучасної функціональної схеми автоматизації дозволить виконати цю задачу, зробити керування технологічним процесом точнішим, а використання сировини – економічнішим.

Функціональна схема автоматизації є основним проектним документом, який визначає структуру і рівень автоматизації технологічного процесу. Вона повинна забезпечити всі вимоги, які передбачені в технологічній карті.

На функціональній схемі (рис.3.9) за допомогою умовних графічних позначень зображені комунікації, технологічне обладнання, органи керування, прилади і засоби автоматизації і т.д., а також пронумеровано етапи, що будуть автоматизовуватись:

1. Обсмажування какао-бобів – температура обсмажувальних зерен контролюється за допомогою термодатчиків та регулювальних клапанів;
2. Бункер – контроль температури та рівня какао-порошку за допомогою вимірювальних датчиків та систем регулювання ;
3. Змішування – точне дозування кожного компоненту контролюється за допомогою дозаторів та вимірювальних датчиків;
4. Вальцювання – температура та тиск вальцювання контролюються за допомогою датчиків тиску та термодатчиків, які зв'язані з регулювальними системами;
5. Темперування – температура шоколадної маси контролюється за допомогою термодатчиків та систем регулювання.

						Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

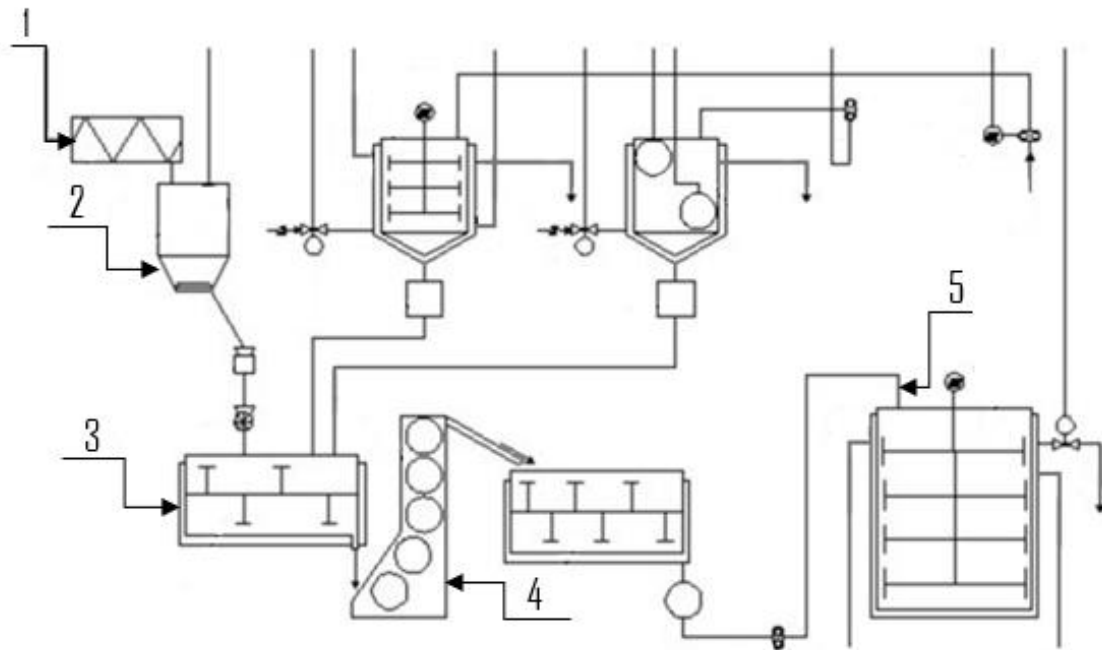


Рисунок 3.9 – Функціональна схема процесу виробництва шоколаду

Для проекту запропоновано зміна старого обладнання на сучасне. Усі компоненти повинні бути підключені до єдиного комп'ютерного управління для забезпечення повного контролю та оптимізації технологічного процесу. При введенні даної автоматизованої системи знизяться витрати сировини, збільшиться точність керування та зросте продуктивність виробництва. А також, зменшиться кількість надзвичайних ситуацій, час ремонту, покращаться умови праці і зменшиться час перебування людей у виробничих приміщеннях.

Виходячи із вказаної інформації розроблена функціональна схема автоматизації працює наступним чином. В устаткуванні для обсмажування какао-бобів, контролюється температура зерен. Обсмажені зерна передаються в подрібнюючий апарат, а звідти у бункер, де безперервно контролюються два параметри: рівень та температура тертого какао, які є важливими задля правильного функціонування цієї машини. Далі, правильно збережене какао терте передається у один із дозаторів. За допомогою дозаторів компоненти(какао терте, цукор, какао-масло) у заданих пропорціях подаються у змішувач. Даний процес забезпечує утворення шоколадної маси

						Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

правильної консистенції, відповідно контроль та регулювання цих параметрів прямо впливає на якість готової продукції. У змішувачі компоненти змішують до одержання гладкої, і після цього передаються у вальцювальну машину, де контролюються два параметри: тиск та температура вальцювання. Далі, суміш потрапляє у темперувальну машину, у якій безперервно контролюватиметься температура маси.

Усі ці параметри збережені та занесені до системи моніторингу та управління, яка дозволяє операторам контролювати виробничий процес та вносити необхідні корективи у режим роботи обладнання.

						Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

## 2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

При виборі технічних засобів автоматизації для шоколадного виробництва необхідно враховувати різні фактори, що впливають на ефективність та якість виробництва. Для автоматизації виробництва використовуватимемо спеціалізоване програмне забезпечення, яке буде об'єднувати всі етапи виробництва та дозволить контролювати їх через один інтерфейс. Програмне забезпечення буде інтегроване з обладнанням та датчиками для збору даних про температуру, тиск, рівень, розхід компонентів та інші параметри.

Відповідно до технологічної карти параметрів та функціональної схеми автоматизації обираємо технічні засоби автоматизації, які відповідатимуть вимогам, щодо нормального протікання технологічного процесу.

### 2.1 Технічні засоби для контролю температури обсмажувальних зерен

Автоматизація контролю температури какао-бобів під час обсмажування є важливим етапом у процесі виробництва якісного шоколаду. Адже, саме обсмажування впливає на смак, аромат і текстуру шоколаду.

Один з можливих технічних засобів для автоматизації вимірювання температури какао-бобів під час обсмажування - є термопара підключена до контролера.

Термопара типу К здатна працювати при температурах від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+1370^{\circ}\text{C}$ , що дозволяє без проблем вимірювати температуру під час обсмажування какао-бобів.

Yokogawa UT150L(рис.2.1) – це контролер термопар з великим кольоровим дисплеєм, який може працювати з різними типами термопар, включаючи тип К. Він має можливість передачі даних через USB або Ethernet, що дозволяє підключати його до комп'ютера та спеціалізованого програмного забезпечення для моніторингу температури. Цей контролер

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

підключатиметься до спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволить збирати та аналізувати дані про температуру під час обсмажування какао-бобів.



Рисунок 2.1 – Контролер термопар Yokogawa UT150L

Застосування автоматичних систем контролю температури може значно збільшити ефективність виробництва шоколаду, зменшити відхилення якості продукту та підвищити точність контролю температури. Крім того, це дозволяє знизити витрати на ручне вимірювання температури та забезпечує більш стабільний процес обсмажування.

## 2.2 Засоби для вимірювання температури та рівня какао тертого

Для автоматизації вимірювання рівня та температури какао тертого використовуватимемо рівнемір VEGAVIB 61 та термопару типу К. Ці засоби аналогічно підключатимемо до контролера Yokogawa UT150L.

Рівнемір VEGAVIB 61(рис.2.2) - це датчик рівня для сипучих матеріалів, який надійно та точно визначає мінімальний чи максимальний рівень. Цей рівнемір має високу точність вимірювання та стійкість до забруднень, що дозволяє використовувати його для вимірювання рівня в складних умовах. Цей рівнемір підключатимемо до контролера за допомогою

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

стандартного  
4-20 мА вихідного сигналу.



Рисунок 2.2 – Датчик рівня VEGAVIB 61

Для вимірювання температури какао тертого використовуватимемо термопару типу К, як і при обсмаженні. Це стандартний тип термопар, який можна підключити безпосередньо до контролера Yokogawa UT150L. Для забезпечення надійності вимірювання термопару необхідно встановити у правильному місці в бункері, регулярно калібрувати та перевіряти її стан.

Усі дані про рівень та температуру передаватимуться на контролер, який забезпечуватиме моніторинг та управління процесом зберігання какао тертого в бункері.

### 2.3 Вибір засобу для вимірювання витрат компонентів

Для вимірювання витрат какао, цукру та какао-масла великих об'ємів використовуватимемо витратоміри. Оптимальним, для шоколадного виробництва, буде вихровий витратомір E+H Proline Prowirl F 200.

Endress+Hauser Proline Prowirl F200(рис.2.3) є досить точним і дешевим засобом вимірювання розходу компонентів. Також, ця модель має високу стійкість до різних типів рідин, включаючи рідини з високою в'язкістю, такі

						Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

як какао терте, цукор і какао-масло. Вихровий витратомір базується на ефекті вихрування, який виникає при проходженні рідини через вихровий датчик. Вихровий датчик містить плоский диск з отвором, по центру якого розташований вихровий генератор. При проходженні рідини, через вихровий датчик, генератор створює вихор, який змінює характеристики руху рідини.



Рисунок 2.3 – Вихровий витратомір E+H Proline Prowirl F200

Для підключення, витратомір встановлюватиметься на трубопроводі і налаштовуватиметься відповідно до технологічної карти параметрів. Після цього витратомір підключатиметься до Yokogawa UT150L за допомогою кабеля з підтримкою необхідного стандарту комунікації.

#### 2.4 Технічні засоби для вальцювальної машини

Для автоматизації температури суміші та тиску подання суміші у вальцювальній машині на шоколадному виробництві можна використати різноманітні технічні засоби. У даному випадку застосовуватимемо датчики тиску та температури, які підключатимемо до контролера.

##### 2.4.1 Датчик для контролю температури суміші

						Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Для контролю температури суміші у вальцювальній машині використовуватимемо Endress+Hauser TMT84(рис.2.4).

Е+Н TMT84 - це компактний датчик температури, призначений для вимірювання температури рідини та газу. Він підходить для використання в багатьох промислових застосуваннях, включаючи шоколадне виробництво. Цей датчик забезпечує високу точність та надійність вимірювання, завдяки своїй компактній конструкції та високоякісним матеріалам корпусу. Також, він може працювати в широкому діапазоні температур, від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+260^{\circ}\text{C}$ , і має високу точність вимірювання в межах  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .



Рисунок 2.4 – Датчик температури Е+Н ТМТ84

Для контролю температури суміші, датчик TMT84 буде встановлений в потрібному місці в суміші, а потім підключатиметься до контролеру температури.

#### 2.4.2 Датчик для контролю тиску подання суміші

Для контролю тиску подання суміші у вальцювальній машині використовуватимемо датчик Endress+Hauser Cerabar PMP71(рис.2.5).

Е+Н Cerabar PMP71 є компактим та має високу точність вимірювання тиску. Він може вимірювати тиск з точністю до 0,05% і дозволяє забезпечити

						Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

точне та стабільне вимірювання тиску навіть при зміні температури та інших змінних факторах. Cerabar PMP71 має діафрагму з кераміки, що забезпечує йому високу стійкість до агресивних середовищ та корозії.



Рисунок 2.5 – Датчик для вимірювання тиску Е+Н Cerabar PMP71

#### 2.4.3 Контролер E5CC-QX2ASM-880

E5CC-QX2ASM-880(рис.2.6) - це компактний програмований контролер від компанії Omron. Він забезпечує точне управління температурою в різних промислових процесах. Крім того, цей контролер може бути використаний для контролю тиску та інших параметрів з використанням відповідних датчиків.

					Арк.
					30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	



Рисунок 2.6 – Контролер E5CC-QX2ASM-880

Основні характеристики E5CC-QX2ASM-880:

- великий дисплей зі зручним меню та інтерфейсом;
- широкий діапазон робочих температур;
- швидкий час реакції;
- підтримка різних видів сенсорів(термопари, датчики тиску і т.д.);
- функції автоматичного налаштування і переналаштування;
- можливість зберігання налаштувань і рецептів.

Застосування E5CC-QX2ASM-880 для контролю температури та тиску в суміші для вальцювання шоколаду може допомогти забезпечити стабільну температуру та тиск, що в свою чергу може знизити відхилення в якості продукту та зменшити кількість браку.

## 2.5 Засоби вимірювання температури шоколадної маси

Автоматизувати вимірювання температури шоколадної маси у темперувальній машині можна використовуючи безконтактні інфрачервоні термометри. Вони можуть бути розміщені на певній відстані від машини, та спрямовані на поверхню шоколадної маси.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

Endress+Hauser ThermoScan TM31(рис.2.7) - це багатоканальний засіб вимірювання температури, призначений для використання в промисловості, наприклад під час темперування, а також для контролю температури в проміжних резервуарах та на виході з вальцювальних машин. Він може вимірювати температуру від -270 °С до 1820 °С з точністю до 0,1 градуса. ThermoScan TM31 має декілька входів для підключення датчиків температури. Кожен канал може бути налаштований окремо з використанням вбудованого екрану або програмного забезпечення. Для використання ThermoScan TM31 в системі контролю процесів, його можна підключити до контролерів та ПЛК через різноманітні інтерфейси. Дана модель є досить надійним і точним засобом контролю температури, що дозволить забезпечити якість виробництва та відповідність нормам якості продукції.



Рисунок 2.7 – Endress+Hauser ThermoScan TM31

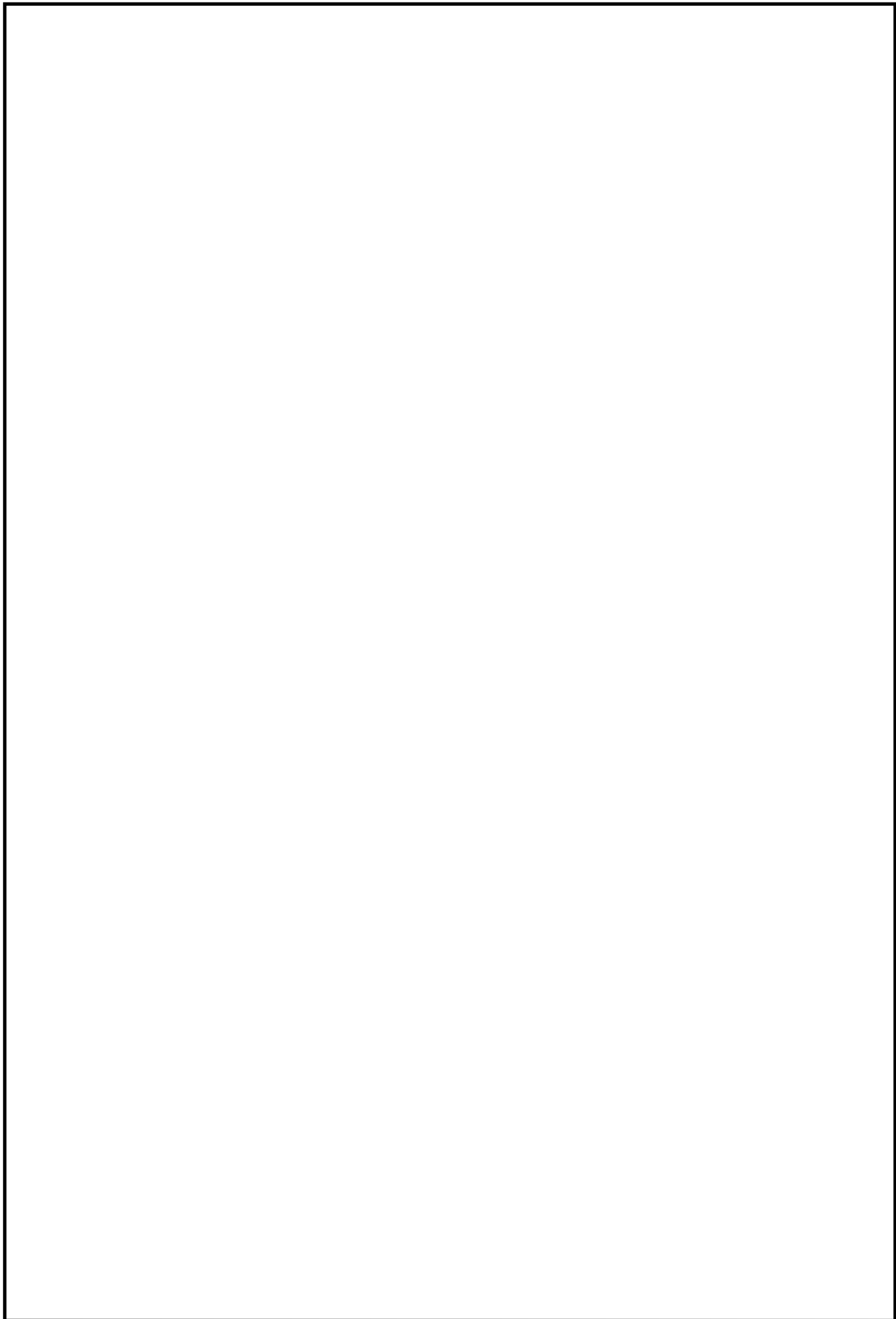
Для збору та аналізу даних використовуватимемо промисловий контролер збору даних Advantech ADAM-6060(рис.2.8). Він дозволить збирати та зберігати дані про температуру в реальному часі, а також налаштовувати тривалість збору та інтервали зберігання даних.

						Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.8 – Advantech ADAM-6060

									Арк.
									33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					



						Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

