

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./

вчене звання, науковий ступінь підпис

„ ” 2023 р.
число місяць рік

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
автоматики та роботехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка

проф., д.т.н. /Лисенко В.П./

вчене звання, науковий ступінь підпис

„ ” 2023 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Дослідження та вдосконалення системи автоматичного керування процесом розливу пива на базі комплексу технічних засобів ОВЕН»

Спеціальність 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(код і назва)

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

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Болбот І.М.

(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

к.ф.-м.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Гладкий А.М.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Денисов В.В.

(ПІБ)

КИЇВ – 2023

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

НУБІП І УК

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри автоматики та
роботехнічних систем ім. акад. І.І.
Мартиненка

НУБІП У / ПШБ

Проф., д.т.н. /Лисенко В.П./
науковий ступінь, вчене звання підпис
" " 2023 року
число місяць рік

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА

Денисов Владислав Вікторович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

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

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Дослідження та вдосконалення системи автоматичного керування процесом розливу пива на базі комплексу технічних засобів ОВЕН»

затверджена наказом ректора НУБІП України від "01" 02 2023 р. № 175 "С" □ □

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2023.11.16

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

- а) Результати науково-дослідницької роботи кафедри АКіТ.
- б) Публікації співробітників кафедри АКіТ.
- в) Результати навчально-дослідницької практики.
- г) Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.
- д) Нормативні документи: ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС, ДСТУ, ДБН тощо.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- а) Аналіз технічного процесу розливу пива як об'єкта автоматизації.
- б) Опис системи автоматизації.
- в) Розробка системи автоматизації.
- г) Розробка і реалізація алгоритму керування.
- д) Розробка SCADA-системи
- е) Економічна частина та охорона праці.

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання "04" лютого 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Гладкий А.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Денисов В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

НУБІП України

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі було проведено дослідження по вдосконаленню системи автоматичного керування процесом розливу пива на базі комплексу технічних засобів ОВЕН

У роботі містяться наступні компоненти: аналіз технологічного процесу розливу пива та опис системи автоматизації, функціонально-технологічна схема автоматики;

У даній роботі було розроблено та досліджено математичну модель. Та обгрунтовано вибір алгоритму керування.

Для реалізації досліджень було обране технологічне обладнання, та вирахований П-регулятор. Проведений аналіз функціонування системи

Розроблені схеми: електрична принципова САК розливу пива та щит керування

ABSTRACT

In this qualification work, a study was carried out to improve the system of automatic control of the beer bottling process on the basis of the OWEN complex of technical means

The paper contains the following components: analysis of the technological process of beer bottling and description of the automation system; functional and technological scheme of automation;

In this work, a mathematical model was developed and studied. And the choice of the control algorithm is justified.

For the implementation of the research, technological equipment was chosen, and the P-regulator was calculated. An analysis of the system's functioning was carried out

Developed schemes: electric principle SAC for bottling beer and control panel

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 5 |
| РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ | 7 |
| 1.1 Коротка характеристика пивзаводу | 7 |
| 1.2 Технологічна схема процесу приготування пива | 8 |
| 1.3 Характеристика автоматизованих технологічних процесів на підприємстві..... | 11 |
| 1.4 Розробка функціональної схеми автоматизації | 16 |
| 1.5 Мета та завдання дипломного проєкту | 18 |
| РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ..... | 20 |
| 2.1 Розробка та дослідження математичної моделі об'єкта автоматизації | 20 |
| 2.2 Побудова передатної функції об'єкта автоматизації та визначення її параметрів | 24 |
| 2.3 Обґрунтування та вибір алгоритму керування..... | 27 |
| РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ..... | 29 |
| 3.1 Вибір необхідного технічного обладнання..... | 29 |
| 3.2 Вибір первинних перетворювачів..... | 29 |
| 3.3 Розрахунок настройки П-регулятора..... | 36 |
| РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ..... | 39 |
| 4.1 Побудова перехідного процесу із використанням імітаційного моделювання..... | 39 |
| 4.2 Розрахунок надійності системи автоматичного керування..... | 42 |

| | |
|--|----|
| РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА SCADA-СИСТЕМИ..... | 45 |
| РОЗДІЛ 6. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА..... | 58 |
| 6.1 Розробка схеми електричної принципової САК розливу пива..... | 58 |
| 6.2 Вибір щита керування..... | 59 |
| РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ..... | 62 |
| РОЗДІЛ 8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ..... | 67 |
| ВИСНОВКИ..... | 72 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 75 |

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Пиво-це слабоалкогольний пінистий напій, одержаний із пророслих і непророслих зернових культур спиртовим зброджуванням охмеленого суслу пивними дріжджами. Воно не тільки вгамовує спрагу, а й підвищує тонус організму, поліпшує обмін речовин та засвоюваність їжі. Маючи певну харчову цінність, пиво слід розглядати як невід'ємну добавку до харчування.

Пиво є лідером продажів у сегменті алкогольних напоїв із часткою 35%. Загалом в Україні функціонує 241 броварня, серед них — 204 малі броварні з обсягом виробництва до 300 000 л.

Крім класичного пива в Україні зростає і виробництво крафтового напою. На кінець 2020 року частка крафтового пива на українському ринку складає близько 1%.

Близько 90% пива в Україні – вітчизняного виробництва, адже імпортне пиво є дорожче, тому програє в конкуренції. За своїми якісними показниками українське пиво не поступається закордонним аналогам. Попит у світі на нього зростає через високу якість продукту, дизайну і різноманітність сортів і способів приготування.

Потрібно зазначити, що пиво містить багато цінних речовин, які сприяють добрій роботі травного каналу і відіграють важливу роль в обміні речовин. Пиво характеризується високою насиченістю діоксидом вуглецю (CO₂) і не тільки вгамовує спрагу, а й підвищує загальний тонус організму людини, тобто має профілактичне значення. Пиво також посилює апетит. Енергетичність (калорійність) 1л його досить висока - 1676 - 3352 кДж (400-800 ккал), а потреба дорослої людини в енергії становить 10475 - 12570 кДж (2500 - 3000 ккал). Майже половина цієї енергетичності припадає на вуглеводи та білки, а половина - на спирт.

У сучасній технології розливу пива постає необхідність подальшого удосконалення виробничих процесів з метою забезпечення виробництва продукту високої якості. Ключовою складовою цього вдосконалення є впровадження автоматичного керування, яке забезпечує стабільність та надійність виробництва.

В роботі, розглядаються конкретні аспекти виробництва пива, які потребують автоматизації, такі як розлив пива в пляшки. Все це вимагає постійного забезпечення стабільності параметрів виробництва, підвищення продуктивності та забезпечення відповідності вимогам щодо якості готового продукту. Основна мета цього дослідження – вдосконалення системи автоматичного керування процесом розливу пива з урахуванням особливостей технологічного процесу.

Для досягнення цієї мети передбачається провести експериментальні дослідження розгінної характеристики процесу розливу пива, використати математичне моделювання для створення моделі об'єкта автоматизації та дослідження роботи автоматичної системи керування процесом розливу пива.

Предметом дослідження є система автоматичного керування процесом розливу пива, яке є важливою частиною виробничого процесу пивоваріння.

Об'єктом дослідження є процес автоматичного керування процесом розливу пива на підприємстві «Пивзавод Зібберта».

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України⁶

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

НУБІП | УКРАЇНИ

1.1 Коротка характеристика пивзаводу

ДП ЗАТ «Оболонь» «Пивоварня Зіберта» — підприємство харчової промисловості України, зайняте у галузі виробництва та реалізації пива і безалкогольних напоїв. Розташоване у місті Фастові Київської області. Дочірнє підприємство одного з найбільших виробників напоїв України ЗАТ «Оболонь».

Розмір статутного капіталу:

20 000 000,00 грн.

НУБІП УКРАЇНИ

Види діяльності

Основний:

- Виробництво пива
 - Класичний англійський Портер — Густина 17,5 %. Алк.об. 7,2 %.
 - Класичне німецьке Пшеничне — Густина 12,5 %. Алк.об. 5,2 %.
 - Класичне фламандське Біле — Густина 11,5 %. Алк.об. 4,8 %.
 - Зіберт Світле — Густина 11,5 %. Алк.об. 4,9 %.
 - Зіберт Баварське — Густина 13,0 %. Алк.об. 5,6 %.
 - Зіберт Біле — Густина 11,8 %. Алк.об. 4,5 %. Пиво з додаванням пшеничного солоду.

НУБІП УКРАЇНИ

Інші:

- Виробництво сидру та інших плодово-ягідних вин
- Виробництво безалкогольних напоїв; виробництво мінеральних вод та інших вод, розлитих у пляшки

НУБІП УКРАЇНИ

- Оптова торгівля напоями
- Роздрібна торгівля в неспеціалізованих магазинах переважно продуктами харчування, напоями та тютюновими виробами
- Роздрібна торгівля напоями в спеціалізованих магазинах
- Вантажний автомобільний транспорт
- Обслуговування напоями
- Надання в оренду й експлуатацію власного чи орендованого нерухомого майна

1.2 Технологічна схема процесу приготування пива

Технологічна схема – це графічне представлення послідовності дій, операцій або процесів, які необхідно виконати у рамках певної технології або виробничого процесу. Вона може бути представлена у вигляді різних видів діаграм, таких як блок-схеми, графи, схеми потоку тощо. Такі схеми служать для візуалізації та зрозуміння послідовності кроків, необхідних для виконання конкретного завдання або досягнення певної мети.

Технологічна схема процесу розливу пива на пивзаводі «Зіберта» є компонентом виробничого процесу та включає в себе кілька основних етапів. Нижче

подано загальний опис технологічної схеми процесу розливу пива:

1. Підготовка пива: На початку процесу сировинні матеріали, такі як солод, хміль, вода та дріжджі, змішуються та ферментуються в спеціальних ємностях для виробництва пива. Цей етап включає в себе додавання інгредієнтів, регулювання температури та інших параметрів, необхідних для процесу бродіння та виробництва пива.

2. Фільтрація та чистка: Після завершення ферментації пиво піддається процесам фільтрації та чистки для видалення осаду та інших домішок. Цей етап важливий для підвищення якості продукції.

НУБІП України 8

3. Карбонізація: Пиво насичується вуглекислим газом для створення необхідного рівня газациї. Цей процес додає пиву свіжості та піни.

4. Розлив та упаковка: Пиво розливається в пляшки, банки або бочки за допомогою автоматичного розливного обладнання. У цьому етапі важливо забезпечити точність та гігієнічність процесу. Потім продукцію можуть піддати етикетуванню та пакуванню.

5. Контроль якості: Під час всього процесу розливу пива важливо здійснювати контроль якості, включаючи перевірку смаку, аромату, кольору та інших параметрів. Всі аномалії повинні виявлятися та виправлятися негайно.

6. Зберігання та доставка: Готову продукцію зберігають на складах пивзаводу і після цього відправляють до реалізації на ринок. Забезпечення правильних умов зберігання та транспортування є важливим аспектом цього етапу.

На рисунку 1.2.1 зображено технологічну блок схему процесу приготування пива.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України⁹



Рисунок 1.1 – Графічна схема процесу приготування пива

Хімічні формули для пивзаводу «Зіберта» для розрахунків та контролю параметрів виробництва пива:

1. Дозування хмелю: Для визначення кількості хмелю, що додається, можна використовувати формулу для розрахунку масового відсотку альфа-кислот у хмелі та об'єму пива, які будуть взаємодіяти під час кипіння:

$$KMI_{додавання} = \frac{Об'єм пива \cdot Відсоток альфа-кислот}{Коефіцієнт використання \cdot Відсоток сухої речовини} \cdot 100$$

2. Розрахунок вмісту екстракту в пиві: Екстракт в пиві позначається як сума солоду, що розчинилася в воді під час варіння та ферментації. Для розрахунку вмісту екстракту можна використовувати формулу Плата:

$$P = \frac{O-1}{1+0,134} \cdot 1000, \text{ де:}$$

P – ступінь алкоголю;

O – оригінальна густина пива.

3. Розрахунок кількості спирту: Спирт у пиві можна визначити наступним чином:

$$\text{Спирт} = \text{Обсяг пива} * (\text{Оригінальна густина} - \text{Кінцева густина}) * 0,125, \text{ де:}$$

Спирт – кількість спирту в пиві;

Обсяг пива – обсяг виробленого пива;

Оригінальна густина – густина пива перед ферментацією;

Кінцева густина – густина готового пива;

0,125 – константа для конвертації густина в кількість спирту.

1.3 Характеристика автоматизованих технологічних процесів на підприємстві

Виробництво будь-якого продукту передбачає виконання різних операцій та обробок над сировиною або напівфабрикатами. Вся ця послідовність операцій і

обробок, які відбуваються на виробництві, утворює технологічний процес. Технологічний процес може бути поділений на два основних типи, залежно від характеру матеріального потоку:

1. Безперервні технологічні процеси: Це технології, де матеріали рухаються

безперервно і проходять через послідовні обробки без інтервалів. Це типово для процесів, які вимагають постійного потоку, таких як хімічні реакції у хімічній промисловості або потоки рідини в нафтовій переробці.

2. Дискретні технологічні процеси: Це технології, де обробка відбувається

поетапно з визначеними інтервалами. Матеріали переробляються партіями, а кожен етап обробки завершується перед переходом до наступного. Це типово для виробництва товарів, таких як автомобілі, електроніка, текстиль тощо.

У будь-якому виробництві також існують інформаційні та енергетичні потоки, які допомагають управляти та координувати технологічний процес. Отже, технологічний процес можна розглядати як систему, яка управляє потоками енергії,

матеріалів і інформації для виготовлення продукції відповідно до заданих стандартів та обсягів.

Отже, технологічний процес на пивоварному заводі – це складна система взаємодіючих операцій та обладнання, спрямованих на перетворення сировини в готовий продукт, пиво, дотримуючись строго визначеної послідовності та стандартів

якості.

Стан автоматизації технологічного процесу на підприємстві «Пивзавод Зіберта» визначається високим рівнем автоматизації та використанням сучасних технологій у виробництві пива. Ось докладний огляд стану автоматизації на даному підприємстві:

1. Автоматизація виробничих процесів: Пивзавод «Зіберта» використовує автоматизовані системи керування та моніторингу на більшості виробничих ліній.

Вони забезпечують точний контроль параметрів, таких як температура, тиск, рівень рідини та інші, що є критичними для виробництва пива.

2. Використання ПЛК і контролерів: На пивзаводі встановлені програмовані логічні контролери (ПЛК) та контролери, які керують різними аспектами виробничого процесу. Це дозволяє забезпечувати автоматизовану роботу обладнання

та реагувати на зміни у реальному часі.

3. Системи безпеки і контролю якості: Пивзавод «Зіберта» забезпечує безпеку виробничого процесу шляхом використання систем безпеки та автоматичних

вимикачів для виявлення і усунення потенційних небезпек. Також існують системи контролю якості, які допомагають визначати відповідність продукції вимогам стандартів якості.

4. Інтеграція з інформаційною системою: Пивзавод використовує інтегровану інформаційну систему для збору, аналізу та збереження даних про

виробничий процес. Ця система дозволяє оптимізувати управління запасами, планування виробництва та звітність.

5. Постійне вдосконалення: Пивзавод «Зіберта» активно займається вдосконаленням процесу виробництва. Постійно впроваджуються нові технології та оновлюються обладнання для підвищення продуктивності та покращення якості продукції. Це дозволяє підприємству залишатися конкурентоспроможним на ринку алкогольних напоїв.

Пивзавод «Зіберта» демонструє високий рівень автоматизації технологічного процесу, що допомагає досягати високої якості продукції та забезпечувати ефективне виробництво.

На підприємстві «Пивзавод Зіберта» автоматизовані такі технологічні процеси:

1. Підготовка сировини: Для автоматизації цього етапу використовуються ваги та дозуючі пристрої для точного вимірювання та дозування солоду, води, хмелю та дріжджів. Формула для розрахунку кількості солоду:

$$\text{Солод} = \text{Обсяг партії} \times \text{Солод вміст}$$

2. Ферментація та гідролізування: Автоматизація цього етапу включає в себе контроль за температурою та часом ферментації. Датчики та ПЛК відстежують та регулюють ці параметри. Формула для регулювання температури може виглядати так:

$$\text{Температура}_{\text{контроль}} = \text{Температура}_{\text{задана}} - \text{Підкоректована Помилка}$$

3. Ферментація та виробництво алкоголю: Для цього етапу використовуються дріжджі та спеціальні реакційні ємності з системами контролю температури і тиску. Формула для обчислення виходу спирту може бути наступною:

$$\text{Спирт}_{\text{вироблений}} = \text{Виход}_{\text{дріжджів}} \times \text{Коефіцієнт}$$

4. Фільтрація та очищення: Автоматизація цього етапу включає в себе фільтраційні системи, які відділяють осад та домішки від пива. Датчики рівня і тиску контролюють процес. Формула для визначення чистоти пива:

$$\text{Чисте пиво} = \text{Пиво} - \text{Осад} - \text{Домішки}$$

5. Карбонізація: Автоматизовані системи додають вуглекислий газ у пиво для створення необхідного рівня газациї. Формула для карбонізації:
$$\text{Вуглекислий газ} = \text{Карбонізація потужність} \times \text{Час}$$

6. Розлив та упаковка: Розливні лінії використовують автоматичні розливні апарати та системи управління. Формула для розливу:
$$\text{Розлив} = \text{Розливний апарат} \times \text{Обсяг пляшки}$$

Розливна лінія на підприємстві «Пивзавод Зіберта» є важливою частиною процесу виробництва пива і має на меті надати пиву необхідну кількість і форму упаковки для подальшого розподілу і продажу. Вона включає в себе декілька етапів та автоматизовані системи.

Блок-схема автоматизації розливу на пивзаводі «Зіберта», рисунок 1.2, ілюструє послідовний процес виробництва та контролю якості пива. Система включає в себе різні компоненти, які спільно працюють, щоб забезпечити якість та ефективність виробництва:

1. Підготовка пляшок та контейнерів: Система вивантаження: Вивантажує пляшки або контейнери зі складу або транспортного засобу. Конвеєр: Підводить пляшки до початкового положення на лінії. Детектор: Виявляє та видаляє пошкоджені або неякісні контейнери.

2. Розливна система: Автоматичний розливний апарат: Рівномірно розливає пиво в пляшки або інші контейнери. Датчики: Контролюють рівень рідини та точне дозування. Система закриття: Забезпечує герметичність закриття контейнерів після розливу.

3. Етикетування та маркування: Автоматична система нанесення етикеток: Наносить етикетки на пляшки або інші контейнери. Маркувальна система: Друкує дату виробництва, серійний номер та іншу інформацію на контейнерах.

4. Інспекція та якість: Датчики: Виявляють будь-які дефекти або відхилення в упаковці. Система видалення: Видаляє контейнери, які не відповідають стандартам якості.

5. Пакування та завантаження: Конвеєр групує пляшки в коробки або на палети, готуючи готову продукцію до транспортування та доставки.

6. Система безпеки та автоматичного вимикання: Датчики виявляють надзвичайні ситуації, такі як витік пива, зупинка конвеєру або інші аварії. Автоматичні вимикачі: Забезпечують безпеку персоналу та обладнання.

7. Інтегрована система збору та аналізу даних: Система збирає дані про виробничий процес. Система аналізу даних: Аналізує ці дані для оптимізації виробництва та контролю якості. НМІ (Human-Machine Interface): Забезпечує можливість віддаленого моніторингу та керування процесом через інтерфейс з людиною.

Блок-схема (Рисунок 1.2) визначає кожен етап виробничого процесу та інтерфейси між різними системами, що спільно допомагають автоматизувати виробництво пива та забезпечити його якість і безпеку.

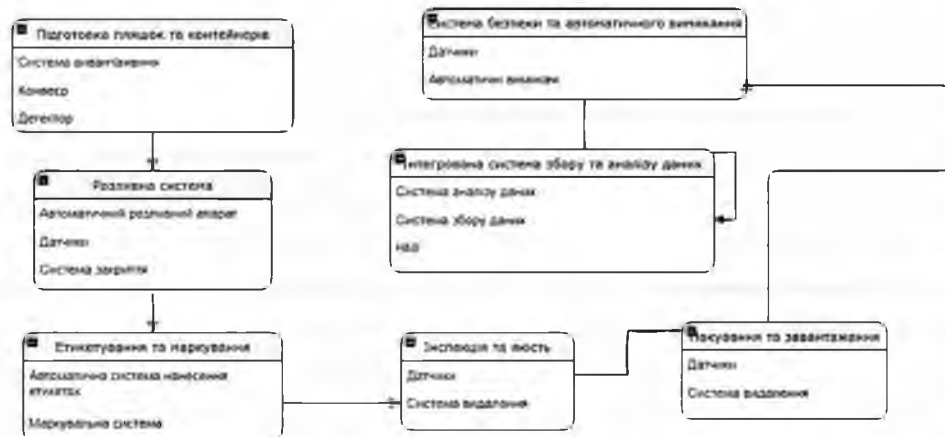


Рисунок 1.2-Блок-схема етапів розливу

Розливна лінія на підприємстві «Пивзавод Зіберта» допомагає забезпечити ефективний та якісний процес розливу пива в пляшки, зменшуючи можливість помилок та забезпечуючи гігієнічність упаковки.

1.4 Розробка функціональної схеми автоматизації

Автоматизація виробництва означає, що виробничі процеси контролюються та керуються без прямої участі людини, але залишаються під її наглядом та контролем.

Сучасний стан автоматизації виробництва передбачає використання передових технологій, таких як електронні обчислювальні системи, програмовані логічні контролери, інтелектуальні засоби вимірювання та контролю, а також мережі для обміну інформацією між пристроями та системами. Схема автоматизації – це ключовий технічний документ, який описує структуру і ієрархію елементів, відповідальних за контроль та управління, а також функції системи контролю та управління над об'єктом, який піддається автоматизації.

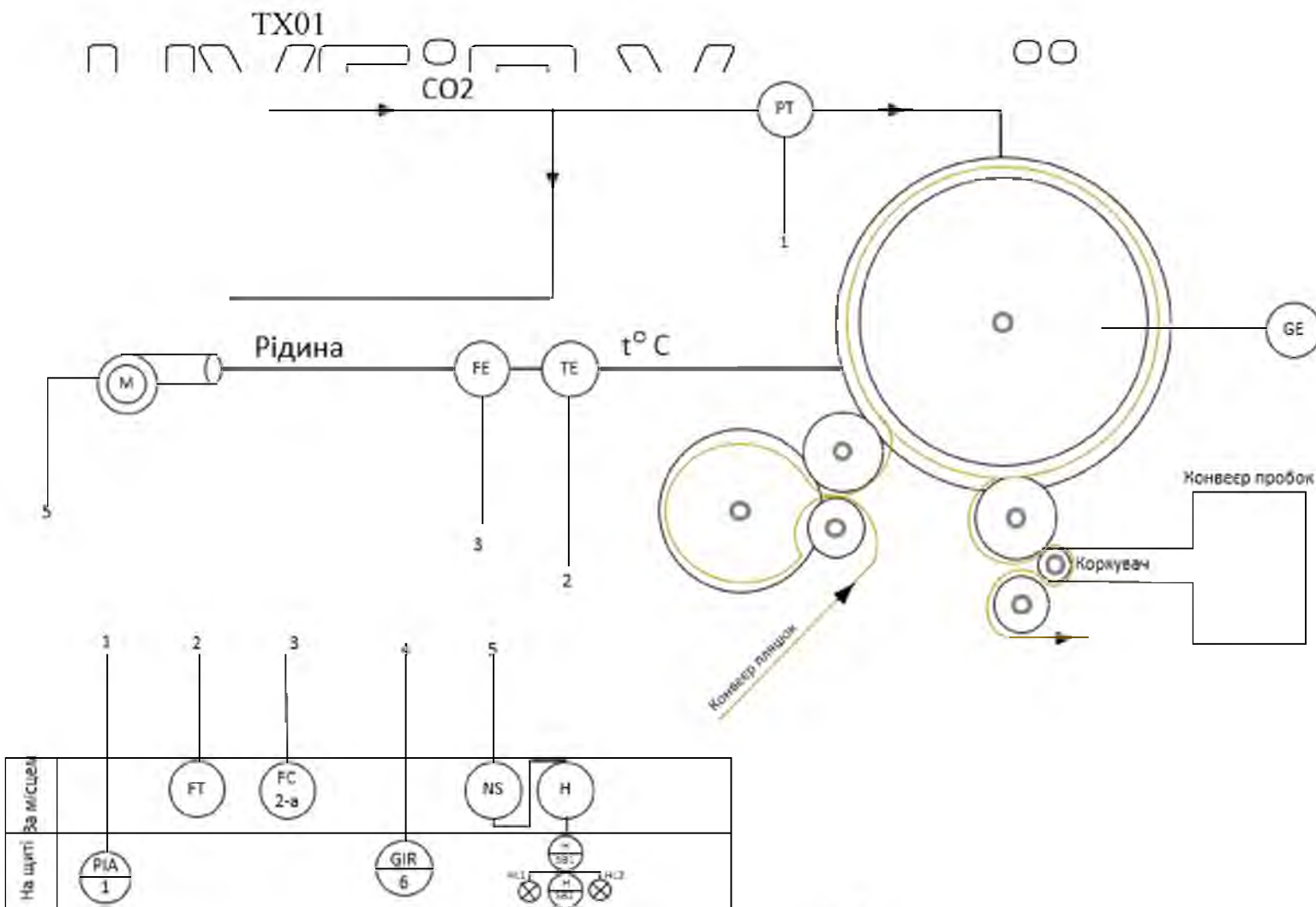
При розробці схем автоматизації враховується детальне вивчення технології виробництва, функціональних особливостей об'єкта та дій персоналу, включаючи запуск, зупинку, підтримку робочого режиму та реакцію на аварійні ситуації. Схеми автоматизації також враховують завдання, пов'язані з автоматизацією об'єкта, а також враховують досвід експлуатації схожих систем автоматизації на подібних об'єктах.

На рис.1.3 наведена функціональна схема автоматизації процесу розливу пива для пивзаводу «Зіберта». Опис функціональної схеми автоматизації:

1. Пляшка подається конвеєром на блок розливу проходячи через рінзер де промивається з середини
2. Пиво подається по трубах в блок розливу, насос (М) реагує на сигнали з контролеру і відповідно включається по команді
3. подача пива регулюється клапаном EV-1, DN20
4. Також в трубі знаходиться датчик температури, завдяки якому ми бачимо що температура пива підходить для розливу, і продукт не зіпсується раніше терміну придатності
5. В блок розливу також подається вуглекислий газ.

6. Вимірювання тиску в трубі з CO2 здійснюється за допомогою датчика тиску ПД100

7. На схемі є датчик переміщення, або датчик такту - індуктивний датчик наближення LJ12A3-4-Z-VX, він в свою чергу підключений до тахометра



| | |
|-----|--|
| GE | Датчик руку |
| FC | Регулятор розливу пива за витрати |
| PT | Датчики тиску |
| FE | Датчик витрати MAG 5000 |
| TE | Датчик температури |
| GIR | Дистанційний перетворювач датчика руку |

Рисунок 1.3 – Функціональна схема автоматизації

НУБІП України 17

1.5 Мета та завдання дипломного проєкту

Метою даного дослідження є розробка системи автоматичного керування процесом розливу пива на пивзаводі «Зіберта». Проєкт спрямований на досягнення оптимального рівня автоматизації виробничого процесу, з метою підвищення продуктивності, зниження витрат, покращення якості продукції та підвищення загальної конкурентоспроможності підприємства.

Об'єктом дослідження є процес автоматичного керування, що виробляє пиво та інші пивоварні напої. Основна увага приділяється автоматизації та удосконаленню технологічного процесу розливу пива на цьому підприємстві.

Предметом дослідження є система автоматичного керування розливу пива на пивзаводі «Зіберта». Це включає в себе вимірювання та дозування інгредієнтів, змішування сировини, контроль та регулювання температури та тиску під час ферментації та гідролізування, фільтрацію та очищення пива, карбонізацію, розлив та упаковку готової продукції.

Завдання дипломного проєкту:

1. Аналіз діяльності пивзаводі «Зіберта»
2. Вивчення технологічного процесу розливу пива: Детально вивчити технологічний процес виробництва та розливу пива на пивзаводі «Зіберта», включаючи всі етапи та параметри.
3. Розробка функціональної схеми автоматизації: Розробити функціональну схему для керування та контролю параметрів технологічним процесом розливу пива, включаючи системи вимірювання, регулювання та моніторингу.
4. Розробка математичної моделі об'єкта автоматизації на основі теоретичних досліджень.
5. Проведення експериментальних досліджень та отримання даних для математичних моделей.

6. Розробка алгоритму керування технологічним процесом виробництва та розливу пива.

7. Розробка програмного та апаратного забезпечення для впровадження алгоритму керування.

8. Дослідження роботи системи керування технологічним процесом розливу пива.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України¹⁹

РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка та дослідження математичної моделі об'єкта автоматизації

Термін «математичне моделювання технологічних процесів» охоплює різноманітні аспекти, пов'язані з використанням математичних моделей для вивчення, оптимізації та розв'язання конкретних завдань у сфері технологій. Його можна пояснити так:

1. Створення математичних моделей: включає в себе процес розробки абстрактних математичних описів, які представляють технологічні процеси або їх компоненти. Ці моделі служать для вирішення конкретних завдань, таких як розробка нових технологічних процесів або покращення існуючих, передбачення параметрів чи результатів технологічних процесів, які складно або неефективно виміряти в реальних умовах.

2. Дослідження з використанням математичних моделей: Це методика аналізу технологічних процесів через побудову та використання математичних моделей. Цей підхід дозволяє досліджувати технологічні процеси в різних умовах та проводити віртуальні експерименти для кращого розуміння їхньої роботи.

Розробка математичної моделі для автоматизації процесу розливу пива на пивоварному заводі «Зіберта» включає в себе збір та аналіз даних, які включають параметри щодо розливу пива, характеристики сировини, технічні параметри обладнання та інформацію про минуле виробництво. Вони служать як основа для розробки математичної моделі.

Для опису процесу розливу пива та його керування використовується математичний підхід, який базується на диференціальних рівняннях. Цей підхід дозволяє створити математичну модель, яка докладно описує рух пива в різних частинах виробничої лінії та надає можливість керувати різними параметрами цього процесу.

За допомогою диференціальних рівнянь враховуються зміни у часі різних фізичних величин, таких як тиск, температура, об'єм та концентрація пива у різних частинах системи. Це дозволяє математично моделювати, як ці параметри взаємодіють один з одним та як змінюються в залежності від умов процесу розливу пива.

Аналітичним методом створимо математичну модель даного об'єкту автоматизації.

Виходячи з умови нерозривності потоку складемо матеріальні баланси рідини на виході із ємкості А і на вході ємкості В

$$Q_a = Q_b \text{ або } S_a * v_a = S_b * v_b \quad (2.1)$$

де Q- витрати рідини, v-швидкість потоку, d-внутрішній діаметр трубопроводу зв'язані між собою рівнянням:

$$Q = S * v = \pi * d^2 * v / 4 \quad (2.2)$$

Потужність, яку необхідно витратити на підтримання тиску в системі з пивом, підрахуємо за допомогою рівняння:

$$N = \frac{\Delta p_{\text{заг}} * Q * 10^3}{10^3 * \eta} \quad (2.3)$$

де, $\eta = \eta_n * \eta_{\text{п}} * \eta_d$ повне к.к.д. насоса, η_n – к.к.д. насоса, $\eta_{\text{п}}$ – к.к.д. передачі, η_d – к.к.д. електродвигуна

Загальний опір трубопроводу складається із гідравлічного опору трубопроводу, опору, який витрачається на піднімання рідини і додаткового опору, який виникає за рахунок різниці тисків у ємностях, Па:

$$\Delta p_{\text{заг}} = \Delta p_{\text{го}} + \Delta p_{\text{під}} + \Delta p_{\text{до}} \quad (2.4)$$

Опір піднімання рідини і додатковий тиск визначається так:

$$\Delta p_{\text{під}} = \rho * g * h \quad \Delta p_{\text{до}} = P_b - P_a \quad (2.5)$$

Гідравлічний опір трубопроводу в свою чергу визначається опором на надання рідині швидкості, опором на тертя рідини по стінках труби і місцевими опорами:

$$\Delta p_{\text{го}} = \Delta p_{\text{шо}} + \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{мс}} \quad (2.6)$$

Значення вкладених опорів дорівнює:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \frac{\lambda * 1}{d} * p * v^2 \quad \Delta p_s = \frac{p * v^2}{2} \quad \Delta p_{ms} = \sum_{i=1}^n (\xi m_i \frac{p * v^2}{2}) \quad (2.7)$$

де ρ -густина рідини, кг/м³; v - швидкість рідини, м/с; l - довжина труби, м; d - внутрішній діаметр труби, м; $\lambda=f(\text{Re}, l)$ -коefficient тертя; Re -критерій Рейнольдса; ξm_i - i -ї коефіцієнти місцевого опору.

З'єднавши рівняння(2.5)-(2.7) до одного ,отримаємо:

$$\Delta p_{\text{зар}} = \frac{p * v^2}{2}$$

$$\text{Складемо енергетичний баланс по трубопроводу (рівняння Бернуллі)} \quad (2.8)$$

$$p * q * h_a + P_a + \frac{p * v_a^2}{2} = p * q * h_b + P_b + \frac{p * v_b^2}{2} * \left(1 + \frac{\lambda * 1}{d} + \sum_{i=1}^n \xi m_i + \xi_{\text{кр}} \right)$$

$$\text{де } \xi_{\text{кр}} \text{-коефіцієнт опору регулюючого крану, який залежить від значення регулюючої дії } x_{\text{кр}}. \quad (2.9)$$

Враховуючи , що $v_a = \frac{v_b * S_b}{S_a}$, рівняння(2.1), $av_b = Q_b S_b$, рівняння 2.2, після підстановки в (2.9) отримаємо:

$$p * g * (h_a - h_b) + (P_a - P_b) = \frac{p * Q_b^2}{2 * S_b^2} * \left(1 - \frac{S_b^4}{S_a^4} + \frac{\lambda * 1}{d} + \sum_{i=1}^n \xi m_i + \xi_{\text{кр}} \right)$$

(2.10)

Розв'яжемо вираз (2.10) відносно Q_b і отримаємо :

$$Q_b = \frac{S_b}{\sqrt{\left(1 - \frac{S_b^2}{S_d^2} + \frac{\lambda \cdot 1}{d} + \sum_{i=1}^n \varepsilon m_i + \varepsilon_{кр}\right)^2 \cdot 2 \cdot g \cdot (h_a - h_b) + \frac{2 \cdot (P_a - P_b)}{\rho}}} \quad (2.11)$$

Рівняння динаміки процесу перекачування рідини має вигляд:

$$\frac{V_{тр}}{Q_b} \cdot \frac{dQ_b}{dt} = Q_a - Q_b \quad (2.12)$$

де $V_{тр}$ – об'єм трубопроводу.

Рівняння динаміки в часі з урахуванням запізнення матиме вигляд

$$\frac{V_{тр}}{Q_b} \cdot \frac{dQ_b^b(t)}{dt} + Q_b^b(t) = \frac{Q_a^0}{Q_b^0} \cdot Q_a^b\left(t - \frac{V_{тр}}{Q_a^0}\right) \quad (2.13)$$

де $Q_a^0, Q_b^0, Q_a^b, Q_b^b$ – початкові безрозмірні значення потоків рідини.

Передатна функція для виразу (2.13) матиме вигляд

$$W(p) = \frac{K_{об}}{T_{об} \cdot p} \cdot e^{-p\tau} \quad (2.14)$$

де $T_{об}$ – стала часу об'єкта, τ – транспортне запізнення, $K_{об}$ – коефіцієнт передачі об'єкта дорівнюють:

$$K_{об} = \frac{Q_a^0}{Q_b^0} T_{об} = \frac{V}{Q_b^0} \tau = \frac{V}{Q_a^0} \quad (2.15)$$

2.2 Побудова передатної функції об'єкта автоматизації та визначення її параметрів

Передатна функція об'єкта – є важливим інструментом для аналізу та моделювання систем керування. Передатна функція визначає взаємозв'язок між вхідними та вихідними сигналами систем у перетвореннях Лапласа.

У випадку об'єкта автоматизації, який включає процес розливу пива, передатна функція допомагає визначити, як вхідні сигнали (наприклад, керуючі сигнали) впливають на вихідні параметри (наприклад, рівень витрати).

З відомих нам досліджень над боком розливу **KHS Innofill DRV** отримано розгінну характеристику розливу по каналу регулювання витрати пива в одну пляшку за 60 сек

Таблиця 2.1- Данні розрахунку розгінної характеристики

| Час t, c | Ємність пляшки $V, л$ | $y(t_i)$ |
|------------|-----------------------|----------|
| 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0.1 | 0 |
| 10 | 0.2 | 0.1 |
| 15 | 0.3 | 0.2 |
| 20 | 0.4 | 0.3 |
| 25 | 0.5 | 0.5 |
| 30 | 0.6 | 0.6 |
| 35 | 0.7 | 0.65 |
| 40 | 0.8 | 0.7 |
| 45 | 0.85 | 0.8 |
| 50 | 0.9 | 0.86 |

Для визначення передатної функції по каналу керування використаний графічний метод. Для цього розгінна характеристика була пронормована за виразом

$$y(t) = \frac{y(t) - y(y_0)}{y(\infty) - y(y_0)} = \frac{y(t) - 0.2}{1 - 0.2}$$

(2.16)

Результати розрахунку занесені в таблицю 2.1, нормована крива розгону лінії розливу KHS Innofill DRV зображена на рис. 2.1

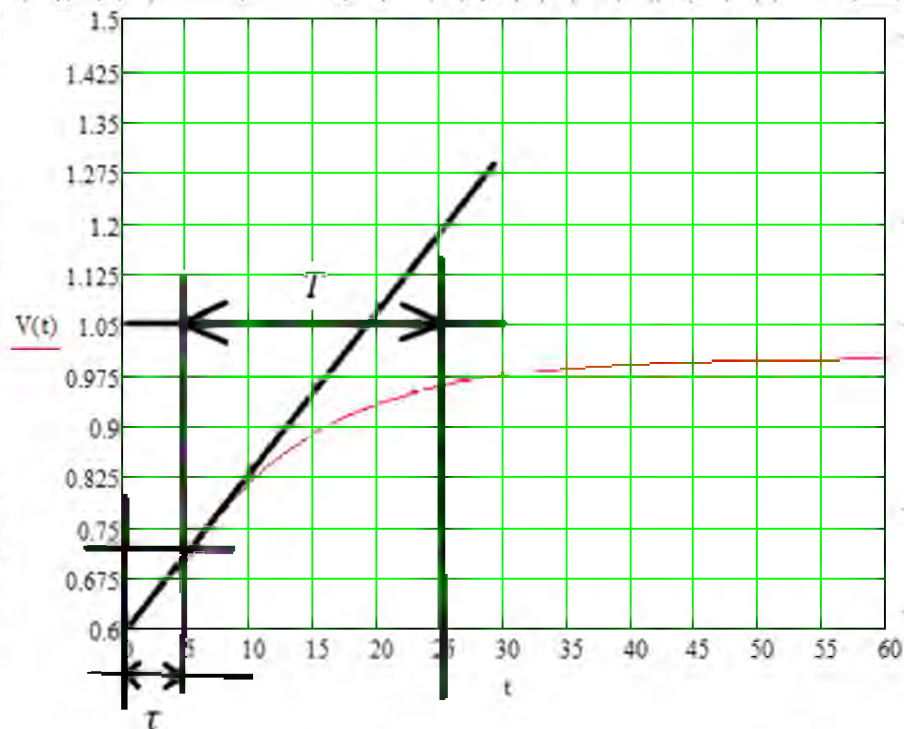


Рисунок 2.1-Експериментальна розгінна характеристика лінії розливу KHS Innofill DRV по каналу керування витратою пива на одну пляшку

Передатна функція, отримана за кривою розгону, записано у вигляді

безінерційної ланки із запізненням:

НУБІП УКРАЇНИ

$$W(s) = \frac{k_{oy} * e^{-t_{oy} * s}}{T_{oy} * s} \quad (2.17)$$

його інерційність, с; t_{oy} – час запізнення, с.

Чисельне значення T_{oy} та часу запізнення t_{oy} об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину розгінної характеристики (Рис. 2.1). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгину.

Коефіцієнт передачі об'єкта управління визначаємо за формулою

НУБІП УКРАЇНИ

$$k_{oy} = \frac{t_n}{V} \quad (2.18)$$

де t_n – час за який наповнюється одна пляшка пива, сек; V – об'єм одної пляшки

пива, л.

Тоді, $t_n = 60$ сек, $V = 1$ л.

НУБІП УКРАЇНИ

$$k_{oy} = \frac{60}{1} = 60 \text{ сек/л} \quad (2.19)$$

Значення постійної часу та часу чистого запізнення, визначені з нормованої розгінної характеристики лінії розливу KHS Innofill DRV, складають:

НУБІП УКРАЇНИ

$$T_{oy} = 25t_{oy} = 5 \quad (2.20)$$

Передатна функція лінії розливу KHS Innofill DRV по каналу керування витрати пива:

НУБІП УКРАЇНИ

$$W_{oy}(s) = \frac{60}{25 * s} * e^{-5 * s} \quad (2.21)$$

2.3 Обґрунтування та вибір алгоритму керування

Динамічні властивості об'єкта управління відіграють вирішальну роль в виборі найбільш ефективного закону керування. Встановлено, що критерієм для правильного вибору закону керування може служити значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу, тобто $\frac{t_{oy}}{T_{oy}}$.

Для цього передатна функція для статичного об'єкта повинна бути представлена у вигляді (2.17). В табл. 3.1 наведені рекомендації по вибору закону керування та типу регулятора виходячи з величини відношення часу запізнювання t_{oy}

до постійної часу об'єкта T_{oy} :

- При $\frac{t_{oy}}{T_{oy}} < 0,2$ можна вибирати позиційний, неперервний або цифровий регулятор
- При $\frac{t_{oy}}{T_{oy}} > 1$ необхідно вибирати спеціальний цифровий (імпульсний) регулятор із

випередженням, який коенсує запізнювання в контурі керування

- При $0,2 \leq \frac{t_{oy}}{T_{oy}} \leq 1$ зазвичай вибирають неперервний або цифровий регулятор, що реалізує П-, ПІ-, ПІД-, ПІД-закон керування.

Крім того, для обґрунтування закону керування і вибору регулятора, який відповідає цьому закону, необхідно знати не тільки властивості об'єкта та вимоги до технологічного процесу, але й деякі конструктивні особливості самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують закон регулювання з певною похибкою, що обов'язково повинно враховуватись при виборі усіх технічних засобів, що ходять до складу системи автоматичного керування.

В даному випадку передаточна функція насосної станції $W_{oy}(s) = \frac{60}{25s} * e^{-5*s}$

, для нього відношення $\frac{t_{oy}}{T_{oy}} = \frac{5}{25} = 0,2$.

| Співвідношення $\frac{t_{oy}}{T_{oy}}$ | Характеристика об'єкта | | Закон керування та тип регулятора |
|---|--|-------------------------|--|
| $0 \leq \frac{t_{oy}}{T_{oy}} \leq 0,05$ | Із малим запізненням | Дуже добре керований | -позиційний -неперервний П,ПІ,ПІД регулятор |
| $0,1 \leq \frac{t_{oy}}{T_{oy}} \leq 0,2$ | Із суттєвим транспортним запізненням | Добре керований | -позиційний С-неперервний П,ПІ,ПІД регулятор |
| $0,8 \leq \frac{t_{oy}}{T_{oy}} \leq 1$ | Із великим транспортним запізненням | Дуже важко керований | -неперервний або цифровий П,ПІ,ПІД регулятор |

Таблиця 2.2- Вибір закону керування та регулятора

За умовами таблиці 2 об'єкт управління відноситься до добре керованого ,для якого можна застосувати неперервний П-регулятор.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

3.1 Вибір необхідного технічного обладнання

Для ефективної автоматизації технологічного процесу розливу пива на пивзаводі «Зіберта» та впровадження розробленого алгоритму керування тиском в бочці, необхідно вибрати відповідне технічне обладнання. Основні компоненти технічного обладнання, що використовуються для автоматизації та контролю процесу розливу пива, включають наступне:

1. Системи вимірювання витрати: Для точного вимірювання витрати в системі та отримання реальних даних про поточний стан, необхідні надійні та точні витратоміри. Вони повинні відповідати потребам системи керування та мати високу роздільну здатність.

2. Програмовані контролери (ПЛК): Для виконання алгоритму керування, необхідні програмовані контролери, такі як PLC (Programmable Logic Controller). Вони відповідають за обробку даних, виконання розрахунків та керування.

3. Системи візуалізації та моніторингу (HMI): Для зручного візуального моніторингу та керування процесом розливу пива необхідно встановити HMI-систему, яка надає операторам можливість спостерігати за станом системи та втручатися, якщо це необхідно.

3.2 Вибір первинних перетворювачів

Вимірювальний перетворювач – це пристрій, який призначений для створення сигналу на своєму виході, який відображає сигнал вимірюваної інформації на вході, у такій формі, яку можна зручно використовувати для передачі, подальшого перетворення, обробки та збереження цієї інформації. Процес, який виконується вимірювальним перетворювачем, називається «вимірювальним перетворенням».

Вимірювальний перетворювач в системі автоматичного контролю виконує важливу функцію, оскільки він служить для збору і перетворення вимірюваної інформації на сигнал, який можна використовувати для подальшого контролю і

керування системою. Цей пристрій інтегрується в структуру системи і дозволяє системі отримувати дані про стан об'єкта або процесу, що контролюється. Таким чином, вимірювальний перетворювач виступає як інтерфейс між фізичними величинами, які слід виміряти, і контрольною системою, що обробляє ці дані для подальшого керування системою

1. Витратомір MAG 5000

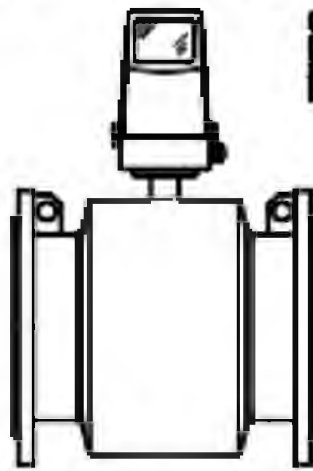


Рисунок 3.1 – Вид вигляд витратоміра MAG 5000

Таблиця 3.1- характеристика витратоміра

| Назва характеристики | Значення характеристики |
|----------------------|-------------------------|
| Умовний діаметр | 10..100 мм |
| Робочий тиск | До 2,5 Мпа |

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| Тип електродів | Сплав платини, халлестой |
| Діапазон виміру | 130л/хв |
| Діапазон густини | 5:8000 |
| Час реагування на вимір | 0,01 сек |
| Точність | 0,25% |
| Ступінь захисту | IP 67 |
| Робоча температура | Від-30 до +150 |

Вхідний сигнал датчика витрати, вимірюється в діапазоні 1 до 130л/хв. Максимальний вхідний сигнал буде 130 л/хв або $2,17 \cdot 10^{-3}$ м/с. Вихідний сигнал напруги-10В.

Таким чином $K = 10 / 2,17 \cdot 10^{-3} = 4608$, а T-час запізнення, за технічними характеристиками буде 0.01с

Тому передатна функція сприймаючого елемента буде мати вигляд

$$W_{CE}(s) = \frac{4608}{0,01 + 1}$$

(3.1)

2. Вибір клапану)

Вибираємо клапан з діаметром умовного проходу 20 мм, та часом спрацювання не більше 0,5 секунд. Отже запірний клапан EV-1, DN20 задовольняє свої технічні характеристики

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики запірного клапану EV-1, DN20

| Характеристика | Значення характеристики |
|-------------------|-------------------------|
| Виконання клапану | Нормально відкритий |
| Умовний діаметр | 20 мм |

| | |
|--------------|-------------|
| Робочий тиск | 0,5 атм |
| Живлення | 220В |
| Час закриття | 0,2-0,5 сек |



Рисунок. 3.2-Вигляд запірною клапану EV-1, DN20

В складі клапану електропривід LVC24A-SZ-TPC має такі технічні характеристики

Таблиця 3.3- Технічні характеристики двигуна LVC24A-SZ-TPC

| Назва | Потужність | Частота Собертання | Сила струму при напрузі 380В | ККД | cosφ | I пуск, I ном |
|-------------------|------------|-----------------------|---------------------------------------|-----|------|------------------|
| LVC24A- SZ-TPC | 1.5 кВт | 800 об/хв | 1 А | 87% | 0.87 | 7/5 |

Для розглянутої системи підібраний запірний клапан з керуванням за електричним сигналом, а також по характеристикам моделюючої системи. Запірний клапан відповідає всім вимогам.

Клапан являє собою не лінійний елемент з нелінійною характеристикою, що необхідно враховувати при розрахунку передатної функції елемента.

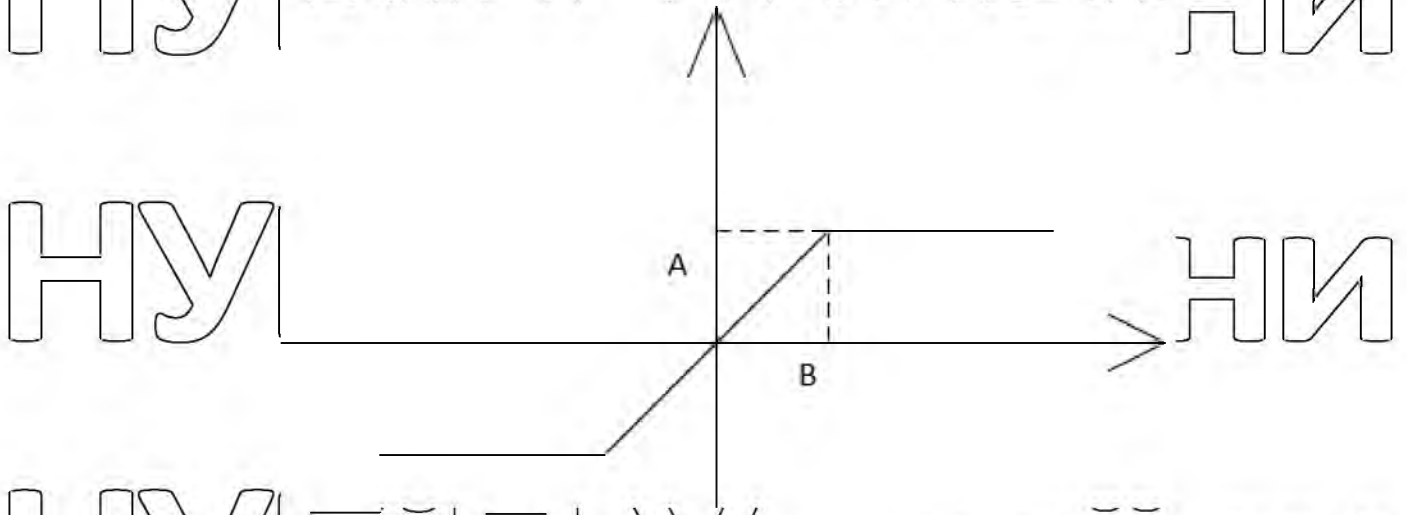


Рисунок. 3.3. - Нелінійна статична характеристика клапана

Для даного виду нелінійності передавальна функція клапана знаходиться за формулою :

$$W_{\text{кл}} = K_{\text{кл}} = \frac{q(p)}{2} \quad (3.2)$$

Так як робоча є тільки верхня частина графіка, що бере початок у точці (0;0), функція $q(p)$ по атласу Топчаєва має вигляд:

$$q(p) = \frac{2}{\pi} \left(\arcsin \frac{B}{A} + \frac{B}{A} \sqrt{1 - \frac{B^2}{A^2}} \right) \quad (3.3)$$

Де $B = 220\text{В}$ -це значення напруги в граничній точці;

$A = 5 \cdot 10^5 \text{Па}$ -амплітудне значення тиску в системі

Таким чином, значення передатної функції отримаємо таке:

НУБІП України (3.4)

3. Вибір сигнальної лампи

Для сигналізації системи розливу пива застосовуються сигнальні лампи AD16-30DS-В. Напруга живлення 220 В постійного/змінного струму

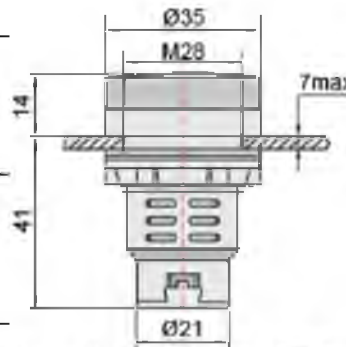


Рисунок 3.4 – Розмірні данні лампи

4. Програмований логічний контролер ПЛК160



Рисунок. 3.5- вигляд програмованого логічного контролеру ПЛК 160

ПЛК160 [M02] – лінійка програмованих моноблокових контролерів з

дискретними і аналоговими входами/виходами на борту для автоматизації середніх систем.

Контролери цієї лінійки рекомендуються для побудови розподілених систем керування і диспетчеризації з використанням як дротяних, так і бездротових технологій.

Застосування ПЛК160 [M02]:

- Системи HVAC
- У сфері ЖКГ - автоматизація ІТП, ЦТП, АСК водоканалів
- Автоматизація торгового обладнання
- Керування кліматичним обладнанням
- Керування малими верстатами і механізмами
- Керування пакувальними та харчопереробними апаратами
- Автоматизація процесів під час виробництва будівельних матеріалів
- Автоматизація ліній з дерево - і металообробки (розпилювання, намотування тощо)

Переваги ПЛК160 [M02]

- Швидкісні входи для обробки енкодерів.
- Вбудовані дискретні та аналогові входи/виходи на борту.
- Робота за заздалегідь обговореними сценаріями при підмиканні до контролера USB-накопичувачів або ведення архіву роботи обладнання.
- Просте й зручне програмування в системі CODESYS V. 2 через порти USB Device, Ethernet, RS-232 Debug.
- Передача даних на верхній рівень через Ethernet або GSM-мережі (GPRS).
- 3 послідовних порти RS-232, RS-485):
 - збільшення кількості входів-виходів;
 - керування частотними перетворювачами;

НУБІП
о під'єднання панелей операторів, GSM-модемів, зчитувачів штрих-кодів тощо.
Живлення: 220 В і 24 В

НУБІП
України



НУБІП



України

Рисунок. 3.6.- Вигляд екрану оператора

СПЗХХ – лінійка сенсорних панелей оператора. Призначена для наочного відображення значень параметрів та оперативного керування, а також ведення архіву подій або значень. Конфігурування СПЗХХ здійснюється у середовищі «Конфігуратор СП300». Рекомендується для спільного використання з ПЛК, ПР, ПЧВ, ТРМ.
 України

3.3 Розрахунок настройки П-регулятора

НУБІП
На стадії проектування відповідний тип П-регулятора вибирають на підставі розрахованого параметра його настройки-коефіцієнта передачі K_p

НУБІП
При цьому застосуємо одну з трьох методик, а саме на заданий частотний показник коливальності M

НУБІП
України
36

Проводять розрахунок коефіцієнта передачі П-регулятора, маючи передатну функцію об'єкта, за якою можна побудувати його АФХ.

Послідовність розрахунків така:

- Берем коефіцієнт передачі регулятора $K_p = 1$ (при цьому АФХ розімкненої

системи автоматичного регулювання збігається з АФХ об'єкта керування);

Проводим промінь під кутом β до від'ємної дійсної півосі; кут $\beta = \arcsin(1/M)$;

- Проводим радіус кола, щоб його центр містився на від'ємній дійсній пів

осі, а коло дотикалось до АФХ розімкненої системи та променя. У зазначеній умові коло буде забороненою зоною, куди не має заходити АФХ розімкненої частини, при цьому забезпечується певна якість (вона визначається M) замкнутої системи;

Визначають дійсний коефіцієнт передачі регулятора $K_p = \frac{M}{M^2 - 1} * \frac{1}{r}$ де r - радіус кола; слід пам'ятати що масштаби, за якими будують годограф на комплексній площині, мають бути однаковими для дійсної та уявної осі.

Проводимо обчислення на заданий частотний показник коливальності ($M=16$),

де передатна функція об'єкта управління:

$$W_{oy}(s) = \frac{60}{25 * s} * e^{-5*s}$$

(3.5)

Будуємо АФЧХ об'єкта. Для цього робимо заміну $p = j\omega$, де $j = \sqrt{-1}$

$$W_{oy}(\omega) = \frac{60}{25 * j\omega} * e^{-5*j\omega}$$

(3.6)

Змінюючи частоту ω від 0 до ∞ , знаходимо дійсну $Re(W(\omega))$, та уявну $Im(w(\omega))$,

складові АФХ об'єкта керування

Визначаємо кут: $\beta = \frac{\arcsin(1+M) \cdot 360}{2 \cdot \pi} = 38,68$

(3.7)

Результати побудови на рис. 2.8.

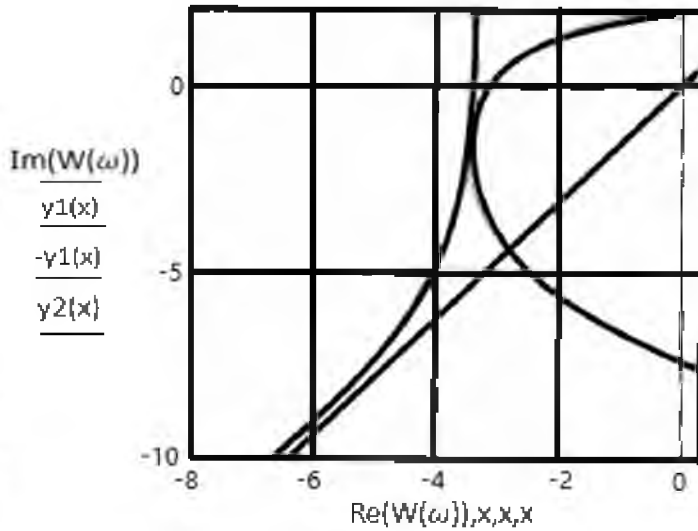


Рисунок 3.7 Розрахунок коефіцієнта передачі П-регулятора

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Побудова перехідного процесу із використанням імітаційного моделювання

Побудова перехідного процесу за допомогою імітаційного моделювання або експериментального дослідження – це процес створення моделі системи для аналізу і спостереження за її реакцією на зміни вхідних параметрів або умов.

1. Імітаційне моделювання: Можна використати спеціальні програмні засоби, такі як MATLAB або Simulink, для побудови імітаційної моделі системи керування на основі розробленої математичної моделі та передатної функції. Спочатку ініціалізувати модель з відомими параметрами П-регулятора а потім виконати симуляцію процесу розливу пива. Під час симуляції спостерігати за динамікою системи та отриманими перехідними процесами.

2. Експериментальні вимірювання: Інший підхід полягає в тому, щоб виконати реальні експерименти з використанням фізичного обладнання на пивзаводі. Для цього потрібно підключити систему керування до об'єкта (процесу розливу пива) і виконати вимірювання динаміки системи під час роботи. Отримані даними дозволять побудувати перехідні процеси

Динамічна характеристика системи автоматичного регулювання подана у вигляді структурної алгоритмічної схеми, де ОК-Об'єкт керування, СЕ-сприймаючий елемент, ВМ-виконавчий механізм Р- П-регулятор.

НУБІП України

НУБІП України

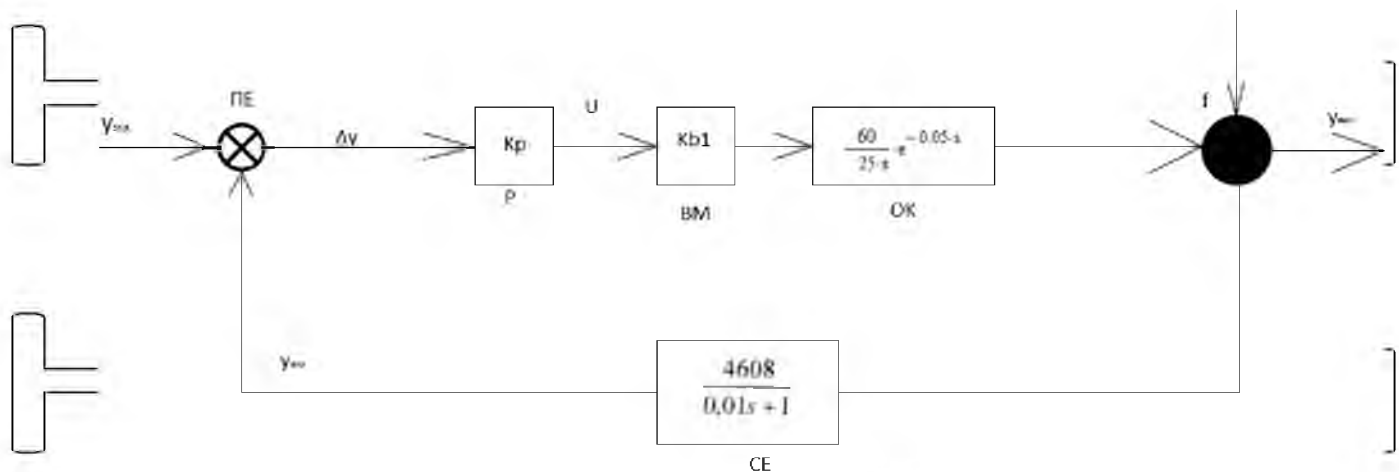
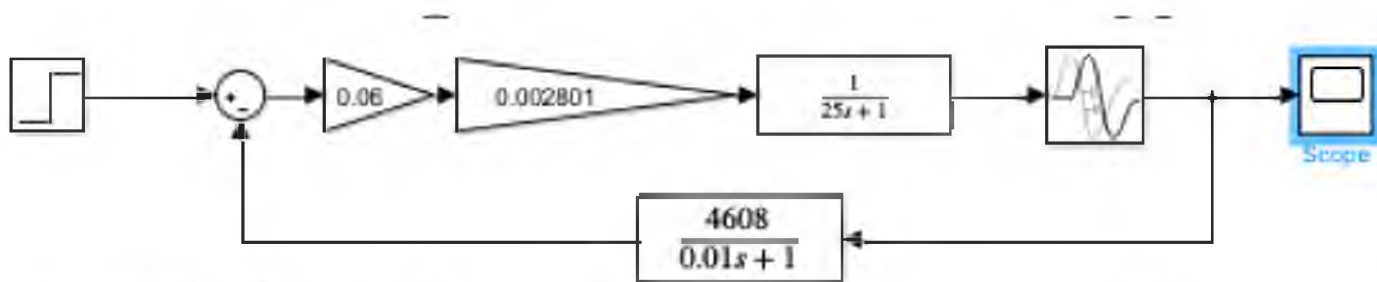


Рис. 4.1 – структурно-алгоритмічна схема САК

На схемі зображена ОК- передатна функція об'єкта керування, СЕ-передатна функція витратоміра, дельта У-вектор стану зміни вихідної величини від заданої, р-вектор станів регулятора, збурення-f, Увих-вектор станів об'єкта регулювання, Узад-вектор стану(задане).

Імітаційна модель системи керування з Р-регулятором у середовищі MATLAB є потужним інструментом для дослідження та аналізу систем керування. Модель може бути використана для вивчення впливу різних параметрів системи на її динаміку.



Структурно алгоритмічна система САК з П-регулятором

Розглянемо перехідний процес даної системи автоматизації

Швидкодія системи або тривалість перехідного процесу оцінюється часом $T_{пер}$,

Який визначається проміжком часу від моменту прикладення вхідної дії до того моменту, коли різниця між вихідною величиною та її усталеним значенням $u_{уст}$

У всі наступні моменти часу стає меншою за відхиленням

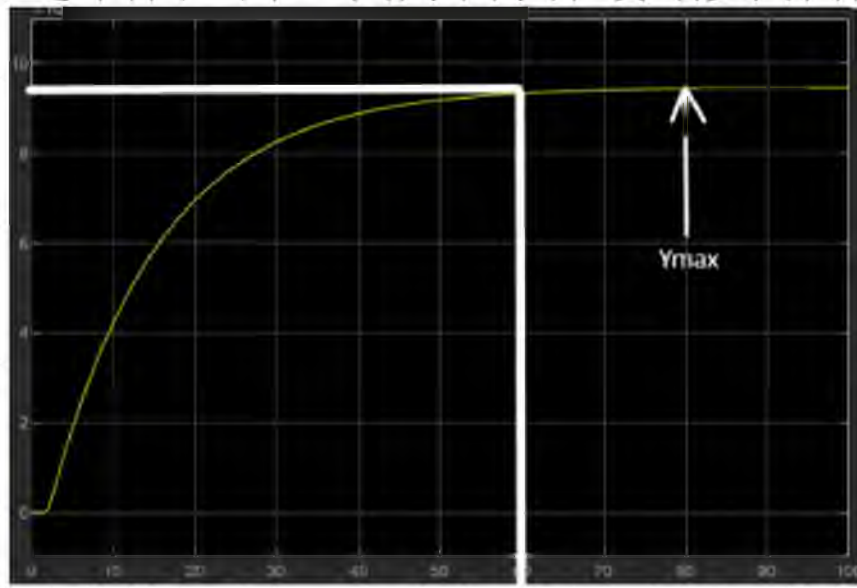


Рисунок 4.2- Перехідний процес системи автоматичного регулювання

Точність роботи автоматичної системи визначається наявністю різниці між задавальною дією і вихідною величиною в різних уставлених режимах. Точність системи в усталеному стані визначається статичною похибкою δ , яка розраховується за формулою

$$\delta = \frac{y_{зад} - y_{уст}}{y_{зад}} * 100\% \quad (4.1)$$

Де $y_{зад}$ - задане значення регульованої величини ; $y_{уст}$ - усталене значення вихідної величини

Статична похибка

$$\delta = \frac{y_{зад} - y_{уст}}{y_{зад}} * 100\% = \frac{9 - 9}{9} * 100\% = 0\% \quad (4.2)$$

Час регулювання

$$T_{рег} = 60с \quad (4.3)$$

Перерегулювання σ характеризує величину максимального динамічного відхилення системи в перехідному процесі

$$\sigma = \frac{U_{\max} - U_{\text{уст}}}{U_{\text{уст}}} * 100\% \quad (4.4)$$

Де U_{\max} - максимальне значення регульованої (вихідної) величини

$$\sigma = \frac{9-9}{9} * 100\% = 0\% \quad (4.5)$$

4.2 Розрахунок надійності системи автоматичного керування

Оцінка надійності системи керування – це процес визначення ступеня, до якого система може функціонувати без відмов та забезпечити потрібну продуктивність протягом певного періоду часу. Надійність системи керування вимірюється в її здатності виконувати функції та завдання в умовах різних внутрішніх та зовнішніх впливів, включаючи збої обладнання, програмні помилки, небажані впливи довкілля, і т. д.

Надійність визначають як властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах.

Надійність функціонування окремих елементів всієї системи регламентується ГОСТ 27.002-89 “Надійність в техніці, терміни і визначення”.

Проектний розрахунок надійності САУ лінії розливу пива визначимо за даними проведеними в таблиці 5.2.

В даній таблиці наведено інтенсивність відмов (стовпець 4), загальна інтенсивність відмов (стовпець 5) одержана як добуток інтенсивності відмов елементів на їх кількість, загальна інтенсивність відмов системи- це сума інтенсивностей відмов кожного елемента.

Отже, загальна інтенсивність відмов системи становить

$$\sum \lambda_i = 19.029 \cdot 10^{-6}, 1/\text{год} \quad (4.6)$$

Відповідно середній час безвідмовної роботи САР дорівнює

$$T_{\text{сер}} = 1 / \sum \lambda_i = 1 / 19.029 \cdot 10^{-6} = 52550, \text{год} \quad (4.7)$$

Отже отримане значення напрацювання на відмову становить 52550 год. Дуже добре. Якщо врахувати що рік містить 8760 год, дана система повинна безвідмовно

працювати близько 4 роки.

Приймаємо, що строк нормальної експлуатації становить $t = 2500$ год. Тоді, знайдемо результуючу ймовірність відмови $P(t)$ за $t = 2500$ год:

$$P_{\text{рез}}(t) = e^{-k \cdot \sum \lambda \cdot t} \quad (4.8)$$

де K - коефіцієнт, що враховує вплив зовнішнього середовища (приймаємо дин);
 t -час експлуатації.

Таблиця 4.1. Інтенсивність відмов елементів системи

| № | Назва елемента | Кількість елементів, шт. | Інтенсивність відмов, $\lambda_i \cdot 10^{-6}$, 1/год | Загальна інтенсивність відмов $\lambda_i \cdot 10^{-6}$, (1/год) |
|----|--------------------|--------------------------|---|---|
| 1. | Запобіжник плавкий | 1 | 0.04 | 0.04 |
| 2. | Кінцевий вимикач | 1 | 0.09 | 0.09 |
| 3. | Теплове реле | 3 | 0.1375 | 0.4125 |

| | | | | |
|-----|----------------------|---|-------|-------|
| 4. | Датчик витрат | 1 | 0.171 | 0.171 |
| 5. | Регулятор розливу | 1 | 0.04 | 0.04 |
| 6. | Регулятор конвеєру | 2 | 0.04 | 0.08 |
| 7. | Автоматичний вимикач | 2 | 0.175 | 0.35 |
| 8. | Лампа сигнальна | 3 | 0.625 | 1.875 |
| 9. | Магнітний пускач | 1 | 0.25 | 0.25 |
| 10. | Електро двигун | 3 | 5.24 | 15.72 |

Результуюча ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P_{рез}(t) = e^{-1 \cdot 19/029 \cdot 10 \cdot 2500} = 0.954 \quad (4.9)$$

Отже розрахована ймовірність безвідмовної роботи - $P_{рез}(t) = 0.954$, більша за заданої $P_{рез}(t) = 0.95$, можна зробити висновок, що на протязі 2500 годин ймовірність відмови складає 0.04

НУБІП України

НУБІП України 44

РОЗДІЛ 5. РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA-СИСТЕМИ

Завданням реалізації системи автоматизації процесу є інтеграція програмних засобів із структурою технічних засобів. Інструментом такої інтеграції є використання SCADA-систем, які здійснюють збір інформації з контролерів середнього рівня.

В результаті обробки цієї інформації формуються керуючі впливи для оптимізації параметрів процесу, що відповідають вибраним критеріям керування. Верхній рівень SCADA-системи отримує інформацію, яка необхідна для аналізу і прийняття рішень оперативним і технологічним персоналом.

Проектування SCADA-системи включає розробку та налаштування її окремих модулів. Першим модулем, з якого починається розробка, є графічний інтерфейс, який є основою АРМ (автоматизованого робочого місця) – оператора і будується на базі HMI (людино машинного інтерфейсу).

Системи SCADA складаються з трьох основних компонентів:

1. Обладнання системи, яке включає:
 - ПЛК-контролери
 - Контролери RTU (Remote Terminal Unit)
 - Модулі вводу/виводу (вхід / вихід)
 - Модулі управління та вимірювання
2. Мережа зв'язку з протоколами зв'язку. До найбільш часто використовуваних протоколів на виробничих підприємствах відносяться:
 - Modbus (разом з різновидами: Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus TCP / IP)
 - Ethernet / IP
 - Профінет
 - Профібус
 - Фундація Fieldbus
 - М-автобус (метровий автобус)

МQTT (Телевiзiйний транспорт через повідомлення)
 OPC UA (Єдина архiтектура)
 3. Програмне забезпечення SCADA разом з комунікаційними технологіями (драйвери зв'язку).

Структурна схема SCADA-системи наведена на рис. 5.1

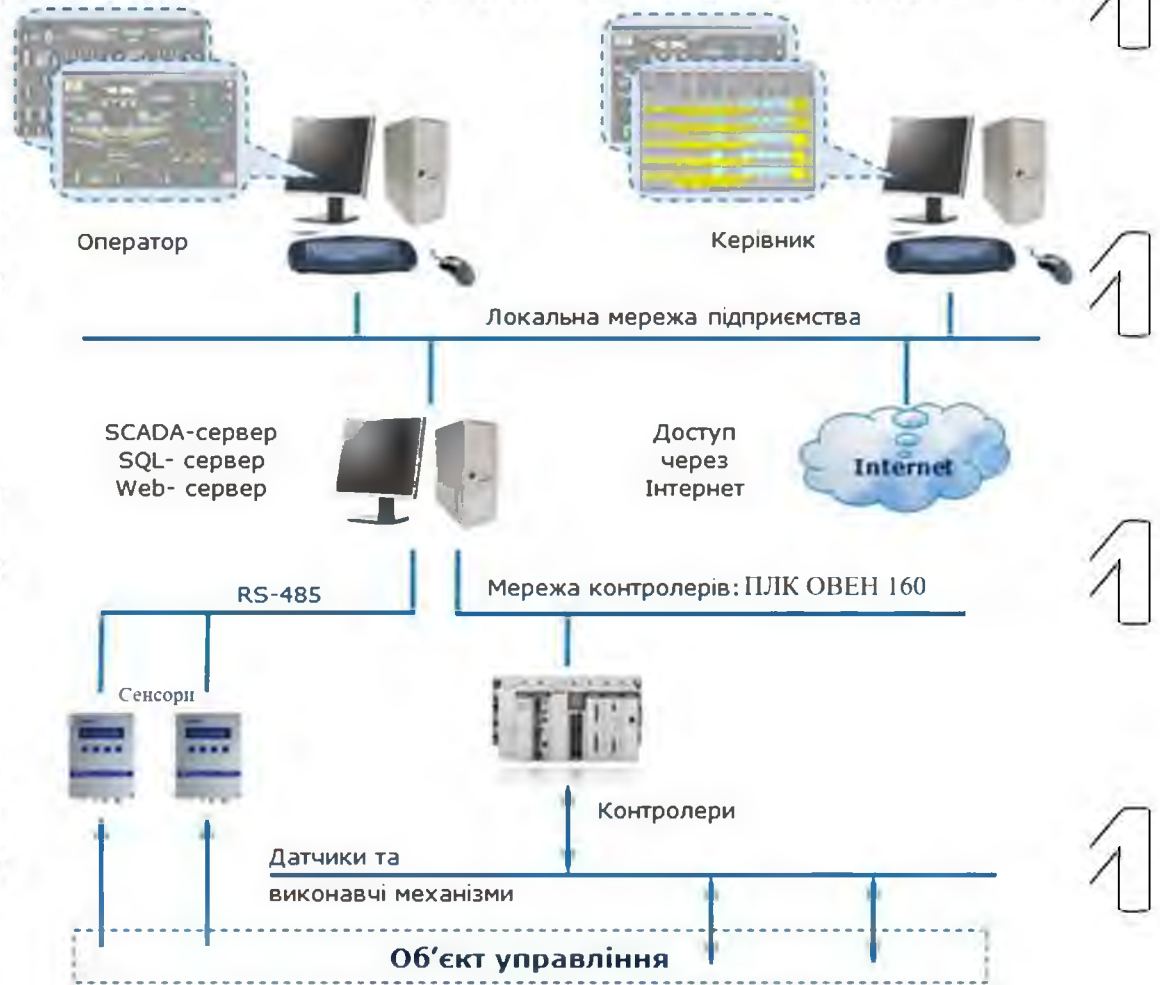


Рис 5.1- Структурна схема SCADA-системи

Однією з провідних систем SCADA є zenon. Система SCADA zenon допомагає підвищити ефективність виробництва, а також відповідати суворим стандартам безпеки.

Програмне забезпечення Zenon SCADA може працювати з багатьма пристроями, що використовуються в галузі виробництва харчових продуктів, контролю якості та упаковки готової продукції.

Переваги систем SCADA Zenon:

- Автоматичне проектування
- Ефективна можливість повторного використання
 - Міжнародне виконання. Використання юнікоду дає можливість використовувати паралельно будь-яку кількість мов, перемикати редактори мови онлайн.
 - Інтелектуальна інтеграція. Наявність відкритої центральної бази даних для змінних дозволяє уникати помилок і додаткових витрат.
- Об'єктно-орієнтоване представлення. Визначені один раз централізовано об'єкти доступні у всьому проекті.
 - Децентралізація та прямий доступ до проектів нижчого рівня. Велика швидкість реакції при низькій пропускну здатності надзвичайно мінімізує витрачені зусилля.
- Відкритість усіх напрямків розробки є ключовою функціональною можливістю zenon. Наприклад, обмін даними з ERP або підключення процесу

ZENON надає набагато більше можливостей, ніж звичайний стандарт OPC. В системі присутні більш ніж 300 драйверів для підключення до апаратної частини. Серд них:

- Modbus
- DNP3
- IEC 60870

- Bacnet
- OPC
- та інші.

Для реалізації комунікації з програмним забезпеченням різних виробників в

zenon застосовуються такі інструменти:

- SQL інтерфейси
 - OPC UA Сервер та Клієнт
 - COM інтерфейс

- XML, CSV, dBase, ASCII

ZENON використовує сучасні мережеві технології та має у своєму складі чис-

ленні інструментальні засоби аналізу, такі як:

- Аналізатор продуктивності
- Сервер діагностики
- SNMP драйвер
- Менеджер з технічного обслуговування (SMM)
- Діагностика PLC

Підсистема написання програмної логіки zenon

Інтегрована підсистема написання програмної логіки zenon Logic являє собою структуроване логічне програмування IEC 61131-3. IEC 61131-3 — розділ

міжнародного стандарту IEC 61131 (відповідний європейський стандарт EN 61131), що визначає мови програмування для програмованих логічних контролерів.

Інтерфейс користувача стандарту IEC пропонує різні мови програмування:

- Список інструкцій (IL);
- Структурний текст (ST);

- Сходинкові діаграми (LD);
- Функціональні блоксхеми (FBD);
- Графсет (SFC).

Оскільки середовище програмування ІЕС має двосторонній доступ до бази даних zenon-керованих змінних, вони мають спільну базу. У зв'язку з цим стає непотрібним подвійне оголошення змінних.

Особливості середовища програмування ІЕС:

Відкритість стандартів. Починаючи з рівня операційної системи (платформа Microsoft Windows) і закінчуючи реляційними базами даних (Microsoft SQL Server, Oracle, Informix тощо), всюди використовуються відкриті протоколи, наприклад TCP/IP.

Можливість використання програмного забезпечення різних виробників. Також широкий вибір прийняття рішень щодо вибору апаратних засобів.

Компоненти Scada системи zenon

Scada система нового покоління zenon являє собою оригінальний програмний продукт підприємства COPA-DATA. Вона являє собою потужну систему керування технологічними процесами і складається з таких компонентів:

- Багатозадачна операційна оболонка. Призначена для пріоритетного розподілу процесорного часу між поточними завданнями.

- Мережева розподілена база даних. Складається з наступних рівнів: логічна база (Logicbase); відео база (Videobase); база обладнання (Hardwarebase), MathBase, OPC Server.

- Менеджер взаємодії мереж. Являє собою програмний інтерфейс між протоколами MODBUS і TCP / IP, взаємодія цих протоколів з іншими компонентами системи. Підтримує OPC-Server.

- Менеджер дистанційного керування. Забезпечує дистанційне керування з клавіатури сервера та / або комп'ютера оператора.

- Менеджер аварійних захистів. Являє собою набір програмно змодельованих блоків, які є шаблонами для створення необхідного алгоритму аварійного захисту.

Процес побудови алгоритму аварійного захисту являє собою опис зв'язків між цими блоками.

- Система протоколювання. Забезпечує протоколювання поточної інформації на технологічному сервері, а в разі необхідності на компакт диску сервера. Дозволяє одночасно переглядати на спеціальному екрані до шести параметрів. Є вбудована система масштабування і синхронізації графіків.

- Оригінальний алгоритм інтегрування дозволяє в реальному часі обчислювати середні показники параметрів за будь-який інтервал часу, що є особливо важливим при економічних розрахунках.

- Система графічного відображення є оригінальною розробкою і являє собою набір графічних програм, які відображають хід технологічного процесу в зручному для оператора вигляді.

Отримані дані використовуються для систем: візуалізації, вимірювання, реєстрації, аналізу, контролю та керування технологічним процесом, та / або обладнанням, а також архівування даних на жорсткому диску комп'ютера.

Розробка людино-машинного інтерфейсу і логіки його роботи ведеться в середовищі розробки Zenon, складні логічні завдання, а так само завдання симуляції фізичних контролерів вирішуються за допомогою програм на мовах програмування стандарту MEK 61131-3, які розробляються в середовищі розробки LogicWorkbench. Виконання розробленого людино-машинного інтерфейсу ведеться в середовищі виконання Zenon RT, а програм розроблених в LogicWorkbench в середовищі виконання Logic RT реалізує програмний програмований логічний контролер.



Рисунок 5.2 – Вікно відображення виробничої лінії

На головному вікні подається інформація про режим роботи системи (хід процесу, промивання та дезінфекція, тестування, технічне обслуговування), робочу зміну, партію розливу, кількість вироблених одиниць продукції та значення ключових індикаторів виробництва.

НУБІП України

НУБІП України 51

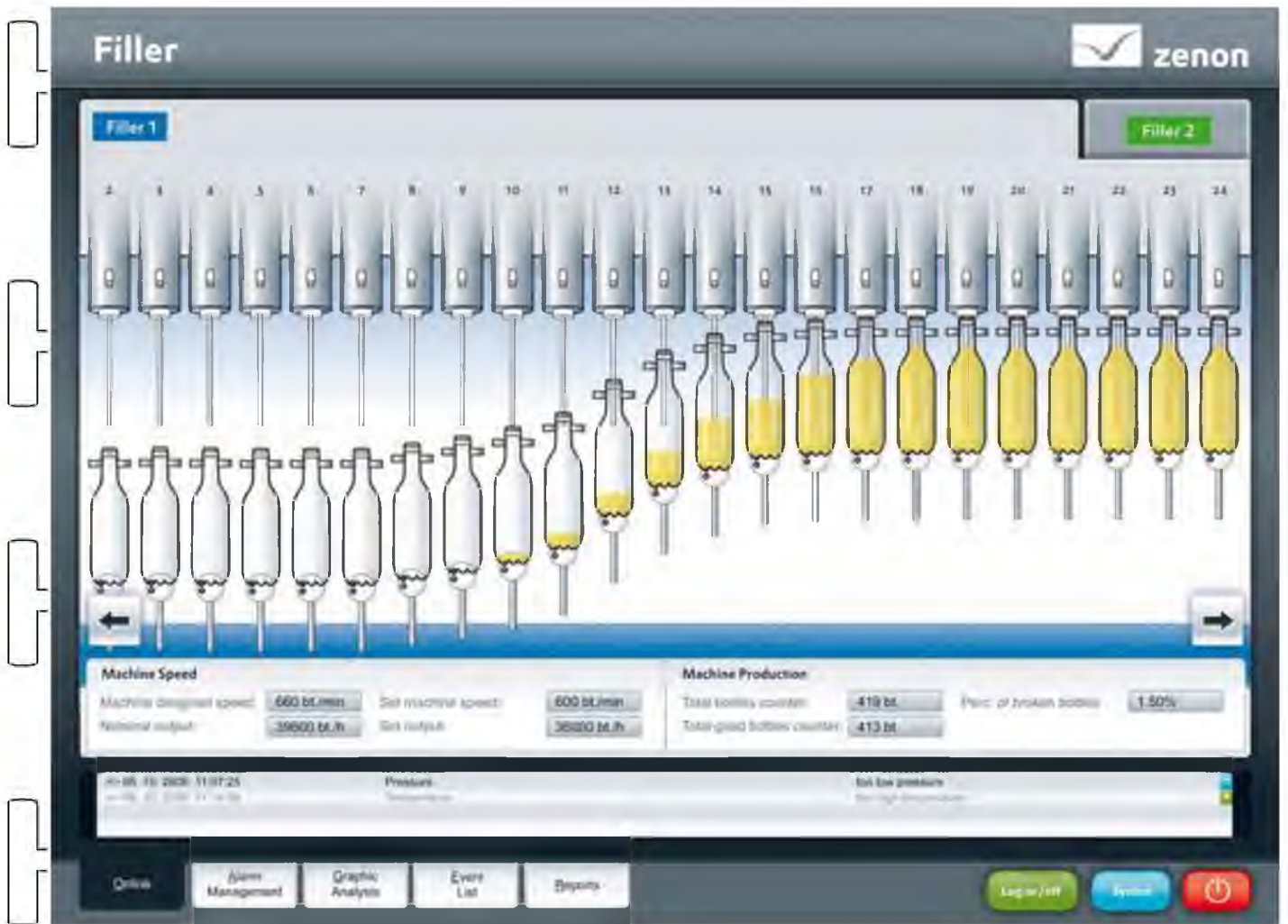


Рисунок 5.3 – Вигляд процесу розливу пива в пляшки

Найважливішим об'єктом лінії є блок розливу. Від ефективності його роботи залежить продуктивність всієї лінії. Вікно контролю розливу відображає наступне:

• відсоткове співвідношення кількості розбитої тари

• поточний стан розливу

• швидкість виробництва

• активні тривоги

• ключові індикатори

Ця інформація дозволяє оператору в он-лайн режимі здійснювати внесення коригувань у процес виробництва.



Рисунок 5.4- Зображення вікна параметрів

Система має низку інструментів для виявлення потенційних сегментів модернізації лінії. До них насамперед належать графічні інтерпретатори: вікна трендових кривих, діаграм Ганта та динамічних схем ефективності ходу процесу. Тут можна здійснювати масштабування, сканування, тимчасове фільтрування даних.

НУБІП України

НУБІП України 53

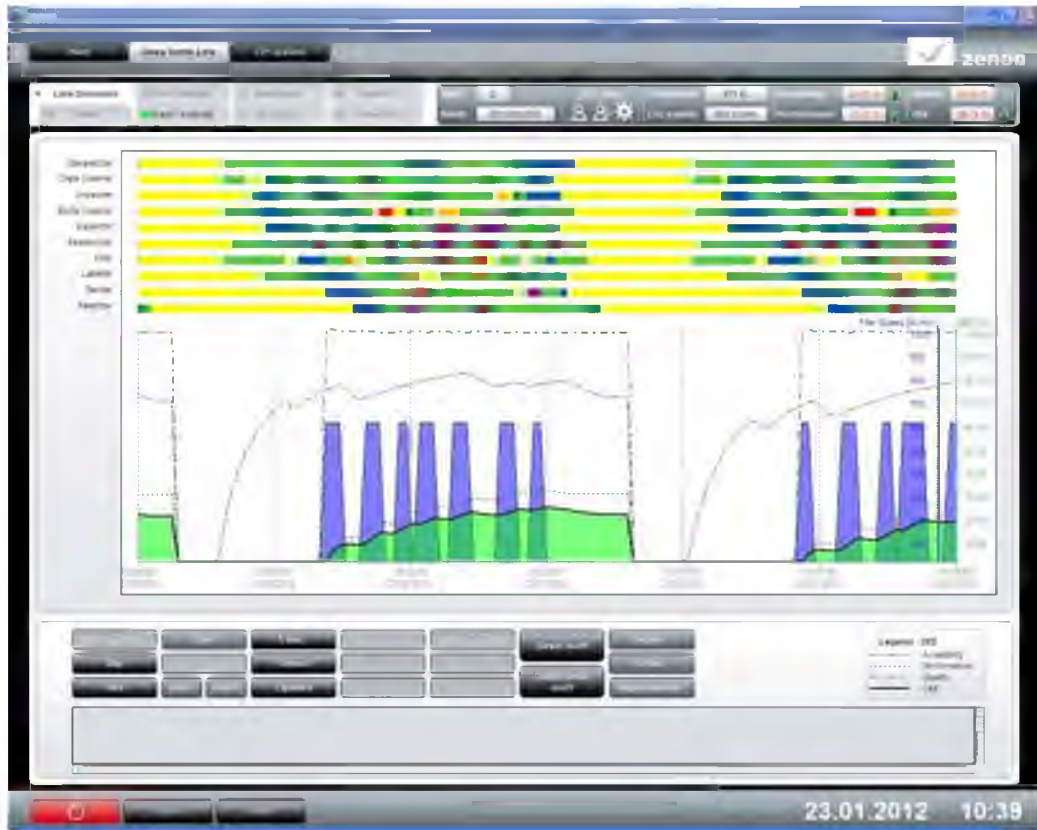


Рисунок 5.5– Графік процесів роботи

Особливо приділяється увага контролю та оптимізації споживання ресурсів: води, стиснутого повітря електроенергії.

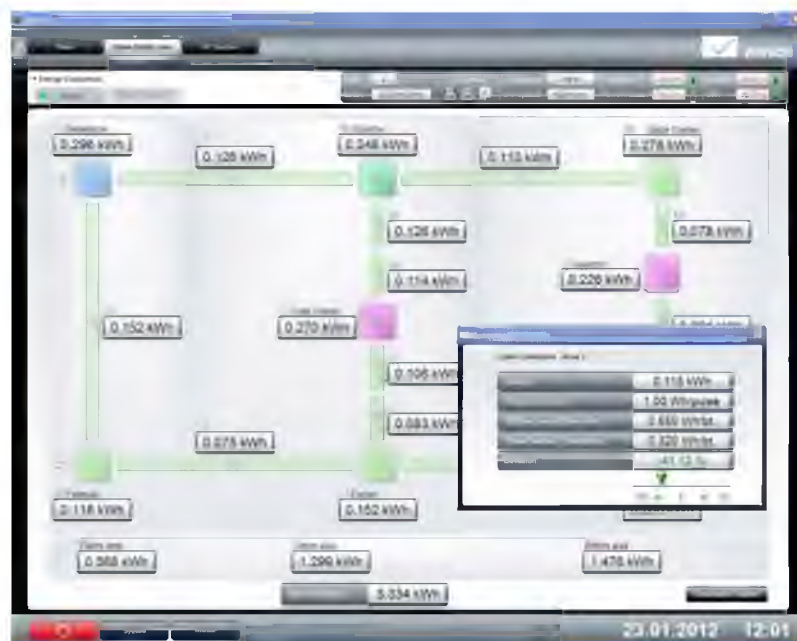


Рисунок 5.6- Вікно контролю ресурсів



Рисунок 5.7- Вікно споживання ресурсів в графічному вигляді

Всі виробничі дані заносяться до архівів, на базі яких здійснюється генерування звітів.

| Date | Shift | Batch | Production (t) | Energy | | Air | | |
|------------|-------|------------|----------------|-----------|-------------------|------------|-------------------|---------|
| | | | | Cons. kWh | Dev. vs. Norm (%) | Cons. (m³) | Dev. vs. Norm (%) | OES (%) |
| 23.01.2012 | 3 | 2012010208 | 634 | 3.49 | 27.33 | 309.00 | 19.26 | 19.19 |
| 23.01.2012 | 3 | 2012010209 | 630 | 3.47 | 24.60 | 199.00 | 16.47 | 19.62 |
| 23.01.2012 | 3 | 2012010210 | 685 | 3.49 | 31.12 | 218.00 | 24.99 | 17.95 |
| 23.01.2012 | 3 | 2012010211 | 799 | 3.53 | 13.32 | 218.00 | 8.34 | 21.82 |
| 23.01.2012 | 3 | 2012010212 | 777 | 3.50 | 17.41 | 227.00 | 13.71 | 21.62 |
| 23.01.2012 | 3 | 2012010213 | 688 | 3.47 | 24.21 | 199.00 | 15.12 | 19.23 |
| 23.01.2012 | 3 | 2012010214 | 721 | 3.49 | 23.88 | 217.00 | 15.86 | 22.51 |
| 23.01.2012 | 3 | 2012010215 | 538 | 3.46 | 18.64 | 130.00 | 28.30 | 17.86 |
| 23.01.2012 | 2 | 2012010216 | 750 | 3.47 | 12.97 | 200.00 | 8.52 | 20.44 |
| 23.01.2012 | 3 | 2012010217 | 819 | 3.44 | 24.21 | 487.00 | 24.78 | 17.29 |

Рисунок 5.8 – Вигляд запису даних до архіву

Загальновиробничі показники

Scada система zenon дозволяє не тільки ефективно керувати процесами розливу та миття обладнання, але й відображає на єдиному загальному вікні зведену інформацію з усього виробництва, яка доступна керівництву підприємства.

Провідний менеджмент компанії в онлайн-режимі отримує достовірну інформацію про стан лінії, поточний етап процесу, продуктивність, ключові індикатори виробництва.



Рисунок 5.9 – Вікно відображення всіх процесів

На рис. 5.10 наведена узагальнена діаграма PLMS, реалізована засобами HMI/SCADA-системи zenon.

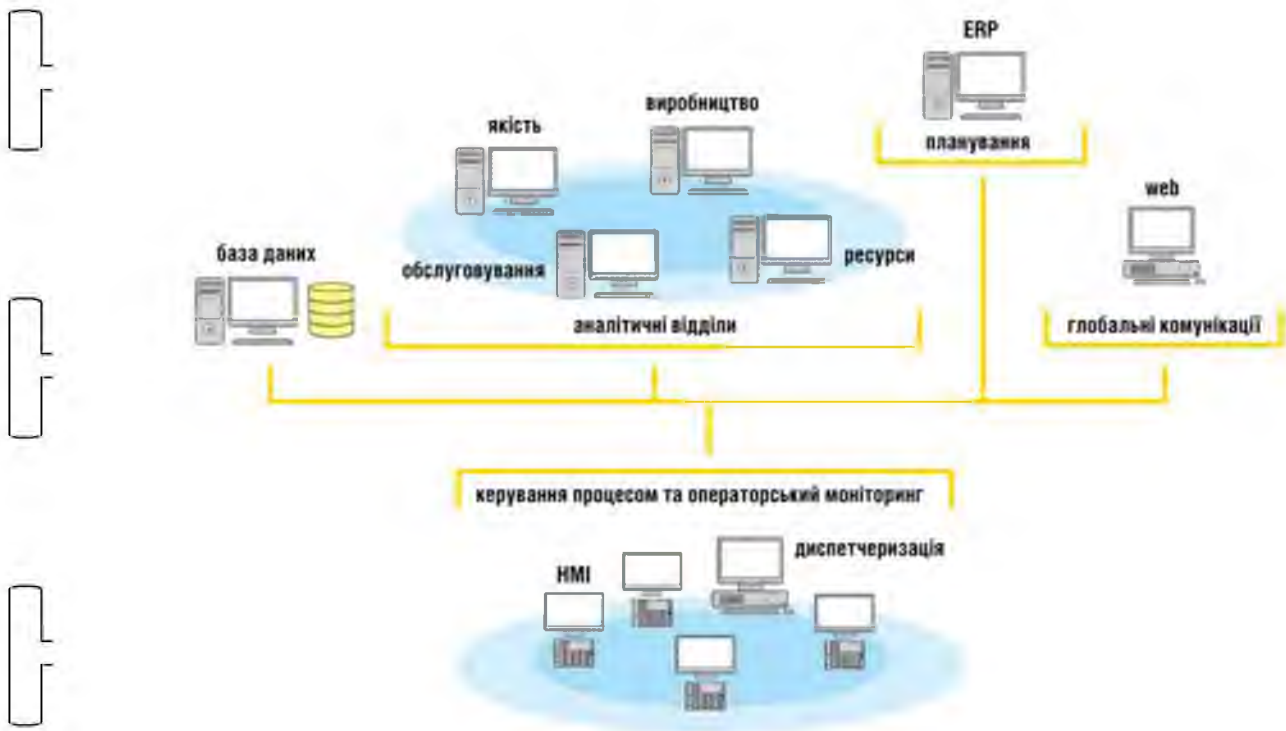


Рис. 5.10- Узагальнена діаграма PLMS, реалізована засобами HMI/SCADA-системи

zenon.

Таким чином, розроблена SCADA система надає наступні можливості:

- візуалізація схеми технологічного процесу на ПО;
- відображення поточних показань на екрані ПК;
- збір та первинна обробка інформації, що надходить з нижнього рівня до ПК;
- контроль стану пристроїв, що функціонують в системі;
- вибірковий контроль обраного каналу керування;
- архівация даних про роботу обладнання та виконавчих механізмів;
- взаємодія з підсистемою Owen Report Viewer (ORV), забезпечує доступ до архівів.

Впровадження SCADA системи zenon дозволить отримати комплексний контроль усім виробництвом, оптимізувати використання ресурсів, а найголовніше підвищити загальний прибуток підприємства за рахунок збільшення ефективності використання обладнання.

РОЗДІЛ 6. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Розробка схеми електричної принципової

Розробка схеми електричної принципової – цей етап включає в себе розробку електричної принципової схеми системи автоматизованого керування для процесу розливу пива на пивзаводі. Схема визначає підключення компонентів які використовуються для регулювання процесу під час розливу.

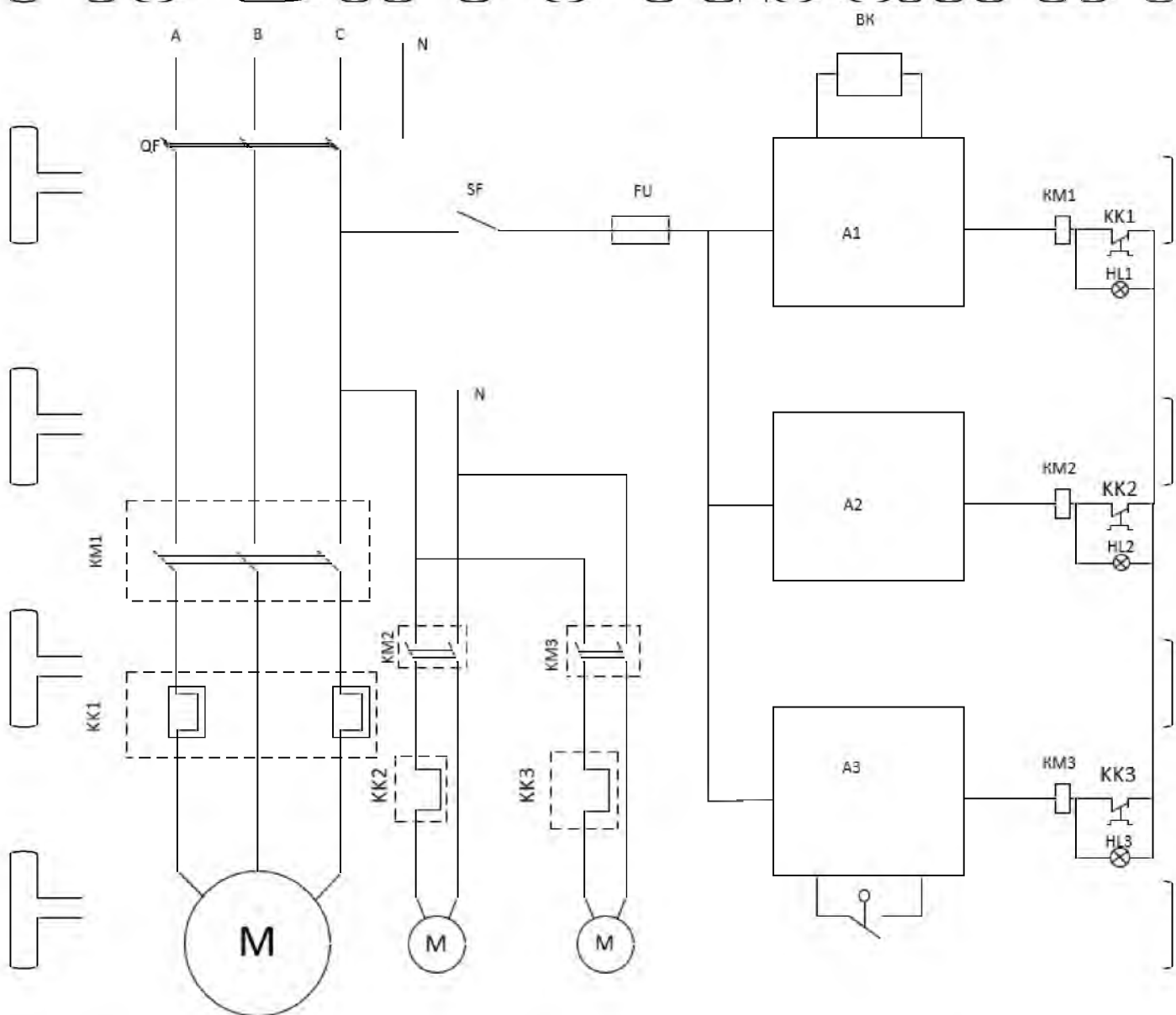
Принципові електричні схеми — це проектний документ, що визначає повний склад електричних елементів, зв'язки між ними та дає повне уявлення щодо принципів роботи схеми.

На схемі зображено систему автоматичного керування лінією розливу пива в пляшки.

При роботі системи, зреагувавши датчик витрат ВК, подає сигнал до регулятора розливу А1, який в свою чергу подає керуючий сигнал на магнітний пускач КМ(спрацювання сигнальної лампи HL1), котрий приводить в дію електропривід М1, щоб закрити запірний клапан. Електропривід має реле теплового захисту КК1 від струмів перевантаження.

Для захисту від перевантажень системи встановлений автоматичний вимикач QF, а також в колі керування SF. Далі на лінії встановлені два двигуни конвеєру НМЕ-85, поз. М2-М3, двигуни однофазні, котрі під'єднані за допомогою теплових реле КК2, КК3. Ці двигуни керуються контролерами А2-А3. Світлова сигналізація відбувається за допомогою HL2-HL3. Для захисту кола керування також встановлений запобіжник FU.

Рисунок 5.1.1 – Схема електричної принципової системи



6.2 Вибір щита керування

Вибір електричного керувального щита для системи автоматизованого керування на пивоварні базується на ряді ключових факторів.

Вибір щита, який відповідає всім нормам та стандартам щодо електробезпеки, грає критичну роль у забезпеченні безпеки персоналу та обладнання.

Також розглядається можливість майбутнього розширення системи, і вибір щита, який має додаткові резервні можливості, сприяє легкому розширенню.

Після уважного аналізу всіх цих факторів вибирається щит керування, який найкраще відповідає потребам системи автоматизованого керування на пивоварні і забезпечує її надійну та безперебійну роботу.

Вибір щита керування для системи автоматичного керування розливу пива може бути залежним від конкретних потреб та параметрів системи. Щит керування, який буде відповідати потребам. Загальний вигляд щита керування з врахуванням обладнання (Рисунок 5.4.1):

1. Модель і виробник щита: Щит управління системою автоматичного розливу пива, модель AQ-S-100.

2. Розміри щита: Розміри щита становлять 700 мм (висота) x 500 мм (ширина) x 300 мм (глибина).

3. Потужність і напруга: Щит призначений для середньовеликої потужності і живлення компонентів системи з напругою 220/24 В.

4. Конфігурація щита: Щит має двохщитовий дизайн з можливістю розширення для майбутніх потреб системи. Внутрішні модулі обладнання та прилади встановлені у відповідності з конфігурацією.

5. Норми та стандарти: Щит відповідає стандартам електробезпеки та нормам заземлення, що забезпечує безпеку та відповідність стандартам.

6. Захисні елементи: Щит включає в себе захисні елементи, такі як розетки та реле, для захисту від короткого замикання та перенапруги. Ці захисні елементи розташовані відповідно до стандартів електробезпеки.

7. Маркування: Кожен компонент в щиті має унікальний ідентифікаційний номер для полегшення підключення та обслуговування. Номери вказані на кожному компоненті.

8. Гарантія та підтримка: Обладнання виготовлено відомим виробником AQTECK, який надає гарантію на обладнання та забезпечує доступ до технічної підтримки, що гарантує надійність та підтримку під час експлуатації.

9. Бюджет: Вартість обладнання вписується в бюджет проекту, що гарантує фінансову ефективність системи керування.

НУБІП України

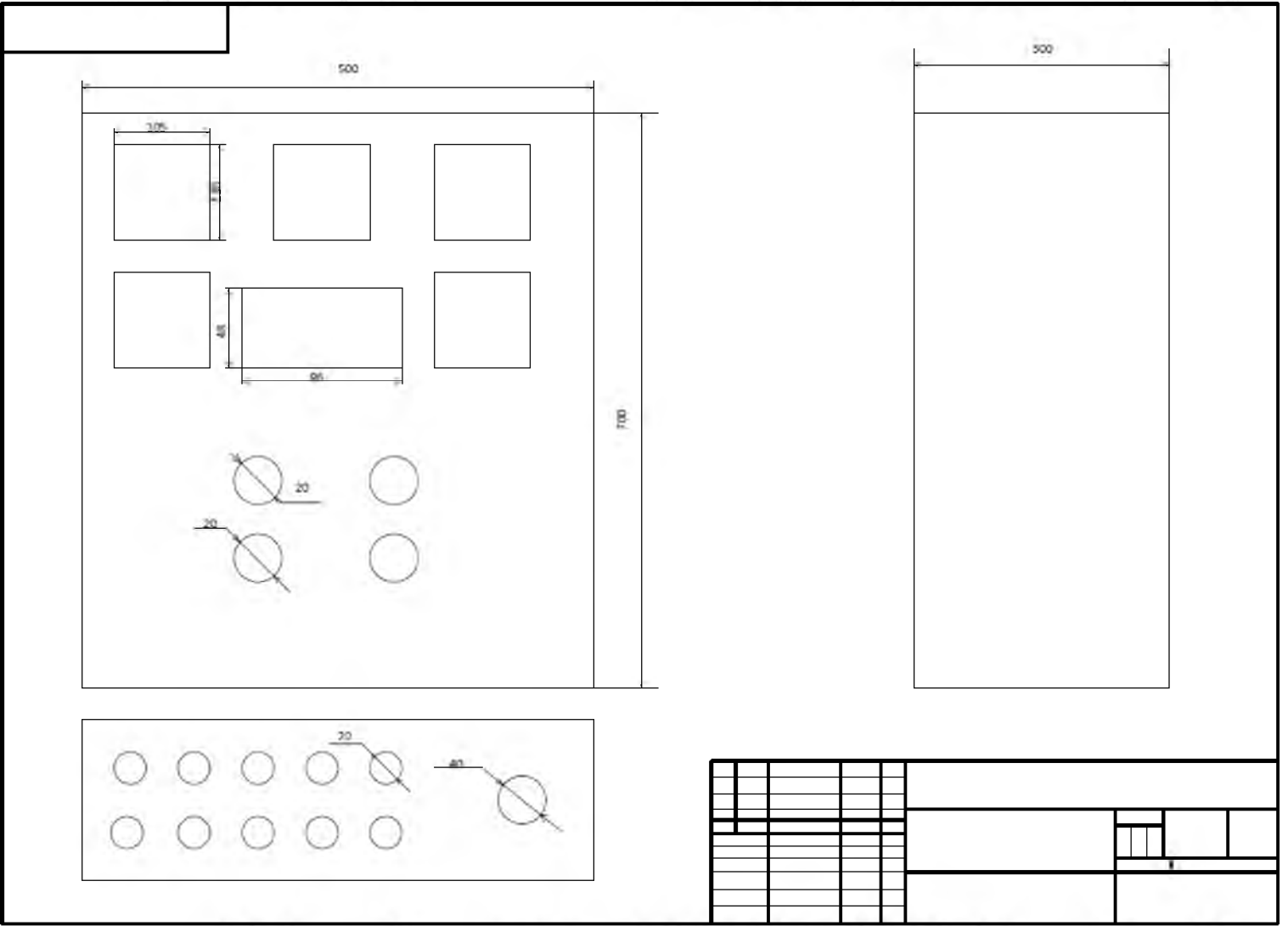


Рисунок 5.4.1 – Схема щита керування

НУБІП України

РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Розрахунок показників економічної ефективності є важливою частиною вашого проекту, оскільки дозволяє оцінити фінансову доцільність та вигідність впровадження системи автоматичного керування на пивзаводі. Оцінка економічної ефективності включає в себе різні показники та розрахунки, які можуть впливати на прийняття рішення щодо реалізації проекту.

Розрахунок інвестиційних витрат включає в себе визначення загальної суми коштів, які будуть витрачені на розробку та впровадження системи автоматичного керування на пивзаводі. Вартість інвестицій зазвичай складається з декількох основних компонентів.

Для того, щоб розрахувати інвестиційні витрати, необхідно зазначити конкретні числа для кожного компонента витрат. Таким чином, потрібно визначити точну вартість кожного обладнання та послуг.

Обладнання:)

а. Датчики тиску: 5,000 грн

б. Контролери: 10,000 грн

в. Виконавчі механізми: 7,000 грн

г. Інше обладнання: 2,000 грн

Програмне забезпечення: 8,000 грн

Послуги фахівців: 15,000 грн

Витрати на інфраструктуру: 6,000 грн

Резервні фонди: 10% від загальних інвестиційних витрат, тобто 4,000 грн

Інші витрати: 3,000 грн

Розрахунок інвестиційних витрат виглядає наступним чином:)

НУВБІ | УКРАЇНИ

Загальні інвестиційні витрати = Вартість обладнання + Вартість програмного забезпечення + Витрати на послуги фахівців + Витрати на інфраструктуру + Резервні фонди + Інші витрати.

Тепер можна це поррахувати:

Загальні інвестиційні витрати: $181\ 000 + 362\ 323 + 253\ 000 + 72\ 000 + 289\ 000 + 523\ 000 + 217\ 000 + 144\ 000 + 108\ 000 = 2\ 330\ 484$ грн.

Отже, загальні інвестиційні витрати для розробки та впровадження системи автоматичного керування становлять приблизно 63,000 грн.

Розрахунок оперативних витрат передбачає врахування різних видів витрат на обслуговування та експлуатацію системи автоматичного керування. Ось деякі типові пункти витрат:

- Витрати на електроенергію: Розрахунок витрат на електроенергію базується на споживанні потужності обладнання та вартості електроенергії. Наприклад, якщо система вимагає 10 кВт електроенергії, і вартість електроенергії складає 3.62 за 1 кВт-год, то витрати на електроенергію дорівнюватимуть 36 грн на годину ($10\ \text{кВт} * 3.62$).

- Технічне обслуговування: Вартість технічного обслуговування може бути обчислена на основі вимог виробника обладнання. Наприклад, якщо виробник вказав, що для нормального функціонування обладнання потрібно проводити обслуговування раз на місяць і це коштує 18000 грн за раз, то це становитиме 217 000 на рік.

- Витрати на запасні частини: Враховувати витрати на запасні частини, які можуть вийти з ладу час від часу. Зазвичай це виражається у відсотках від вартості обладнання. Наприклад, 5% від вартості обладнання в рік.

- Витрати на технічну підтримку: Якщо є підписаний контракт на технічну підтримку, то вартість такого контракту включається в оперативні витрати.

Витрати на програмне забезпечення: Якщо є програмне забезпечення, що вимагає регулярного оновлення або ліцензійні витрати, вони також включаються в цю категорію.

- Інші оперативні витрати: Включати будь-які інші витрати, пов'язані з експлуатацією системи, такі як витрати на обслуговування системи безпеки, комунікацій, тощо.

Прогноз економічної користі від впровадження системи автоматичного керування включає оцінку очікуваних фінансових переваг та зменшення витрат.

1. Чистий прибуток:
Додатковий прибуток від покращення продуктивності: 1 811 000 грн на рік.
Зменшення витрат на відходи: 362 000 грн на рік.

Зменшення операційних витрат: 724 600 грн на рік.

Економія на робочій силі: 1 086 000 грн на рік.
Економія від покращення якості: 181 000 грн на рік.
Чистий прибуток = 1 811 000 + 362 000 + 724 600 + 1 086 000 + 181 000 - 724 600 = 4 345 000 грн на рік.

1. Показник повернення інвестицій (ROI): $ROI = (\text{Чистий прибуток} / \text{Інвестиційні витрати}) * 100\% = (4\,345\,000 / 2\,330\,484) * 100\% = 186\%$.

2. Чиста теперішня вартість (NPV): За умови дисконту 10% та 5-річного проекту: $NPV = (181\,000 / (1 + 0.10)^1) + (362\,000 / (1 + 0.10)^1) + (724\,600 / (1 + 0.10)^1) + (1\,086\,000 / (1 + 0.10)^1) + (181\,000 / (1 + 0.10)^1) - 3\,623\,236 = 1\,646\,905$ грн.

3. Внутрішня норма прибутку (IRR): В даному випадку, щоб знайти точну IRR, потрібно вирішити рівняння, яке дорівнює нулю, враховуючи чистий прибуток та дисконтовані витрати:

НУБІП України 64

$$NPV = (2\,330\,484 / (1 + IRR)^1) + (362\,000 / (1 + IRR)^1) + (724\,600 / (1 + IRR)^1) + (1\,086\,000 / (1 + IRR)^1) + (181\,000 / (1 + IRR)^1) - 3\,623\,236$$

Зазначені розрахунки показують, що впровадження системи автоматичного керування призводить до позитивних фінансових результатів, з високим ROI і позитивним NPV. Точна IRR буде залежати від внутрішніх рівнів дисконту та тривалості проекту.

ПВС (період окупності витрат): Цей показник вказує на кількість років, необхідних для повернення інвестицій. Для даного проекту, приблизно ПВС = Інвестиційні витрати / Чистий прибуток = 3 623 236 / 1 646 905 ≈ 2.22 роки.

ЧНПВ (чистий приведений дохід): Цей показник враховує чистий прибуток інвестиції на час проекту. Розраховується на основі дисконту і часто використовується для порівняння різних проектів. Розрахувати ЧНПВ з використанням дисконту 10% на 5 років:

$$\text{ЧНПВ} = \sum (\text{Чистий прибуток} / (1 + 0.10)^n), \text{ де } n - \text{рік.}$$

$$\text{ЧНПВ} = (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^1) + (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^2) + (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^3) + (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^4) + (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^5)$$

ЧНПВ ≈ 6 060 043 грн.

NPV (чистий поточний вартість): Цей показник також враховує чистий прибуток на протязі років, але з дисконтуванням. Розрахувати NPV за допомогою дисконту 10% на 5 років:

$$NPV = \sum (\text{Чистий прибуток} / (1 + 0.10)^n), \text{ де } n - \text{рік.}$$

$$NPV = (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^1) + (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^2) + (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^3) + (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^4) + (1\,646\,905 / (1 + 0.10)^5)$$

NPV ≈ 5 043 399 грн.

IRR (внутрішню норму доходу): IRR – це та ставка дисконту, при якій NPV дорівнює нулю. Це показник оцінки рентабельності інвестиції. Розрахувати IRR:

IRR = 10% (як початковий дисконт, можливо, інший розумний дисконт може змінити результати).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України⁶⁶

РОЗДІЛ 8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення безпеки праці та охорони праці на підприємстві є вельми важливим аспектом, і проводиться на основі детального плану, спрямованого на покращення умов праці та санітарно-оздоровчих заходів[36]. Основні аспекти забезпечення безпеки праці на вашому підприємстві включають наступні етапи:

1. **Ввідний інструктаж:** Кожен новозатребуваний співробітник повинен пройти ввідний інструктаж, який проводиться спеціалістом в галузі охорони праці.

Головний інженер з охорони праці згідно ГОСТ 46.0.126-82 повинен бути присутній під час цього інструктажу. Інформація про проведений інструктаж повинна бути зареєстрована в журналі та на особистій картці працівника з датою та підписом інструктора і працівника.

2. **Первинний інструктаж на робочому місці:** Після ввідного інструктажу, працівник отримує первинний інструктаж від керівника підрозділу на своєму робочому місці.

3. **Регулярні повторні інструктажі:** Всі працівники повинні проходити повторні інструктажі не рідше одного разу на шість місяців. Електрики повинні проходити інструктаж раз на три місяці. Інформація про ці інструктажі також фіксується.

4. **Освіта для робітників, які працюють з електроприладами:** Робітники, які працюють з електроприладами, повинні проходити навчання та експлуатувати автоматизовані електроустановки згідно з «Правилами безпечної експлуатації електроустановок» (ДНАОП 1.1.10-1.01-97).

5. **Безпека під час роботи з технологічним обладнанням:** При роботі з технологічним обладнанням необхідно дотримуватися правил безпечної експлуатації, включаючи вимоги ДНАОП 0.00-1.07-94 «Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском» та технічні умови на обладнання.

6. Засоби автоматики та їхні параметри: При описі засобів автоматизації важливо звертати увагу на вид і клас точності приладів, які забезпечують безпечну експлуатацію автоматизованого обладнання. Також необхідно вказати, які запобіжні прилади використовуються при перевищенні напруги в мережі, тиску та рівня рідини в апаратах, а також які сигнальні прилади використовуються для запобігання виходу обладнання та автоматики з ладу.

Допуск до роботи та ремонту засобів автоматизації: Для роботи та ремонту засобів автоматизації допускаються спеціалісти КВПіА розрядом не нижче третього.

8. Медичні обстеження і позапланові інструктажі: Слюсарі КВПіА та електромонтери повинні проходити медичні обстеження один раз на два роки. Якщо виникають порушення правил техніки безпеки, проводяться позапланові інструктажі з метою уникнення подібних ситуацій.

Загальний підхід до безпеки праці та охорони праці на підприємстві включає систематичні заходи, регулярні навчання та стеження за дотриманням правил і вимог. Це забезпечує безпеку та добробут співробітників і допомагає підприємству зберігати продуктивність та ефективність роботи.

Керування технологічним процесом оператором ПЕОМ в автоматичному режимі передбачає проведення ряду важливих заходів для забезпечення безпеки та ефективності роботи. Нижче наведено актуалізовану інформацію щодо цих аспектів:

Автоматичне вмикання двигунів та насосів:

1. Оператор ПЕОМ здійснює автоматичне керування вмиканням і вимиканням двигунів і насосів на основі вимог технологічного процесу. Для цього використовується система автоматизації, яка контролює пристрої відповідно до програмних алгоритмів.

Сигналізація та контроль параметрів:

НУБІП України 68

1. Оператор ПЕОМ має можливість відслідковувати параметри процесу, такі як тиск, температура, рівень рідини і інші.

2. Система автоматизації надсилає сигнали та сповіщення на дисплейну мнемосхему в разі порушення цих параметрів, що дозволяє оператору реагувати на можливі аварійні ситуації.

Ручне керування:

1. Оператор ПЕОМ має можливість вручну включати і вимикати обладнання як з операторського пункту, так і по місцю.

2. Ручне керування може бути необхідним у випадках, коли потрібна термінова реакція на зміни в технологічному процесі.

Робочий графік оператора ПЕОМ:

1. Робота оператора ПЕОМ регламентована графіком, що передбачає 40 хвилин роботи та 10 хвилин перерви.

2. Це допомагає забезпечити високий рівень концентрації та уникнути втоми під час роботи.

Безпечна експлуатація електроустановок:

2. Безпечна експлуатація електроустановок здійснюється відповідно до вимог нормативних документів, зокрема ДНАОП 1.1.10-1.01-97 та ВСН 205-84.

3. До заходів та засобів, спрямованих на забезпечення безпеки електроустановок, включають:

- Недоступність струмоведучих частин.

- Прокладання електрокабелів під підлогою, в спеціальних каналах.

- Скрите виконання освітлювальної проводки.)

- Застосування ізоляції струмопровідних елементів.

- Захисне заземлення металевих частин електроустановок та корпусів

обладнання.

Використання автоматичних вимикачів типу АП 50-2МТ від струмів короткого замикання.

- Використання пониженої напруги для аварійного освітлення.
- Застосування попереджувальної сигналізації, написів та плакатів.
- Проведення організаційних заходів, включаючи інструктажі та навчання персоналу.

Ця система забезпечує безпеку та ефективність роботи оператора ПЕОМ під час автоматичного керування технологічним процесом. Вона відповідає нормам і стандартам і гарантує безперебійну роботу процесу розливу пива.

Захист та безпека на об'єктах керування є критично важливими аспектами для забезпечення безпечної та надійної роботи. Нижче наведено актуалізовану інформацію щодо заходів та систем, які забезпечують безпеку та захист від пожежі та електричних ризиків:

Заземлення електроінструменту:

2. При виконанні робіт із використанням електроінструменту напругою 220 чи 127 В, заземлення є обов'язковим.

3. Роботи повинні виконуватися в діелектричних рукавицях для запобігання можливого ураження електричним струмом.

Захист від атмосферної електрики:

4. Захист від атмосферної електрики забезпечується двома блискавковідводами, які закріплені на даху головного корпусу цукрозаводу.

5. Вони приєднані до заземлюючого контуру, щоб відводити блискавковий струм та запобігти ураженню.

Протипожежний режим:

1. Система запобігання пожежі передбачає надійну теплову ізоляцію елементів, які мають високу температуру.

70

2. Проводиться періодичний контроль цілісності теплоізоляції та інструктажі з протипожежної безпеки.

3. Забороняється захарашення приміщення горючими матеріалами та виконання вогняних робіт без дотримання протипожежних правил.

Система пожежного захисту:

1. Система пожежного захисту включає наявність плану евакуації із ділянки випарки та негорючих будівельних матеріалів.

2. Є протипожежне водопостачання, засоби гасіння пожеж (вогнегасники, ящики з піском), а також аварійне відключення установок та апаратури.

3. Пункт керування виконаний із негорючих будівельних матеріалів вищого ступеня вогнестійкості та має автоматичну систему оповіщення про пожежу з димовими датчиками та вогнегасниками.

Всі ці заходи та системи спрямовані на забезпечення безпеки та запобігання аваріям на об'єктах керування, відповідають нормам і стандартам щодо безпеки та протипожежного захисту.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВКИ

Автоматизація процесу розливу пива на пивзаводі «Зіберта» є важливим кроком у напрямку підвищення ефективності та продуктивності виробництва та має ряд переваг, зокрема:

- Покращення якості продукції дозволяє забезпечити точний і стабільний контроль над процесом розливу пива

- Підвищення продуктивності дозволяє скоротити час розливу пива, що може призвести до підвищення продуктивності.

- Зменшення витрат може призвести до зниження витрат на відходи, операційні витрати, робочу силу та інші витрати.

- Поліпшення безпеки може призвести до зниження ризику травм і аварій, оскільки система може контролювати процес розливу пива без втручання людини.

Для автоматизації процесу розливу пива на пивзаводі «Зіберта» було розроблено систему автоматичного керування, яка складається з наступних компонентів:

- Алгоритм керування: Алгоритм керування визначає, як система буде реагувати на зміни в параметрах процесу.

- Компоненти системи: Компоненти системи включають в себе датчики, виконавчі механізми та інші пристрої, які необхідні для контролю процесу розливу пива.

- Аналіз якості функціонування автоматичної системи

- Реалізація алгоритму керування об'єктом

Впровадження системи автоматичного керування на пивзаводі «Зіберта» є економічно доцільним. Система дозволить підвищити продуктивність, зменшити витрати на відходи, операційні витрати, робочу силу та покращити якість продукції.

Для подальшого вдосконалення системи автоматичного керування процесом розливу пива на пивзаводі «Зіберта» можна розглянути наступні напрямки:

- Налаштування параметрів П-регулятора забезпечення оптимального контролю .

- Розробка алгоритму керування іншими параметрами процесу розливу пива, такими як температура, швидкість та інші.

- Впровадження системи реального часу для моніторингу та керування процесом розливу пива.

Впровадження цих рекомендацій дозволить ще більше підвищити ефективність і продуктивність системи розливу пива на заводі «Зіберта», а також забезпечити більш точний і надійний контроль над процесом розливу пива. На підприємстві розроблені та впроваджені ефективні системи забезпечення безпеки праці та охорони праці, які відповідають нормам і стандартам. Впровадження цих систем дозволило

істотно підвищити рівень безпеки праці та охорони праці на підприємстві, а також запобігти можливим аваріям.

Розроблена система автоматичного керування забезпечує точний і стабільний контроль витрати пива

Автоматизація процесу розливу пива на пивзаводі «Зіберта» має ряд додаткових переваг, зокрема:

- Зменшення ризику помилок: Автоматизація може допомогти зменшити ризик помилок, оскільки система може контролювати процес розливу пива без втручання людини.

- Підвищення ефективності роботи персоналу: Автоматизація може звільнити персонал для виконання інших завдань, які вимагають людської праці.

- Покращення екологічної безпеки: Автоматизація може допомогти зменшити викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Автоматизація процесу розливу пива на пивзаводі «Зіберта» є важливим кроком у напрямку підвищення ефективності та продуктивності виробництва, а також забезпечення високої якості продукції.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України⁷⁴

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Комп'ютерно-інтегровані технології. Основи MatLab. Навчальний посібник / Лисенко В. П., Мірошник В. О., Штепа В. М. – К.: Вид. центр НУБіП України, 2010. – 80 с.
2. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Виливки з диференційними властивостями поверхні // IX Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні, 30...31 травня 2017 р., м. Київ, 2017. С. 242
3. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Виливки із диференційованими властивостями поверхні // XIV Міжнародна науково-практична конференція. Литьє. Металургія 2018., 22...24.05.2018 г. Запорозьке. С. 113...215.
4. Сорока К.О. Теорія автоматичного керування : навч. посібник / Харків : ХНАМГ, 2006. – 187 с.
5. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Теорія автоматичного керування» / Харків. держ. акад. міськ. госп-ва; уклад. : К. О. Сорока. – Харків : ХДАМГ, 2011, – 48 с.
6. Сорока К.О. Теорія автоматичного керування і комп'ютерне моделювання (неперервні лінійні системи). Частина друга. Аналіз система втоматичного керування засобами комп'ютерного моделювання : навч. посібник. – Харків : ФОПТімченко, 2010. – 156 с.
7. Ладієва, Л. Р. Оптимізація систем керування [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Л. Р. Ладієва ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,57 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 232 с.
8. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування: Курс лекцій для студентів напрямку 0925 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заочн. форм навчання – (частина перша) – К.: НУХТ, 2004. – 200 с

9. Теорія автоматичного управління: Підручник / За ред. Г.Ф. Зайцева. – К.: Техніка, 2002. – 668 с.
10. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність: підр. / Н.Б. Репнікова. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 328 с.
11. Островерхов М.Я., Сільвестров А.М., Зеленський К.Х. Методи дослідження електротехнічних систем і комплексів. – К.: ТАЛКОМ, 2019. – 300 с.
12. Лабораторний стенд керування кроковим двигуном від SCADA системи TRACE MODE / [Орловський І. А., Бондаренко В. І., Черняєв І. О., Андрієнко В. Ю.] // Електротехніка та електроенергетика. – 2012. – № 2. – С. 18–27.
13. Проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв. Релейний захист : [навч. посібник для студ. зі спец. електроенергетика, електротехніка та електромеханіка] / [Є. І. Сокол, О. Г. Гриб, В. М. Баженов та ін.]. – Харків : [ФОП Бровін О. В.], 2020. – 126 с.
14. Подейко П. П. Системи автоматичного керування електротермічними установками на основі нейро-нечіткої логіки в умовах неповної визначеності технологічних характеристик : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.09.03 "Електротехнічні комплекси та системи" / Подейко Павло Петрович ; НАН України, Ін-т електродинаміки. – Київ, 2019. – 20 с
15. Марченко Н. Б. Методологія прогнозування залишкового ресурсу технічних систем / Н. Б. Марченко, Л. М. Щербак // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК–2018) : одинадцята міжнар. наук.–практ. конф., 22–23 травня 2018 р., Київ, Україна : збірка тез / Національний авіац. ун–т, Нац. ун–т водного госп–ва та природокористування, Wrocław University of Science and Technology, Інженерна акад. України. – Київ : [НАУ], 2018. – С. 138–140.
16. Крупник О. О. Автоматизація процесу керування виробленням холодного дуття в доменному виробництві : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.07 "Автоматизація процесів керування" / Крупник Олександр Олександрович ; МОН України, ДВНЗ "Нац. гірничий ун-т". - Дніпро, 2016. - 20 с.

17. Климченко О. П. Контроль і управління технологічними процесами : навч. посіб. / О. П. Климченко, І. Г. Каюн, А. Р. Шейкус ; ДВНЗ "Укр. держ. хіміко-технологічний ун-т". – Дніпро : [ДВНЗ УДХТУ], 2019. – 180 с

18. Жученко О. А. Математичне моделювання та оптимальне керування енергоємними технологічними процесами вуглеграфітового виробництва : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня д-ра техн. наук : [спец.] 05.13.07 "Автоматизація процесів керування" / Жученко Олексій Анатолійович ; МОН України, Східноукраїнський нац. ун-т імені В. Даля. – Северодонецьк, 2019. – 44 с

19. Електронні засоби автоматизації виробництва : навч. посібник / [кол. авт.: С. К. Мещанінов, Б. П. Довголюк, В. В. Багрій та ін.] ; Дніпровський держ. техн. ун-т. – Кам'янське : ДДТУ, 2020. – 341 с.

20. Дзінько Р. І. Підвищення надійності системи оперативного управління гнучких виробничих систем : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук : [спец.] 05.13.07 "Автоматизація процесів керування" / Дзінько Ростислав Ігорович ; МОН України, Нац. техн. ун-т України "КПІ імені І. Сікорського". - Київ, 2017. - 20 с.

21. Гайдамак О. Л. Автоматичне керування та автоматизація процесів зварювання і відновлення : лабораторний практикум / О. Л. Гайдамак ; Вінницький нац. техн. ун-т. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 50 с.

22. Вдовиченко А. Підвищення точності вимірювання активної потужності шляхом додаткового вимірювання напруги на шунті / А. Вдовиченко, Ю. Туз // Метрологія та прилади. – 2018. – № 3. – С. 11–16.

23. Розробка системи автоматизації. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/16447766/page:4/>

24. Схема автоматизації функціональна. Електронний ресурс. Режим доступу: https://wiki.tntu.edu.ua/%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97_%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0

НУВІІ | УКРАЇНИ 77

25. PID-регулятор. Електронний ресурс. Режим доступу:
<https://alexgyver.ru/lessons/pid/>

Читання і виконання креслень та схем для професій енергетичного напрямку.

Електронний ресурс. Режим доступу: <https://naurok.com.ua/naochniy-posibnik-chitannya-i-vikonannya-kreslen-ta-shem-dlya-profesiy-energetichnogo-napryamku-10002>

Порядок приєднання до мережі електропостачання. Електронний ресурс.

Режим доступу: https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BE%D0%BA_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%94%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%B4%D0%BE_%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D1%96_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F

28. Контрольно-вимірювальні пристрої та засоби автоматизації АКУТЕК. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://aqteck.com.ua/>

29. Функціональна блок-схема потоку. Електронний ресурс. Режим доступу:

https://en.wikipedia.org/wiki/Functional_flow_block_diagram

30. Схеми автоматизації технологічних процесів. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.wikiwand.com/uk/%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B8_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%96%D0%B2

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України⁷⁹