

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеню вищої освіти – магістр
за освітньо-професійною програмою
«Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»

зі спеціальності

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

тема роботи:

***«Автоматизація процесу фасування молока на конвеєрній лінії з
розробкою підсистеми візуалізації»***

Виконав ст. гр. АКІТР – 23-1м _____ Надєїн Б.М.

Керівник _____ Харламенко В.Ю.

Нормоконтроль _____ Маринич І. А.

Завідувач кафедри _____ Рубан С. А.

Кривий Ріг – 2024

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Магістр

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 5 » липня 2024 р

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студентові групи АКІТР – 23-1м Надеїну Богдану Максимовичу

1. Тема роботи: «Автоматизація процесу фасування молока на конвеєрній лінії з розробкою підсистеми візуалізації»

затверджено наказом по університету № 595с від «4» серпня 2024 р.

2. Термін здачі завершеної роботи: 01.12.2024 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 8бс., додатки, презентація у Microsoft PowerPoint (11 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-3

к.т.н. Харламенко В.Ю.

Нормоконтроль

доц. Маринич І.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Вступ	10.07.24
2	1 Аналіз підходів до підвищення ефективності керування процесом	15.07.24
3	2 Ідентифікація математичної моделі та синтез керування процесом	18.08.24
4	3 Програмно-технічна реалізація системи керування процесом	19.09.24
5	Висновки	15.10.24
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	20.11.24
7	Підготовка презентації та графічного матеріалу	28.11.24
8	Підготовка доповіді до захисту	01.12.24

Дата видачі завдання: 28.06.2024р

Керівник _____ Харламенко В.Ю.

7. Запевнення: Я, Надєїн Богдан Максимович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Здобувач _____ / Надєїн Б.М./

АНОТАЦІЯ

Надєїн Б.М. «Автоматизація процесу фасування молока на конвеєрній лінії з розробкою підсистеми візуалізації».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеню вищої освіти магістр за освітньо- професійною програмою «Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті» зі спеціальності 174 — Автоматизація, комп'ютерно інтегровані технології та робототехніка- Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження є технологічний процес фасування рідких молочних продуктів на конвеєрній лінії та створення підсистеми візуалізації

У першому розділі було описано технологічного процесу фасування рідких продуктів, зокрема молока та молочних виробів, з акцентом на автоматизовані лінії розливу

У другому розділі була розроблено математична модель процесу фасування молока на конвеєрній лінії. Проведено аналіз характеристик моделі, включаючи оцінку її точності, вірогідності та адекватності. Розроблений алгоритм керування

У третьому розділі було реалізовано програмно-технічну складову системи автоматизованого управління процесом фасування молока за допомогою рушія візуалізації FACTORY IO, Node Red та TIA Portal.

Ключові слова:

КОНВЕЄРНА ЛІНІЯ, ФАСУВАННЯ, ДОЗУВАННЯ, ЧЕКВЕЄР, NODE RED, TIA PORTAL, FACTORY IO.

ANNOTATION

Nadiein B.M. "Automation of the Milk Packaging Process on a Conveyor Line with the Development of a Visualization Subsystem".

Qualification work for obtaining the Master's degree in the educational and professional program "Cyber-Physical Systems in Industry, Business, and Transport" in the specialty 174 — Automation, Computer-Integrated Technologies, and Robotics. Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024.

The object of the study is the technological process of packaging liquid dairy products on a conveyor line and the creation of a visualization subsystem.

The first chapter describes the technological process of packaging liquid products, particularly milk and dairy products, with a focus on automated filling lines.

The second chapter develops a mathematical model of the milk packaging process on a conveyor line. An analysis of the model's characteristics was conducted, including the evaluation of its accuracy, reliability, and adequacy. A control algorithm was developed.

The third chapter implements the software and hardware components of the automated milk packaging control system using the FACTORY IO visualization engine, Node-RED, and TIA Portal.

Keywords:

CONVEYOR LINE, PACKAGING, DOSING, CHECKWEIGHER, NODE-RED, TIA PORTAL, FACTORY IO.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЦЕСУ ФАСУВАННЯ МОЛОКА ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ	9
1.1 Коротка характеристика об'єкта та процесу.	9
1.2 Класифікація обладнання	11
1.3 Основні види тари і пакувальних матеріалів для молока і молочних продуктів	12
1.4 Обладнання для розливу молока і молочних продуктів у скляні пляшки	14
1.5 Обладнання для фасовки молока і молочних продуктів у картонну тару	19
1.6 Обладнання для фасовки молока і молочних продуктів у поліетиленові пакети	23
1.7 Контроль ваги	27
1.8 Конвеєри.....	29
1.9 Вибір платформи для симуляції процесу	30
1.10 Вибір інструменту для візуалізації даних	32
1.11 Аналіз існуючих рішень	33
<i>Висновки до розділу:</i>	39
РОЗДІЛ 2 ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ФАСУВАННЯ МОЛОКА	40
2.1 Ідентифікація об'єкта моделювання	40
2.2 Розробка блок-схеми логіки проекту	40
2.2 Розробка математичної моделі.....	43
2.3 Аналіз характеристик моделі	49
2.3.1 Точність моделі	49

	7
2.3.2 Вірогідність моделі	51
2.4 Синтез керування процесом	55
2.4.1 Визначення критерію оптимальності	55
2.4.2 Розробка алгоритму керування	55
2.4.3 Аналіз якості керування	57
<i>Висновки до розділу:</i>	59
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ФАСУВАННЯ МОЛОКА НА ПРОДУКТИВНІЙ ЛІНІЇ	61
3.1 Вибір програмованого логічного контролера(PLC)	61
3.3 Розробка моделі продуктивної лінії у Factory IO	63
3.4 Розробка проекту програмного забезпечення	67
3.5 Створення web інтерфейсу для керування системою	75
<i>Висновки до розділу</i>	79
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	82

ВСТУП

У сучасному виробництві харчових продуктів, зокрема молочної продукції, автоматизація процесів стає ключовим елементом для досягнення ефективності, якості та безпеки. Одним із важливих етапів виробництва є кінцевий процес – фасування та пакування молока. Цей етап вимагає не лише швидкості, але й точності, особливо у контролі ваги продукту.

У цій кваліфікаційній роботі розглядається автоматизацію процесу фасування молока на конвеєрній лінії з контролем ваги, а також візуалізацію цього процесу у середовищі Factory IO та розробку інтерфейсу для візуалізації інформації у node-red.

Задачі дослідження включають аналіз сучасних методів та технологій автоматизованого фасування молока, вивчення можливостей використання програмного забезпечення Factory IO для візуалізації та симуляції процесу, а також розробку ефективного інтерфейсу для візуалізації інформації за допомогою node-red.

Проблеми, що виникають, включають забезпечення стабільності ваги фасованого продукту, зниження втрат та підвищення продуктивності, а також розробку зручного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу для візуалізації даних.

Вирішення цих задач та проблем відіграє важливу роль у підвищенні ефективності та якості виробництва молочної продукції, а також сприяє забезпеченню безпеки та ефективного управління виробничими процесами. У даній роботі будуть розглянуті різні аспекти автоматизації процесу фасування молока та запропоновані практичні рішення для оптимізації цього процесу через використання інноваційних програмних засобів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЦЕСУ ФАСУВАННЯ МОЛОКА ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Коротка характеристика об'єкта та процесу.

Розглянемо процес автоматизованого фасування рідких продуктів який називається «лінія розливу» [1]

Лінія розливу – це комплекс обладнання, який включає в себе 3 головних технологічних ділянок:[2]

- ділянка наповнення
- ділянка автоматичної подачі кришок
- ділянка закупорки

Також можливе включення ділянок для герметизації готової продукції та перевірки якості. Високотехнологічні лінії розливу можуть мати кілька десятків технологічних процесів. Ми розглянемо основні з них, які присутні в лініях неповного циклу розливу для автоматизованого виробництва та пакування готової продукції. Розглянемо кожен технологічну процедуру більш детально.

Ділянка розливу:

Це одна з найважливіших технологічних ділянок лінії розливу. Продуктивність всієї лінії залежить від неї. Крім того, швидкість розливу є основою для вибору наступних технологічних установок.[3]

Трьома основними характеристиками цього процесу є швидкість видачі продукту, точність наповнення та діапазон дозування. Продуктивність у цьому конкретному випадку можна визначити за допомогою середньогодинної кількості високоякісної продукції, виробленої на обладнанні лінії під час експлуатації.

Тара повинна бути розташована на транспортерній стрічці перед тим, як потрапити в зону розливу. Це відбувається на місці подачі контейнерів. У складних і повністю автоматизованих системах подача порожньої тари відбувається

автоматично, без участі оператора. Якщо немає повної автоматизації, оператор лінії розливу виконує процес установки порожньої тари. Тара транспортується на місце розливу. Система стеження дає сигнали вчасно, що спричиняє створення необхідних механізмів і зупинення тари. Після того, як упаковка буде заповнена продуктами, можна буде продовжувати рух тари.

Ділянка подачі кришки

Після заповнення тари продуктом її потрібно закрити. Перед закручуванням каністри або флакона кришку потрібно прикріпити до шийки тари. Норія подає кришки з накопичувального бункера. На перший погляд простий процес, подача кришки повинна бути тією частиною процесу, яка дозволить з легкістю завершити наступну технологічну операцію — закриття.

Усі можливі конструктивні рішення застосовуються для орієнтації кришки та подачі її необхідної сторони. Вібраційні чаші використовуються для орієнтації гумових та алюмінієвих ковпачків невеликого розміру, пластинчасті транспортери зі спеціальними накладками використовуються для орієнтації пластикових кришок, а також тунелі, які дозволяють перевертати кришку під час руху по технологічному шляху.

Процес закупорювання

Для завершення процесу закупорювання необхідно лише закрутити кришку, яка вже знаходиться на горловині пляшки. Для вирішення даного технологічного процесу використовується різне обладнання: закупорювальні головки, закаточні головки, лінійні закупорювальні машини.

Контроль якості

На кожній з вище згаданих ділянок може проводитися контроль якості продукції, що випускається. Так, наприклад, на ділянці розливу важлива точність дозування продукції, тому при необхідності можна перевірити кількість продукту в кожній пляшці. Якщо отримані результати не відповідають вимогам, тара буде відбракована.

1.2 Класифікація обладнання

Пакувальне обладнання для молочних продуктів зазвичай є важливою складовою виробничих ліній, призначених для виготовлення певних продуктів. Незважаючи на різноманітність конструкцій та функцій, ці машини мають багато спільних конструктивних характеристик і принципів роботи. [4]

Основними частинами пакувальних машин є

- привід; - розподільна система, яка забезпечує одночасну роботу різних виконавчих вузлів – система транспортування товарів, тари, етикеток, кришок тощо – приводи для формування, пакування та наповнення коробок, кришок і пакетів – системи захисту та блокування, які активуються, коли виникають проблеми або перебої в процесі.

Необхідно, щоб всі виконавчі механізми працювали синхронно для належного функціонування машини в певному режимі.

Молочні продукти можна класифікувати на кілька основних груп залежно від атрибутів розливного обладнання. Це обладнання можна поділити на машини для розливу, запаковки та фасовки рідких, сипучих, твердих та наливних молочних продуктів.

Крім того, обладнання в цих групах класифікується за типом дозуючого пристрою, загальною конструкцією машини, матеріалом пакування тощо. Машини для розливу та закупорювання молока та інших молочних продуктів у рідкому вигляді є основними категоріями цього обладнання. За їх допомогою молочні продукти розливаються у пляшки різної місткості та закупорюються алюмінієвими ковпачками. Також вони можуть пакувати молоко та інші рідкі продукти в картонну тару або пакети з полімерних матеріалів.

Пакувальне обладнання для молочних продуктів можна поділити на категорії залежно від компоновки та принципу роботи машин. Вони можуть бути з безперервним або циклічним (періодичним) принципом роботи, а також лінійними чи карусельними, в залежності від розташування основних механізмів.

Обладнання для розливу може обробляти як готові контейнери, так і виробляти їх під час роботи. Для фасування згущеного молока в жерстяні банки використовуються спеціалізовані машини, такі як дозувальне, фасувальне та закупорювальне обладнання. Вибір типу контейнерів та матеріалів для пакування відіграє важливу роль у класифікації обладнання для пакування твердих та сипучих молочних продуктів.

Обладнання для розливу та закупорювання молочних продуктів поділяється на дві основні категорії: машини для закупорювання та розливні машини. Вони використовуються для фасування молока та інших рідких молочних продуктів.

Машини для розливу та закупорювання забезпечують наповнення пляшок різного об'єму та герметизацію за допомогою алюмінієвих ковпачків. Крім того, таке обладнання дозволяє пакувати молоко в картонну тару або полімерні пакети.

Пакувальні машини для молочних продуктів класифікуються за конструкцією та принципом роботи. Вони можуть функціонувати на основі безперервного або циклічного (періодичного) принципу, а за формою — бути лінійними чи карусельними, залежно від розташування механізмів.

Деякі розливні машини здатні обробляти як готові контейнери, так і виготовляти їх у процесі роботи. Для фасування згущеного молока в жерстяні банки застосовується спеціалізоване обладнання: дозувальні, фасувальні та закупорювальні машини. Тип упаковки чи матеріалів, що використовуються, має значний вплив на класифікацію обладнання для фасування твердих і сипучих молочних продуктів.

1.3 Основні види тари і пакувальних матеріалів для молока і молочних продуктів

На молокопереробних підприємствах молоко фасують у фляги та дрібну тару об'ємом 1, 0,5 і 0,25 літра для реалізації через роздрібну торгівлю. Дрібну тару також широко застосовують для пакування вершків, сметани та рідких кисломолочних продуктів, таких як кефір і ряжанка. [5]

До дрібної тари для рідких молочних продуктів належать:

- Тверда тара: скляні пляшки та жерстяні банки.
- Напівжорстка тара: банки, стаканчики та осередки з комбінованих чи полімерних матеріалів.
- М'яка тара: пакети з фольги, картону або полімерів (одно- або багат шарових).
- Скляна тара має свої недоліки:
- Потребує обладнання для миття поверненої тари та значних площ для її зберігання.
- Легка до розбиття, що спричиняє фінансові втрати.
- Додаткові витрати на збирання та транспортування використаних пляшок.
- Низький коефіцієнт наповнення в порівнянні з картонною тарою.
- Неудобства для покупців через необхідність повернення порожньої тари.

Втім, фасування молока у скляні пляшки обходиться на 10–15% дешевше, ніж у картонну тару.

Картонна тара, виготовлена з тонкого крафт-паперу, зовні покривається парафіном, а всередині — поліетиленовою плівкою, що запобігає проникненню вологи як ззовні, так і зсередини. Поліетиленовий шар також використовується для термічного скріплення під час виробництва тари.

Ламінат із шарів поліетилену, алюмінієвої фольги та картону є ефективнішим пакувальним матеріалом. Його застосовують переважно для асептичного пакування молочних продуктів, які можуть зберігатися кілька місяців при кімнатній температурі. Висока вартість ламінату робить його придатним лише для тривалого зберігання.

Однією з переваг картонної тари є можливість її виготовлення безпосередньо під час процесу розливу і пакування. Це дозволяє значно заощадити складський простір, оскільки зберігаються лише рулони пакувального матеріалу, а не готові контейнери. Крім того, наповнення таких контейнерів відбувається швидко, а потреба в їх поверненні та очищенні повністю відсутня.

Для пакування молока також використовуються плівки з поліетилену, поліпропілену та полівінілхлориду. Такий контейнер має форму мішечка із запаяними краями. Його основними перевагами є відсутність потреби у використанні картону, що виготовляється з деревини, а також простота виробництва та герметизації. Ця упаковка є однією з найдоступніших за вартістю для споживача. Однак мішечок необхідно повністю спорожнити після відкриття, що може викликати певні незручності.

1.4 Обладнання для розливу молока і молочних продуктів у скляні пляшки

Карусельні розливні машини призначені для фасування молока та кисломолочних продуктів у пляшки зі скла, які згодом герметизуються ковпачками із алюмінія. [6]

Такі машини (рис. 1.1) складаються з кількох основних вузлів: пластинчастого конвеєра, розливної каруселі, закаточної каруселі, механізму для виготовлення алюмінієвих ковпачків і столу.

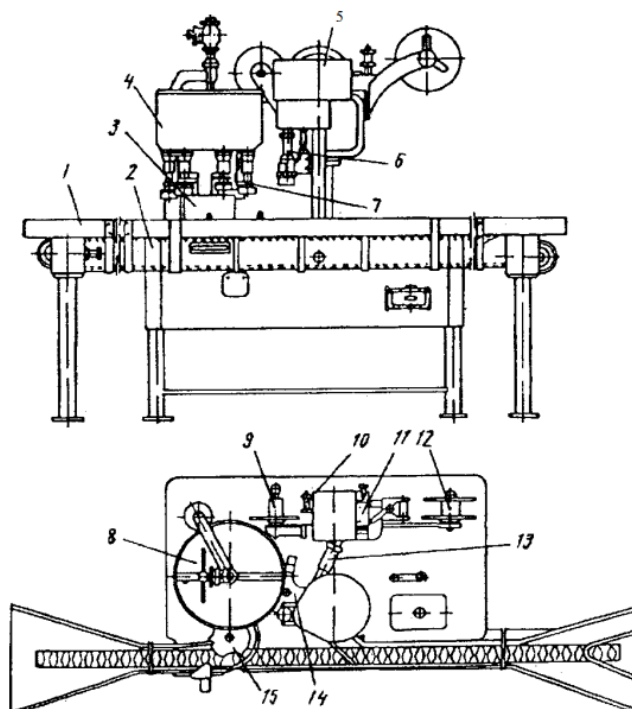


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд фасувально-закатувальної машини:

На рис. 1.1 наведені такі позначення: 1 – стіл; 2 – транспортер; 3 – транспортний стіл; 4 – карусель для розливу; 5 – карусель для закатування; 6 – закатувальний патрон; 7 – розливний патрон; 8 – бак; 9 – котушка з алюмінієвою фольгою; 10 – ролики; 11 – прес; 12 – котушка для відходів фольги; 13 – капсула-провід; 14 – зірочка, що відводить; 15 – зірочка, що подає.

Розливна карусель включає обертовий транспортний стіл та бак із розливними патронами, кількість яких залежить від моделі та продуктивності машини. Ці патрони дозують молоко і заповнюють ним пляшки. Залежно від конструкції фасувально-закаточної машини, розливні патрони можуть оснащуватися одним із двох видів дозуючих пристроїв:

Дозування за об'ємом

Принцип роботи дозуючого пристрою цього типу ілюстровано на рис. 1.2. Молоко надходить із резервуара зберігання до бака розливної каруселі, де рівень продукту підтримується постійним за допомогою поплавкового пристрою. У відсутності пляшки під дозатором мірна склянка, розташована у верхній частині пристрою, опущена нижче рівня молока в баці та заповнюється продуктом. Герметизуюча перегородка перешкоджає витіканню молока з патрона. [7]

Коли транспортний стіл обертається, порожня пляшка з конвеєра підводиться зірочкою під черговий розливний патрон. Ролик плунжера, рухаючись по похилій частині копіра, починає підніматися, а разом із ним підіймається пляшка. Її горловина притискається до ущільнювального грибка, одночасно піднімаючи трубку дозуючого пристрою з мірною склянкою. У цей момент отвори трубки відкриваються, і молоко з мірної склянки через ці отвори заповнює пляшку.

Під час підйому дозуючої трубки мірна склянка опиняється вище рівня молока в баці, тому її повторне наповнення не відбувається. Повітря з пляшки під час її наповнення виходить через спеціальні канавки в ущільнювальному грибку. Довжина горизонтальної ділянки копіра розрахована так, щоб пляшка опускалася лише після повного спорожнення мірної склянки.

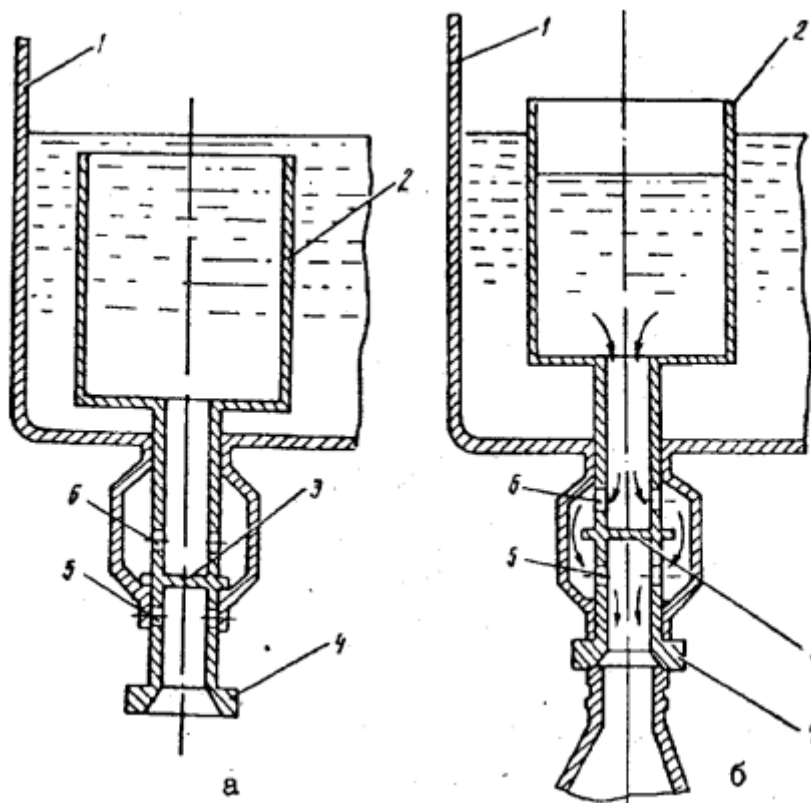


Рисунок 1.2 – Схема роботи розливочного патрона з дозуванням по обсязі

На рис 1.2 наведені такі позначення: 1 - бак розливочної каруселі; 2 - мірна склянка; 3 - перегородка, що ущільнює; 4 - ущільнювальний грибок; 5 - нижні отвори трубки; б - верхні отвори трубки. а - дозуючий пристрій закритий б - пристрій, що дотує, відкрито.

Після завершення процесу заповнення пляшка опускається, а дозуючий пристрій повертається у вихідне положення.

Основна перевага цього типу дозуючого пристрою полягає в тому, що обсяг дози не залежить від можливих відхилень у формі чи місткості пляшки.

Дозування за рівнем

Схема роботи розливного патрона з дозуючим пристроєм цього типу зображена на рис. 1.3

Розливні патрони розташовані на днищі герметичного обертового бака, з якого повітря відсмоктується за допомогою експаустера. Кожен патрон складається

з молочної трубки, у центрі якої знаходиться повітряна трубка з віночком. Нижня частина трубок закрита гумовим клапаном, який запобігає витіканню молока.

У робочому положенні молочна трубка завжди знаходиться нижче рівня молока в баці, а повітряна — вище. Кільцевий простір між трубками заповнений молоком, але гумовий клапан перешкоджає його витіканню. [8]

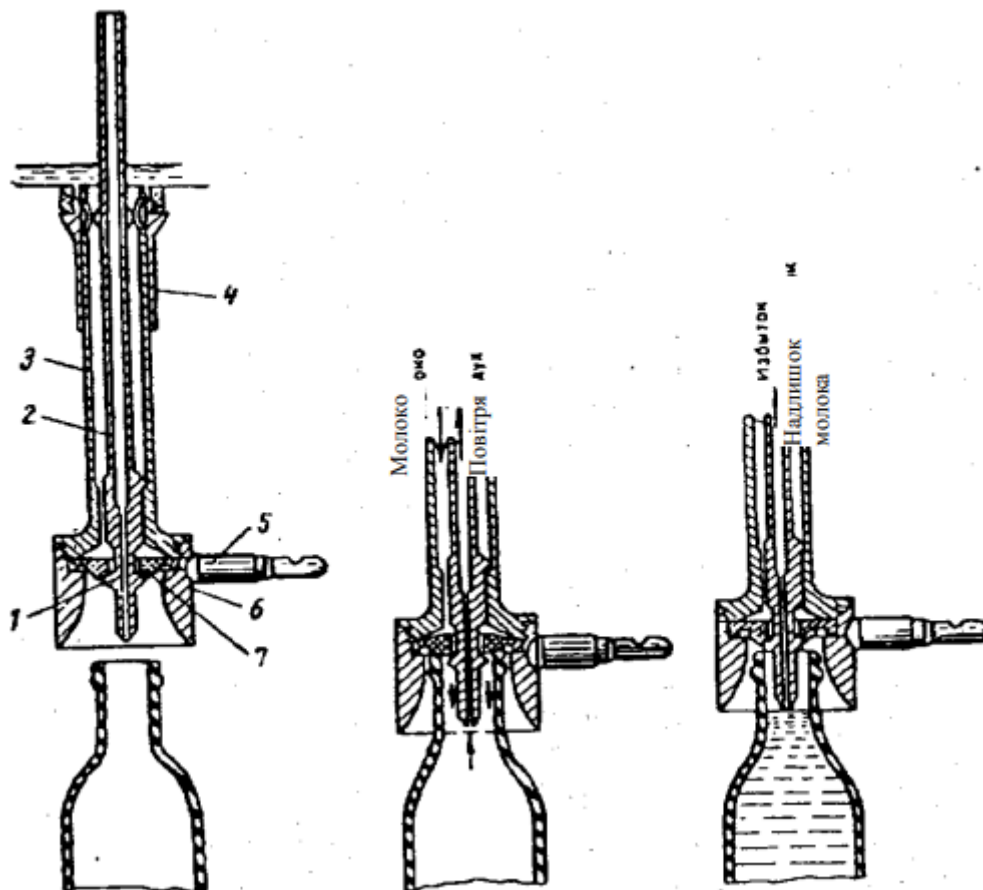


Рисунок. 1.3 – Схема роботи розливного патрона з дозуванням за рівнем:

На рис.1.3 наведені такі позначення: а – дозувальний пристрій закритий; б – дозувальний пристрій відкритий; в – відсмоктування надлишків молока.: 1 – віночок; 2 – повітряна трубка; 3 – молочна трубка; 4 – направляюча втулка; 5 – хвостовик; 6 – центруюча лійка; 7 – гумовий клапан.

Коли пляшка підводиться під патрон, ролик хвостовика опускає патрон на горлечко пляшки, ущільнюючи її гумовим клапаном. Завдяки створеному екстаустером розрідженню з пляшки видаляється повітря, після чого клапан під дією горлечка піднімається, відкриваючи доступ молока до пляшки.

Коли пляшка наповнюється, копір піднімає патрон на 3–5 мм, клапан опускається на віночок повітряної трубки, і подача молока припиняється. У зазор між клапаном і горлечком починає надходити повітря, а через повітряну трубку зайве молоко відсмоктується назад у бак. Це забезпечує однаковий рівень молока в усіх пляшках.

На наступному етапі обертання столу патрон підіймається ще вище, звільняючи пляшку, яка переміщується до механізму закупорювання алюмінієвими ковпачками.

Наповнені пляшки передаються під закаточний патрон за допомогою відвідної зірочки. У цей момент блокувальний механізм активує прес, що штампує один алюмінієвий ковпачок.

Механізм виготовлення ковпачків складається з пристрою для протягання алюмінієвої стрічки та преса. Стрічкопротягувальний вузол включає дві котушки з фольгою та натяжні ролики. Прес, що складається з нерухомої матриці та рухомого пуансона, вирубує ковпачки, одночасно видавлюючи на них опуклі елементи етикетки.

Точність дозування за рівнем залежить від геометричних розмірів пляшок. Завдяки цьому методу забезпечується рівномірний рівень молока в кожній пляшці, незалежно від їх незначних об'ємних відхилень.

Прес, що приводиться в дію штоком пневмоциліндра, створює повітряний струмінь, який спрямовує ковпачок у капсулопровід. По ньому ковпачок потрапляє на горлечко пляшки, накриваючи його під час руху. Далі пляшка переміщується під карусель із закаточними головками, на кінцях яких знаходяться обтискні патрони. Кількість таких патронів залежить від моделі та продуктивності машини і зазвичай є меншою, ніж кількість розливних патронів. Наприклад, у фасувально-закаточній машині БЗ-ОР2-У-6 передбачено 24 розливні патрони та 8 закаточних.

Закупорювання здійснюється за допомогою гумової втулки, яка щільно обжимає буртик алюмінієвого ковпачка в канавці на горловині пляшки. Готова закатуна пляшка транспортується до автомата для укладання в ящики.

Фасувально-закаточні автомати зазвичай інтегровані в автоматизовані лінії розливу та пакування молока. До складу таких ліній входять:

- автомат для вилучення порожніх пляшок із транспортної тари (дротяних кошиків або полімерних ящиків);
- машина для миття пляшок;
- пристрій контролю чистоти та цілісності пляшок;
- автомат для укладання пляшок із молоком у кошики;
- транспортери для переміщення пляшок уздовж лінії;
- транспортери для порожніх кошиків;
- машина для миття кошиків або ящиків.

Для невеликих молокозаводів доцільно застосовувати напівавтоматичні фасувально-закаточні машини. Вони мають невелику продуктивність (500–1000 пляшок на годину) і є економічно вигідним рішенням завдяки порівняно низькій вартості. Як і автоматичні машини, ці моделі оснащені механізмами для регулювання висоти розливної та закаточної каруселей, що дозволяє швидко переходити між різними об'ємами пляшок (наприклад, з 0,5 л на 1 л).

1.5 Обладнання для фасовки молока і молочних продуктів у картонну тару

Автомати для фасування молока та молочних продуктів у картонну тару поділяються на дві категорії. [9]

Перша група: тара у вигляді тетраедра або паралелепіпеда формується безпосередньо в автоматі шляхом термозварювання матеріалу, що постачається у вигляді рулону.

Друга група: пакування відбувається у прямокутні коробки, які формуються в машині зі спеціальних висічок. Такі висічки виготовляються зі спеціального картону, покритого поліетиленом з обох сторін.

Автомат для виготовлення пакетів об'ємом 0,5 і 0,25 дм³ у формі тетраедра включає основні вузли:

- рулонотримач зі столиком для зварювання кінців рулону;
- пристрій для створення паперової труби та наповнювальну систему;
- механізми формування та різання пакетів;
- підйомний ковшовий транспортер і пристрій для укладання пакетів у кошики.

Також автомат оснащений регулятором рівня, стабілізатором притиску, друкувальним пристроєм і шафою керування.

Рулонотримач: складається з осі, де рулон закріплюється за допомогою конусів і гайки.

Пристрій формування паперової труби: містить напрямні для згортання країв паперу, формуючі кільця і притискний ролик. Для стерилізації внутрішньої сторони пакету використовується бактерицидна лампа.

Наповнювальна система: включає трубу, під'єднану до молокопроводу через триходовий кран, і регулятор рівня. Клапан у нижній частині системи забезпечує сталість рівня молока та перекриває його подачу при зупинці автомата.

Механізм формування пакетів: складається з транспортерів із затискачами та нагрівачами, які зварюють поперечні шви.

Пристрій для різання: представлений хрестовинами з ножами та пружними підкладками для розрізання пакетів.

Підйомний ковшовий транспортер: переміщує пакети до механізму розподілу, виконаного у вигляді жолоба зі штовхачами.

Штовхач подає пакети до жолоба, а потім через відкриті заслінки пакети потрапляють у кошики. Для щільного укладання другий ряд пакетів подається безпосередньо з ковшів.

Пакети укладаються в спеціальні шестигранні кошики трьома рядами, по шість пакетів у кожному ряду. Кошики розташовані під механізмом розподілу, який формує ряди таким чином: у перший кошик кладеться перший ряд, у другий – другий, а в третій – третій.

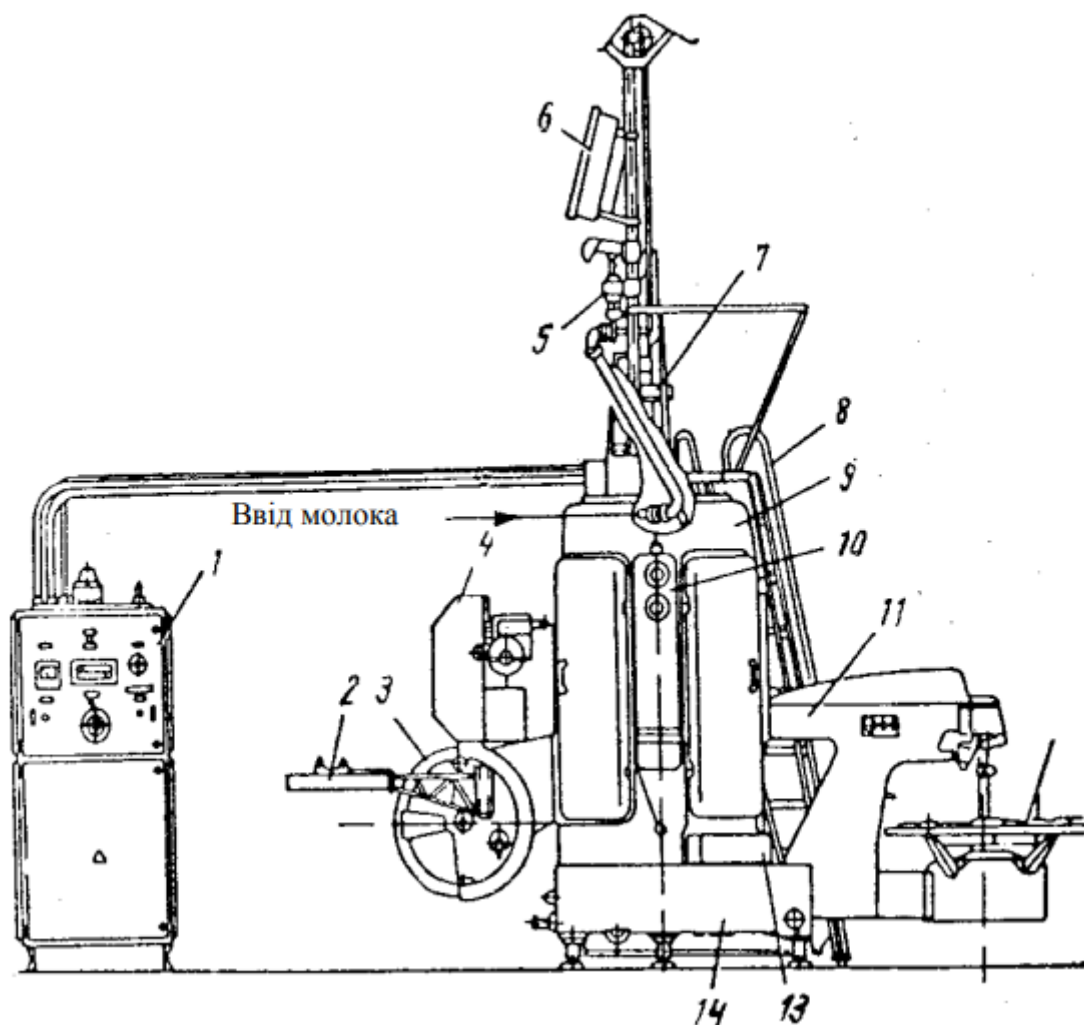


Рисунок. – 1.4 Загальний вигляд автомата для розливу молока в картонні пакети:

На рис.1.4 наведені такі позначення: 1 – шафа керування; 2 – зварювальний стіл; 3 – тримач рулону; 4 – друкувальний пристрій; 5 – регулятор рівня; 6 – бактерицидна лампа; 7 – пристрій для формування труби та подачі молока; 8 – сходи; 9 – механізм формування пакета; 10 – стабілізатор притискання; 11 – укладальник пакетів у кошики; 12 – поворотний стіл для кошиків; 13 – клемна коробка; 14 – привід автомата.

Після укладання одного пакета в кожен кошик, вони повертаються дисками на 60° . За повний оберт дисків у кошики укладається шість пакетів. Далі поворотний стіл обертається на 90° , і цей процес повторюється. Після трьох обертів

поворотного столу в кожному кошику формується три ряди пакетів. На четвертій позиції наповнений кошик замінюється на порожній.

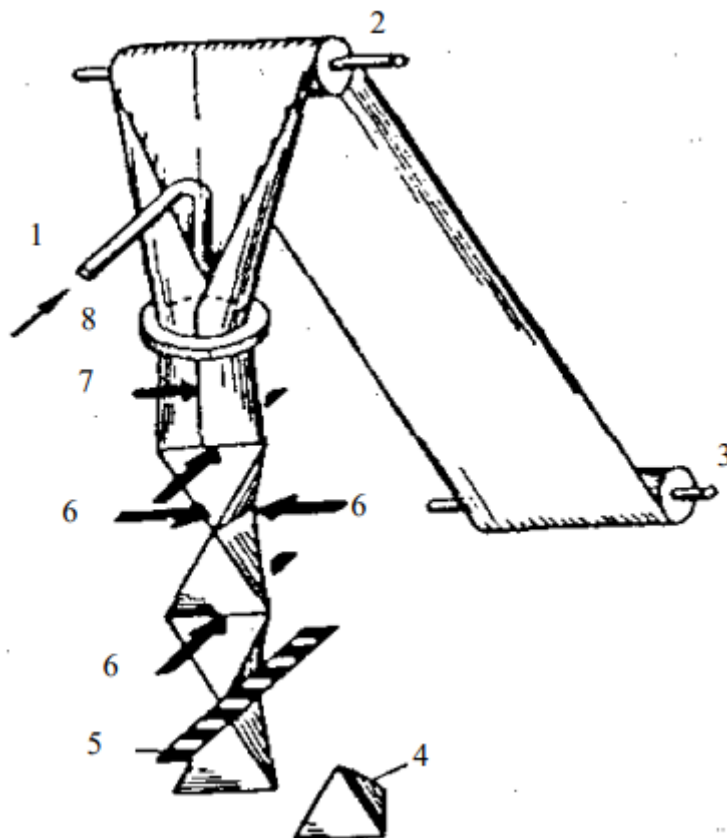


Рисунок. – 1.5 Схема формування пакетів із молоком:

На рис. 1.5 наведені такі позначення: 1 – трубопровід подачі молока; 2 – верхній напрямний ролик; 3 – рулон пакувального паперу; 4 – пакет із молоком; 5 – пристрій для різання; 6 – пристрій для зварювання поперечних швів; 7 – пристрій для зварювання подовжнього шва; 8 – пристрій для формування труби з пакувального матеріалу.

Пакувальний папір з рулону подається через ролик у формоутворювач, де згинається в незамкнену паперову трубу.

У формоутворювачі нагрівач і притискний ролик створюють подовжній зварений шов на трубці.

Під час подальшого протягування труба стискається затисками у двох протилежних точках, утворюючи поперечний шов.

У цей момент у трубу подається молоко, рівень якого підтримується на висоті 80-120 мм над другою парою затисків.

Обсяг пакета визначається відстанню між сусідніми парами затисків. Після зварювання труба розрізається пристроєм для різання на окремі пакети, які потім подаються на ловитель і далі – до механізму укладання в кошики.

Точність дозування в автоматах цього типу становить $\pm 2.8\%$.

1.6 Обладнання для фасовки молока і молочних продуктів у поліетиленові пакети

Автомати для фасування харчових продуктів у пакети з полімерних або комбінованих матеріалів класифікуються за такими ознаками: [10]

За способом подачі пакувального матеріалу: вертикальні (з одного чи двох рулонів) та горизонтальні.

За кількістю пакетів, що виготовляються одночасно: одинарні, подвійні, потрійні або для багаточашкового пакування.

За способом дозування: масове або об'ємне; за типом дозувального пристрою – поршневий, шнековий, тарілчастий чи з вібрлотком.

За способом зварювання: термоімпульсне, термоконтактне, ультразвукове або високочастотне.

Головною характеристикою фасувально-пакувальних автоматів є їх продуктивність, яка залежить від типу і маси продукту, розмірів та об'єму пакування, а також типу та способу зварювання плівки. Відповідно до цього, автомати поділяються на:

- Малопродуктивні – до 180 упаковок/год.
- Середньої продуктивності – до 2400 упаковок/год.
- Високопродуктивні – понад 2400 упаковок/год.

На сьогоднішній день на молокозаводах України найбільш поширеними є фасувально-пакувальні автомати М6-ОРЗ та їх модифікації, а також обладнання італійської компанії "АКМА".

На рис. 1.6 показаний автомат для розливу молока М6-ОРЗ-Е. Він включає розливно-формувальний блок із механізмами зварювання пакетів і пристроєм для їх укладання у транспортні шухляди. Його робочі органи, за винятком транспортера для подачі та відводу шухляд, оснащені пневмоприводом. Роботою пневмоприводу керує командоапарат.

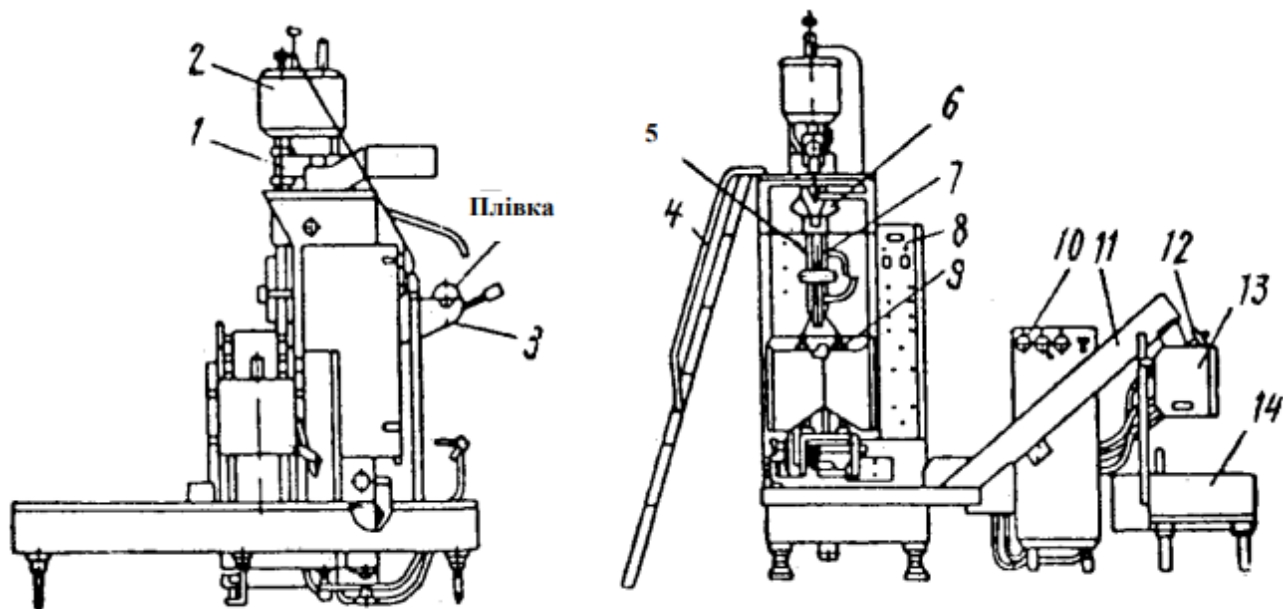


Рис. – 1.6 Загальний вигляд молокорозливного автомата М6-ОРЗ-Є

На рис. 1.6 наведені такі позначення: 1 – поршневий дозатор; 2 – молочний бак; 3 – тримач рулону; 4 – сходи; 5 – формувальна трубка; 6 – рукавоутворювач; 7 – механізм зварювання поздовжнього шва; 8, 10 – шафа електрообладнання; 9 – механізм зварювання поперечного шва; 11 – транспортер пакунків; 12 – фотоелемент; 13 – бункер; 14 – транспортер ящиків із пакетами.

Конвеєр обладнаний електромеханічним приводом.

Формувально-розливальний вузол [11] включає рулонотримач із рулоном плівки, механізм вирівнювання та натягу плівкової стрічки, пристрій для друку, рукавоутворювач, механізм поздовжнього зварювання, поршневий дозатор із дозувальною трубкою, механізм поперечного зварювання й обрізки пакета. Стерилізація поверхні плівки здійснюється за допомогою бактерицидної лампи.

Автомат виконує такі операції: розмотує плівку з рулону, наносить на неї дату і код молокозаводу, здійснює бактерицидну обробку, формує рукав, виконує поздовжнє та поперечне зварювання, наповнює пакети молоком, видаляє з них повітря, герметизує другий поперечний шов, одночасно обрізає пакет і транспортує його на конвеєр. Далі конвеєр через бункер подає пакети в ящик.

При поздовжньому зварюванні опорою виступає формувальна труба, до якої плівка притискається зварювальною голівкою з нагрівальним елементом. У нижній частині труби встановлені пружні розпірки, які забезпечують рукаву форму, зручну для поперечного зварювання, та запобігають утворенню складок на поперечному шві.

До верхньої частини формувальної труби приєднано трубку вакуумного пристрою, через яку повітря відсмоктується як із формувальної труби, так і з пакета.

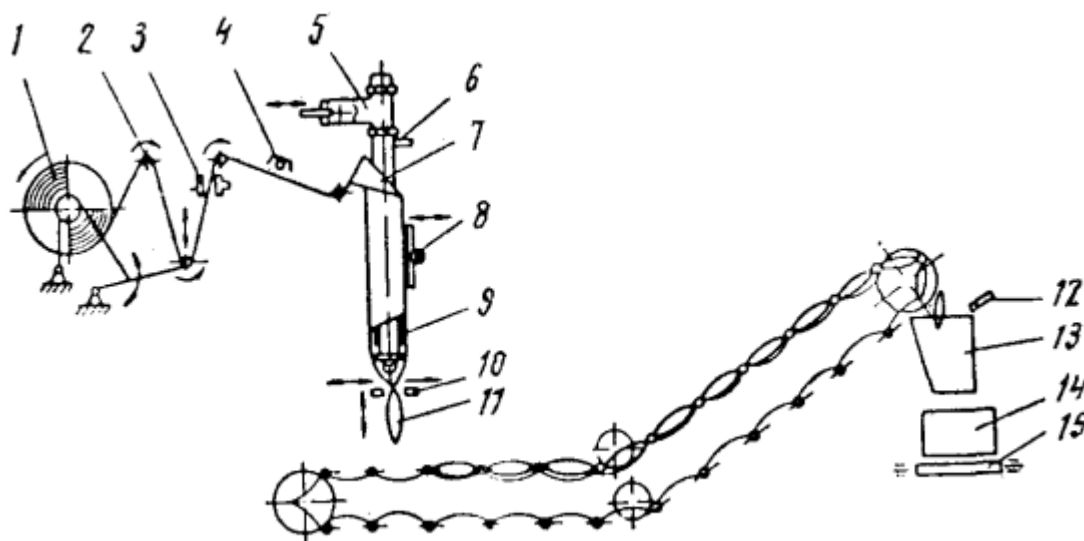


Рисунок.1.7 – Технологічна схема автомата М6-ОРЗ-Є

На рис. 1.7 наведені такі позначення: 1 – рулон поліетиленової плівки; 2 – напрямні валики; 3 – друкувальний механізм; 4 – бактерицидна лампа; 5 – поршневий дозатор; 6 – трубка для відсмоктування повітря; 7 – рукавоутворювач; 8 – механізм поздовжнього зварювання; 9 – дозувальна трубка; 10 – механізм поперечного зварювання та відрізання пакета; 11 – готовий пакет; 12 –

фотоелемент; 13 – бункер; 14 – ящик для пакетів; 15 – транспортер для відведення ящиків із пакетами.

Дозування молока в автоматі здійснюється за допомогою поршневого дозатора, оснащеного усмоктувальним і нагнітальним клапанами. Порції молока через дозувальну трубку надходять безпосередньо в пакет, при цьому дозувальна трубка розташована всередині формувальної труби.

Механізм зварювання поперечного шва складається з двох губок – зварювальної та притискної. Їхній стиск забезпечується пневмоциліндром. До зварювальної губки прикріплений електронагрівальний елемент, а до притискної – гумова прокладка. Для охолодження під час роботи до обох губок подається вода. Цей механізм не лише зварює поперечний шов, але й протягує поліетиленовий рукав на довжину, що відповідає одному пакету.

Привід транспортера для пакетів виконується за допомогою пневматичного храпового механізму, а транспортер для ящиків із готовою продукцією приводиться в дію електродвигуном через редуктор.

Фірма "АКМА", один із провідних виробників фасувально-пакувального обладнання у світі, пропонує автомати з продуктивністю від 50 до 400 пакетів на хвилину для пакування різноманітної продукції. Схема роботи автоматів, призначених для фасування рідких, пастоподібних та сипучих продуктів, наведена на рис. 1.8.

Принцип роботи автомата такий: пакувальний матеріал із рулону перегинається навпіл за допомогою шаблону та зварюється внизу, формуючи нижню крайку пакета. Поперечні шви утворюються за допомогою термозварювальних щік, після чого полотно розрізається на окремі пакети. Ці пакети подаються в ротаційний вузол із тримачами, де вони розкриваються, наповнюються продуктом і герметично зварюються горизонтальними термозварювальними колодками. Готовий продукт транспортером виводиться за межі автомата.

Залежно від типу фасованого продукту, автомати компанії комплектуються різними дозаторами: поршневыми, гвинтовими або іншими типами, що відповідають конкретним вимогам.

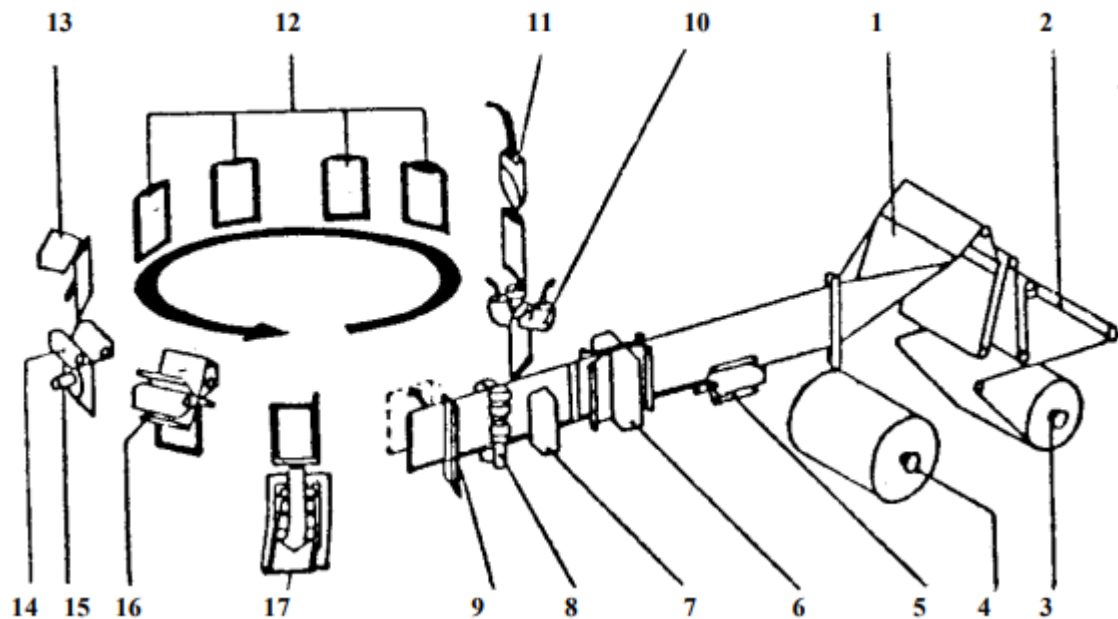


Рисунок. – 1.8 Технологічна схема фасувально-пакувального автомата
АКМА 772

На рис. 1.8 наведені такі позначення: 1 – формувальний шаблон; 2 – натяжний пристрій; 3 – основний рулон плівки; 4 – запасний рулон плівки; 5 – механізм поздовжнього зварювання; 6 – механізм поперечного зварювання; 7 – фотоелемент; 8 – протяжні валки; 9 – ріжучий пристрій; 10 – пристрій для пневматичного розкриття пакетів; 11 – датчик відкритих пакетів; 12 – дозатор; 13 – датчик наявності продукту; 14 – механізм закриття пакетів; 15 – пристрій для видалення повітря з пакетів; 16 – механізм зварювання верхньої частини пакетів; 17 – пристрій для відведення готової продукції.

1.7 Контроль ваги

Чеквеер – це система динамічного зважування та сортування продукції за вагою, яка є невід’ємною частиною програми контролю якості на підприємстві [16].

Система динамічного зважування (чеквеєр) дозволяє зважувати окремі одиниці продукції безпосередньо на виробничій лінії. Вона забезпечує можливість суцільного контролю, збираючи дані про кількість продукції, відстеження партій, загальну вагу, а також вагу придатних і відбракованих одиниць.

якості для підприємства.

Динамічного зважування чеквеєр зважує
одиниці продукції на виробничій лінії та
збирає дані суцільного контролю
: рахунок кількості одиниць продукції,
інія партій, сумарну вагу та окремо вагу
ж та відбракованих одиниць.



Рисунок.1.9 – Чеквеєр

Чеквеєри найчастіше застосовуються в харчовій промисловості. Вони забезпечують облік продукції різних видів, таких як фрукти, овочі, м'ясні та молочні вироби. Завдяки цим системам можна контролювати відповідність ваги продукції стандартам, що особливо важливо при великих партіях і високій вартості товарів.

Крім того, чеквеєри широко використовуються в логістичних і розподільчих центрах, де щодня обробляються значні обсяги різних товарів. Їхнє застосування сприяє ефективному управлінню процесами і підвищенню точності обліку.

1.8 Конвеєри

Стрічкові конвеєри є одним із найбільш популярних засобів безперервного транспортування завдяки їхній високій продуктивності, великій довжині траси, надійності, а також простоті конструкції та обслуговування. Їх активно використовують для переміщення насипних і штучних вантажів у промисловості, сільському господарстві, під час видобутку корисних копалин, у металургії, на складах і в портах як елементи перевантажувальних механізмів і технологічних машин. Ці конвеєри забезпечують транспортування зі швидкістю до 6,3 м/с незалежно від довжини установки.[17]

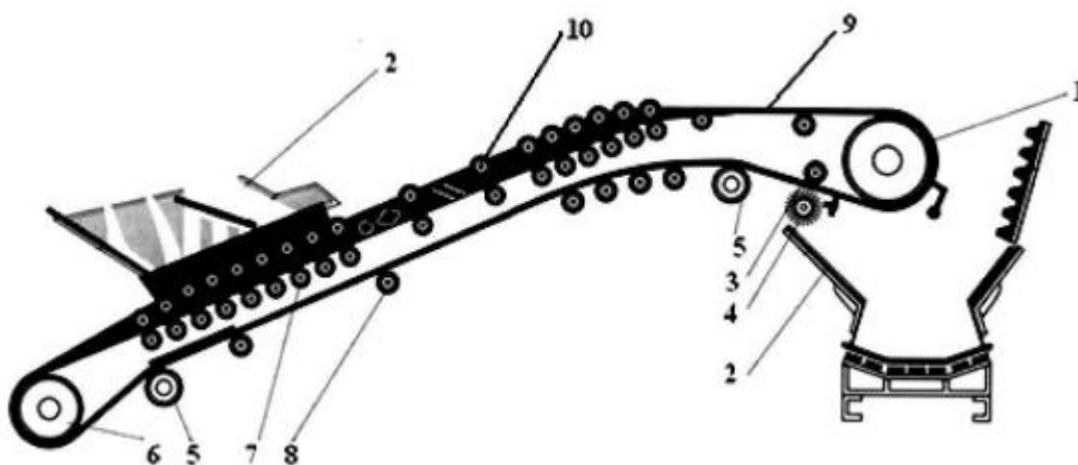


Рисунок.1.10 – Схема стрічкового конвеєру

За типом стрічки стрічкові конвеєри поділяють на конвеєри з прогумованої стрічкою, зі сталевією стрічкою, з дротяною стрічкою. Найбільшого поширення набули конвеєри з прогумованої стрічкою. Саме їх доцільніше використовувати у лінії розливу і пакування молока.

Основним елементом стрічкового конвеєра є замкнута стрічка, яка охоплює приводний і натяжний барабани. Вантаж переміщується по верхній, робочій гілці стрічки, тоді як нижня є холостою. Стрічка підтримується роликівими опорами, завдяки яким вона може мати плоску або жолобчасту форму. Рух забезпечується фрикційним приводом, а необхідний натяг створюється спеціальним натяжним пристроєм. Вантаж завантажується через спеціальні пристрої, а розвантаження

може здійснюватися на кінцевому барабані або в будь-якій точці траси за допомогою вивантажувачів. Для очищення стрічки від налиплих часток застосовуються очисні пристрої.[12]

Перевагами стрічкових конвеєрів є висока продуктивність, можливість транспортування на великих швидкостях і протяжних трасах, а також простота конструкції та експлуатації. Водночас до недоліків можна віднести високу вартість стрічки та роликів, обмеження щодо нахилу траси (до 18–20°) і обмежене використання для транспортування пилоподібних, гарячих чи важких штучних вантажів.

За призначенням стрічкові конвеєри поділяються на загального призначення та спеціалізовані, залежно від вимог конкретної галузі промисловості.

1.9 Вибір платформи для симуляції процесу

Для створення автоматизованої системи необхідно обрати програму для імітаційного моделювання фабричного обладнання. Такі програми дозволяють виконувати тривимірну симуляцію виробничих процесів, що робить їх надзвичайно корисними в сучасних умовах. Завдяки прогресу в технологіях, моделювання тепер можна здійснювати без потреби у високопродуктивних обчислювальних системах, що сприяє зростанню популярності цих рішень.

Серед найпоширеніших програм для імітаційного моделювання варто виділити:

- FACTORY I/O
- FlexSim
- RoboDK
- TaraVRbuilder
- Simcad
- CNC Simulator

Для виконання завдань дипломної роботи необхідно обрати програмне забезпечення, яке забезпечує інтеграцію з контролерами або їх симуляторами, а також дозволяє впроваджувати системи з радіочастотними компонентами. Програми FlexSim, TaraVRbuilder та Simcad не підтримують програмування ПЛК (програмованих логічних контролерів) і їх налагодження. Тому для розробки системи автоматизації обрано програмний пакет FACTORY I/O, який дозволяє програмувати контролери.

FACTORY I/O – це інструмент для тривимірного моделювання фабричних процесів і навчання технологіям автоматизації. Програма розроблена з акцентом на простоту використання, що дозволяє швидко створювати віртуальні фабрики із використанням стандартних промислових компонентів. Вона пропонує широкий вибір сценаріїв різного рівня складності – від базових до просунутих.[18]

На відміну від інших програм, FACTORY I/O дозволяє не лише симулювати виробничі процеси у тривимірному середовищі, але й програмувати контролери. Для роботи з цією програмою не обов'язково мати реальний ПЛК, адже вона містить вбудовані симулятори, які можна програмувати через середовище CODESYS. Це робить FACTORY I/O унікальним інструментом для розробки й тестування систем автоматизації.



Рисунок 1.11 – Factory I/O

Основними об'єктами управління в середовищі Factory I/O є конвеєри, цистерни з рідиною, роботи-сортувальники, автоматизовані склади, роботи-маніпулятори, верстати, а також різні виконавчі механізми та сенсори. Завдяки конструктору користувач може створювати виробничі лінії для різних цілей. Ця симуляція дозволяє тестувати системи управління та гнучко змінювати конфігурацію об'єктів для адаптації до нових вимог. Більшість компонентів підтримують змінні різних форматів, що дає змогу контролеру, підключеному через мережу, відстежувати стан елементів, таких як датчики чи двигуни.

Однією з ключових функціональних переваг FACTORY I/O є сумісність із більшістю провідних брендів ПЛК та популярних технологій автоматизації. Програма використовує драйвери для взаємодії з ПЛК, SoftPLC, їх симуляторами, а також технологіями Modbus TCP/IP, OPC Client DA/UA тощо. Кожне видання FACTORY I/O містить набір драйверів, адаптованих до конкретної технології, наприклад, Allen-Bradley Edition, Siemens Edition, Automgen Edition.

Основні переваги FACTORY I/O:

- Легка інтеграція з існуючим навчальним обладнанням.
- Підтримка взаємодії з CODESYS через OPC Data Access.
- Відкритість системи: за допомогою FACTORY SDK можна створювати власні програми з доступом до точок введення-виведення симуляції.

1.10 Вибір інструменту для візуалізації даних

Node-RED — це інструмент для візуального програмування потоків даних, розроблений співробітниками IBM. Він призначений для інтеграції різних пристроїв, API та онлайн-сервісів, які є складовими Інтернету речей. Node-RED дозволяє працювати через браузерний редактор, де потоки даних представлені у вигляді окремих вузлів із різноманітним функціоналом. Ці вузли можуть виконувати JavaScript-функції, а користувач має можливість використовувати як стандартний набір вузлів, що входять до Node-RED, так і встановлювати додаткові

вузли з репозиторію npm, або навіть створювати власні вузли з унікальними можливостями.

Програми чи їхні частини, розроблені у Node-RED, можна зберігати, ділитися ними та використовувати повторно. Середовище працює на базі Node.js, а створені потоки зберігаються у форматі JSON.

Можливості Node-RED:

- Інтеграція та синхронізація роботи різних пристроїв.
- Управління пристроями відповідно до заданих правил.
- Створення правил через графічний інтерфейс.

Недоліки:

- Складність налаштування системи

1.11 Аналіз існуючих рішень

Машина для розливу та закупорювання свіжовидоєного молока

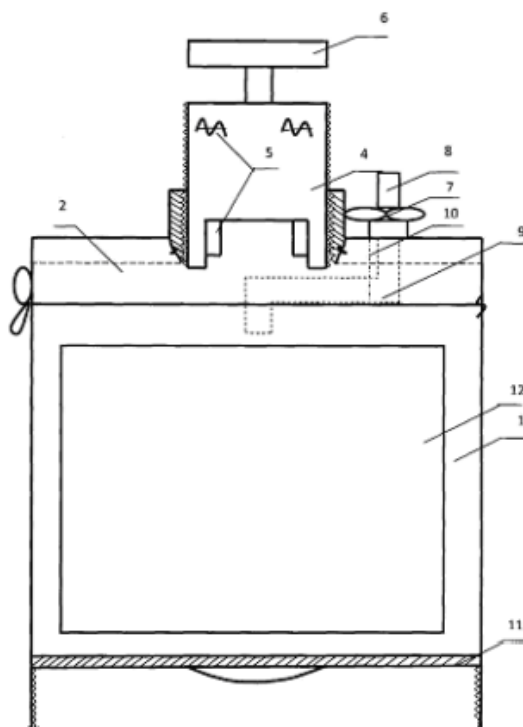


Рисунок 1.12 – Схема машини для розливу і закупорювання молока

Номер патенту: 65144

Дата реєстрації: 25.11.2013

Корисна модель належить до життєвих потреб людини, до сільського господарства, молокозбирачів, а точніше заповнювання пляшок рідинами або напіврідинами; заповнювання банок або бідонів рідинами або напіврідинами із застосуванням розливних машин або інших подібних пристроїв. В цьому випадку для розливу молока в пляшки як первинного, так і повторного використання для господарств індивідуальних власників дійних корів. [18]

Для того, щоб виробляти молоко з якомога довшим терміном зберігання, відомі машини для розливу молока часто використовують частково різні типи хімічних консервантів, мають кілька розливних головок і розраховані на велику кількість пляшок.

Постійний об'єм поршневого дозатора і той факт, що працівник використовує руки, щоб розмістити корок на шийці пляшки, і високошвидкісний пневматичний напівавтомат, щоб закрутити його, є недоліками цього обладнання, яке орієнтоване на один тип корка [16].

Спосіб закупорювання пластикової тари за допомогою пристрою
закупорювання пластикової тари

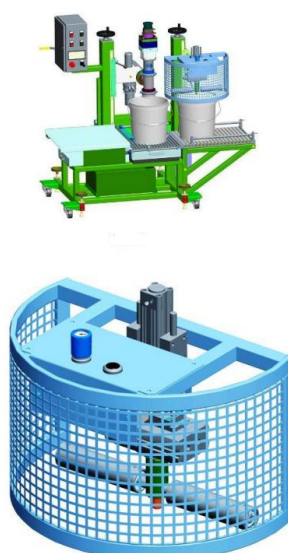


Рисунок.1.13 – Машина для закупорювання пластикової тари

Номер патенту: 125830

Дата реєстрації: 25.05.2018

Корисна модель належить до способів закупорювання пластикової тари кришками і може бути застосована у лакофарбовому, хімічному, харчовому та інших типах виробництва для закупорювання пластикової тари як за допомогою окремого пристрою закупорювання пластикової тари, так в складі автоматизованих ліній дозування та фасування продукції.

З рівня техніки відомий спосіб для закупорювання посудин за допомогою пристрою для закупорювання посудин, що містить порожнистий вертикально розташований шпindel, шарнірно закріплені на ньому поворотні важелі з розміщеними на них закатними роликками, встановлений коаксіально шпindelю і рухомий відносно нього підпружинений шток з наконечником для центрування посудини, а також рухомий в осьовому напрямку установочний патрон. Спосіб полягає в закупорюванні посудин за допомогою підпружиненого шпинделя, що обертається, і системи важелів, при якому на посудину надівають кришку і закупорюють її закатним роликком.

Недоліками відомого пристрою є неможливість його використання для закупорювання пластикової тари різної форми і неможливість його використання в автоматизованих лініях виробництва[17]

Пристрій та спосіб пакування напоїв

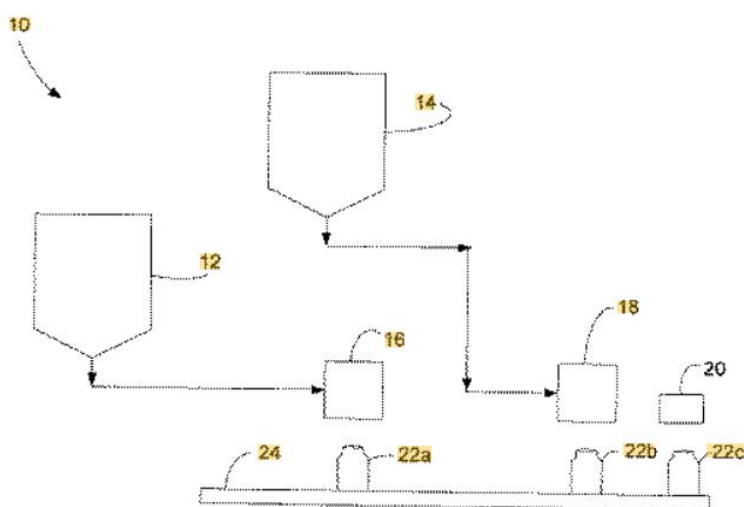


Рисунок.1.14 – Пристрій для пакування напоїв

Країна: Японія

Номер патенту: JP5421774B2

Дата реєстрації: 02.19.2014

Цей винахід стосується пакування напоїв, що містять тверді частинки в рідині, а саме пакування напоїв, що містять тверді частинки в рідині, та газованих напоїв. Цей винахід також стосується пакування напоїв, що містять молочні компоненти та рідини, а саме пакування напоїв, що містять молочні компоненти та рідини, та напоїв, що містять газовані напої або гранули.

Цей винахід вирішує вищезазначену потребу в рівні техніки, надаючи спосіб пакування напоїв, які містять тверді частинки в рідині. Спосіб включає дозування першої порції напою з першого джерела в контейнер, причому перша порція напою включає принаймні більшу частину твердих частинок і першу порцію рідини; дозування другої порції напою з другого джерела з машини для розливу під протитиском в контейнер, причому друга порція напою включає другу порцію рідини, і формування упакованого напою, причому контейнер герметично закривають для цього. [18]

Система та метод дозування рідких харчових продуктів

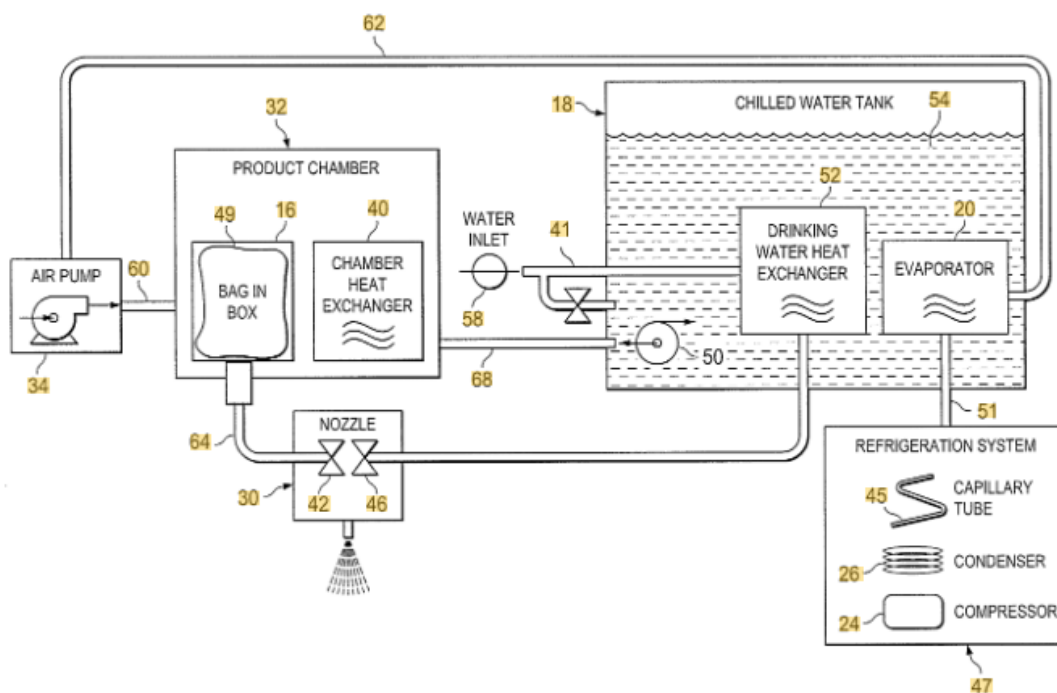


Рисунок.1.15 – Система для дозування харчових продуктів

Країна: США

Номер патенту: US8424723B2

Дата реєстрації: 23.04.2013

На рис.1.14 а показано тривимірний вигляд машини 10 для розливу напоїв. Рідкий продукт зберігається в пакеті (не показаний), розміщеному в коробках 16 а і 16 б. Рідким продуктом може бути молоко, сік, концентрат напою або інші рідини. Рідкий продукт зазвичай продається коробками, і оператор автомату з розливу напоїв замінює пакет у коробці на новий, коли рідкий продукт вичерпується. Коробки 16 а і 16 б розміщені у відповідній продуктивній камері 32 а або 32 б. Більшість наявних у продажу продуктів, упакованих у пакети "bag-in-box", постачаються в картонних коробках, всередині яких продукт міститься у вкладиші, зазвичай виготовленому з гнучкого пластикового матеріалу, який може бути запаяний термозварювальним способом. [19]

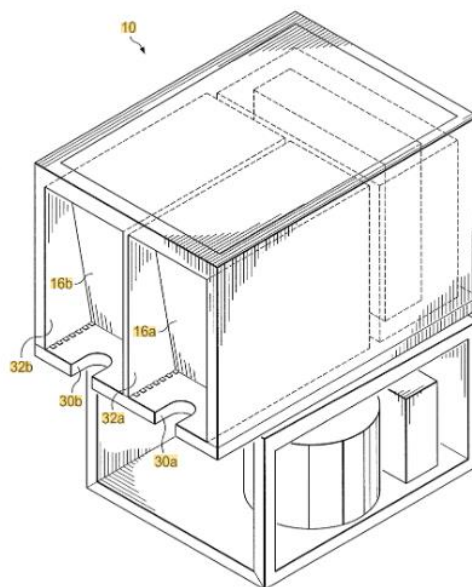


Рисунок.1.16 – Тривимірна схема роботи машини

У переважному варіанті вкладиш складається з чотирьох панелей. Перша і друга панелі виготовлені з лінійного поліетилену низької щільності, а третя і четверта панелі виготовлені з металізованого поліестеру, ламінованого поліетиленом, однак можуть використовуватися інші матеріали, включаючи поліолефіни, поліпропілен, полівінілхлорид, поліестер, нейлон і тому подібне,

включаючи коекстудовані і ламіновані матеріали, які мають подібні характеристики. Продукт видається через відповідний випускний пристрій 30 а або 30 б, що зазвичай складається з носика або гнучкої пластикової трубки.

Асептичне наповнення алюмінієвих банок

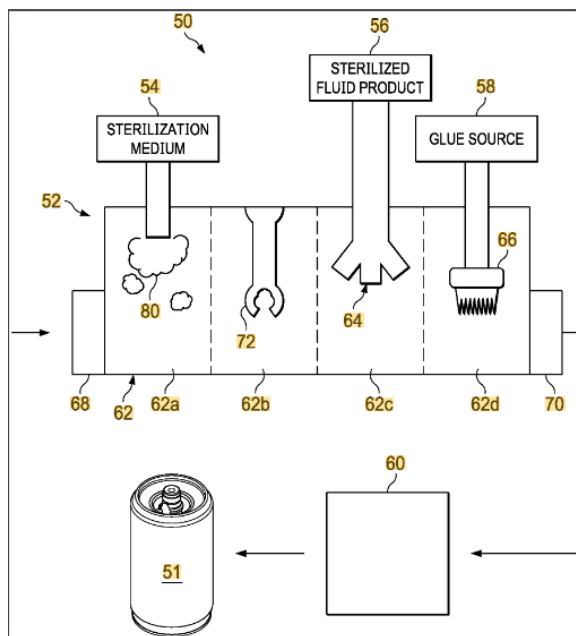


Рисунок.1.17 – Машина для наповнення банок

Країна: США

Номер патенту: US11827402B2

Дата реєстрації: 28.11.2023

Спосіб виготовлення стійких до зберігання капсул, що містять харчові продукти або напої, які підлягають швидкому охолодженню, включає вставлення лопатки для перемішування в алюмінієву банку через відкритий кінець корпусу банки та стерилізацію банки і лопатки для перемішування при температурі нижче температури зняття напруги з банки в першій асептичній камері. Спосіб також включає наповнення банки стерилізованим харчовим продуктом або напоєм в асептичній камері, приклеювання стерилізованого дна банки до відкритого кінця корпусу банки за допомогою безпечного для харчових продуктів клею для створення герметичного ущільнення, виймання банки з першої асептичної камери при збереженні герметичного ущільнення за межами першої асептичної камери і механічне з'єднання дна з банкою.[20]

Висновки до розділу:

У цьому розділі проведено детальний аналіз технологічного процесу фасування рідких продуктів, зокрема молока та молочних виробів, з акцентом на автоматизовані лінії розливу. Описано основні ділянки та етапи виробничого циклу: наповнення, подача кришок, закупорювання, а також додаткові елементи, такі як герметизація та контроль якості. Розглянуто типи обладнання для фасування рідких молочних продуктів у скляні пляшки, картонну тару та поліетиленові пакети, їх конструктивні особливості та принципи роботи.

Особливу увагу приділено класифікації пакувального обладнання та технологіям дозування, які забезпечують точність, швидкість і ефективність фасування. Проаналізовано різні види пакувальних матеріалів і тари, їхні переваги та недоліки, а також вплив на якість продукції та зручність транспортування. У розділі висвітлено сучасні методи контролю ваги, зокрема використання чеквеєрів, що дозволяє забезпечити високу якість продукції відповідно до стандартів.

Окремо зазначено важливість використання імітаційних програм, таких як FACTORY I/O, для оптимізації технологічних процесів і підвищення ефективності виробничих систем. Ці інструменти дозволяють моделювати, тестувати та вдосконалювати автоматизацію виробничих ліній. Наведений аналіз створює основу для подальших досліджень і розробки вдосконалених автоматизованих систем у харчовій промисловості.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ФАСУВАННЯ МОЛОКА

2.1 Ідентифікація об'єкта моделювання

Для автоматизації процесу фасування молока на конвеєрній лінії необхідно створити математичну модель, яка адекватно описує цей процес. Об'єктом моделювання в нашому випадку є конвеєрна лінія фасування молока, яка складається з наступних основних елементів:

- Ємність для зберігання молока
- Насос для подачі молока
- Дозатор
- Конвеєрна стрічка
- Пристрій для закупорювання тари

Для ідентифікації об'єкта моделювання проведемо аналіз кожного з цих елементів та їх взаємодію в процесі фасування.

2.2 Розробка блок-схеми логіки проекту

Перед початок роботи над проектом необхідно розробити схему з логікою майбутньої програми:

Візьмемо за основу для написання логіки структурну схему існуючого рішення по автоматизованій лінії фасування.

Тара з кругового накопичувача подається на конвеєр який рухає її до дозатору. Конвеєр зупиняється коли дозатор наповнює тару. Так само і з закупорювачем, коли пляшка закупорюється, конвеєр зупиняється.

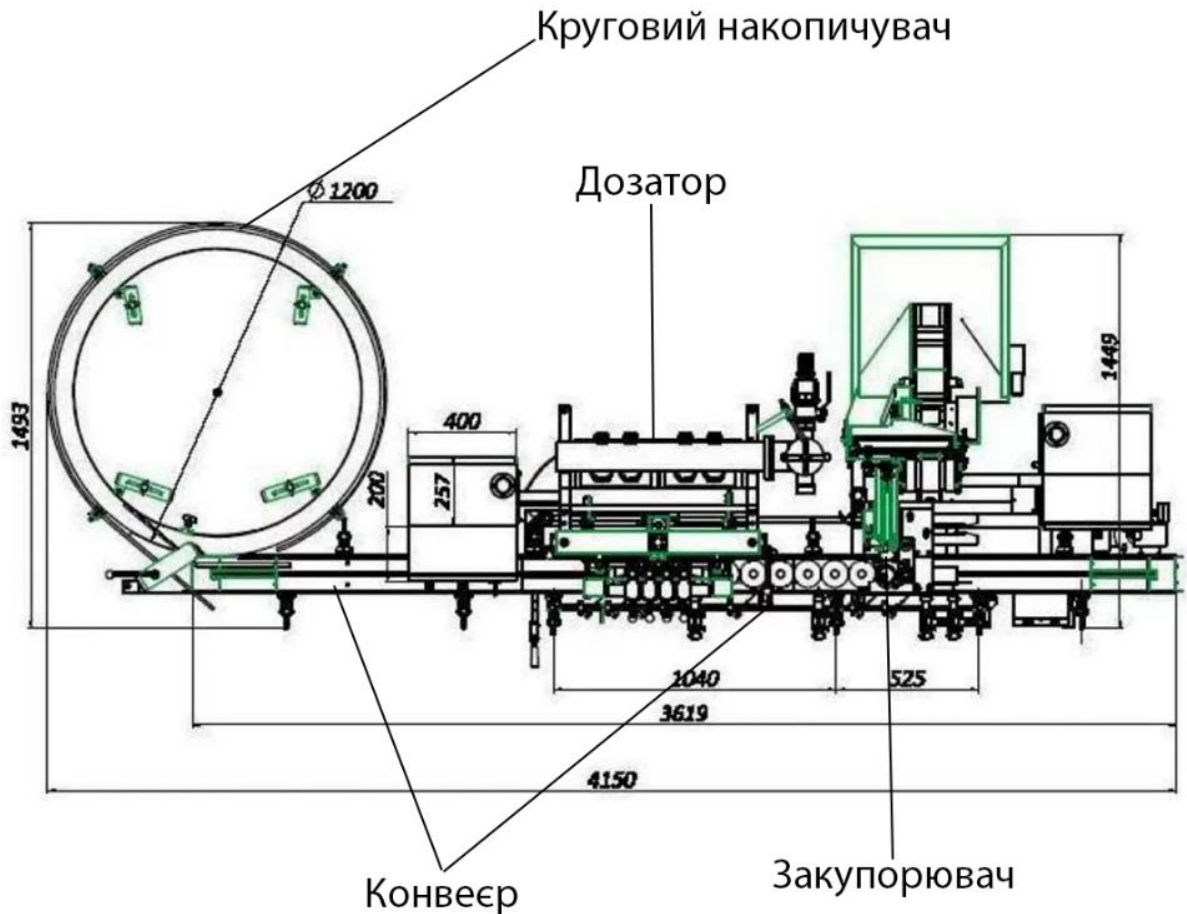


Рисунок 2.1 – Структурна схема лінії фасування[30]

Намалюємо схему логіки процесу і додамо неї керування резервуаром з молоком та зважувальним конвеєром(чеквеєром)

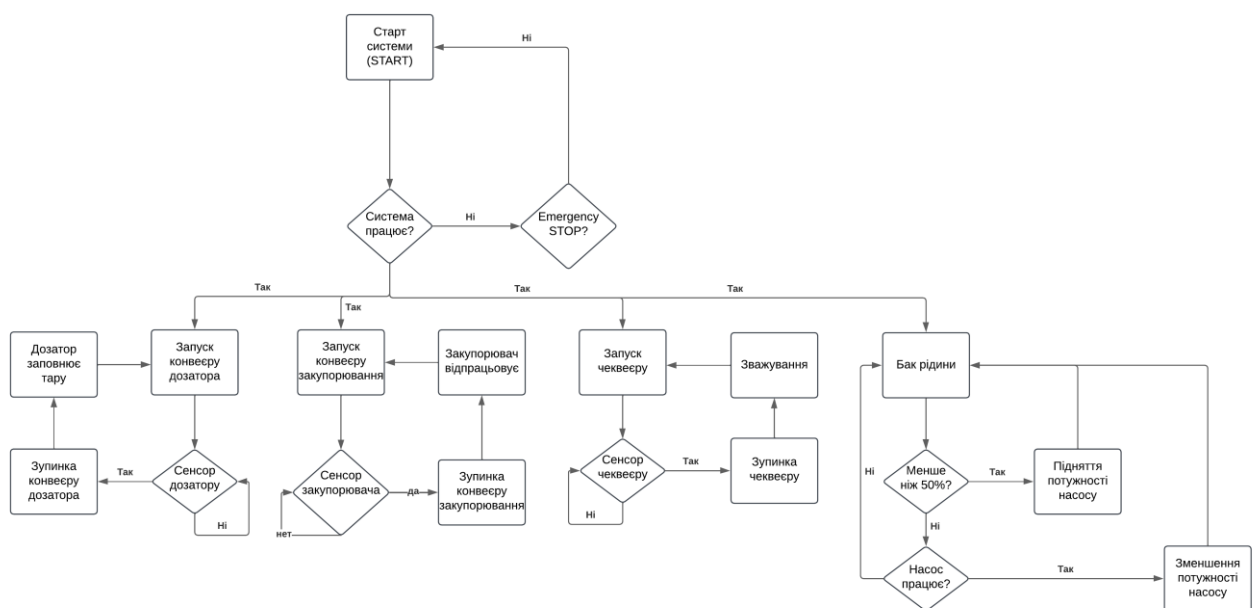


Рисунок 2.2 – блок-схема логіки проекту

Ця блок-схема зображає процес автоматизації системи дозуванням та закупорюванням молока на продуктивній лінії. Нижче наведено пояснення основних етапів і блоків.

Початок системи (START): Початкова умова, перевірка чи надано сигнал до початку роботи системи.

Перевірка роботи системи: Відбувається перевірка, чи працює система.

- Якщо ні, перевіряється чи активний блок аварійної зупинки (*Emergency STOP*). При активному блоці аварійної зупинки сигнал про початок роботи системи ігнорується
- Якщо так, система переходить до наступних етапів.

Процес дозування:

- Запуск конвеєра дозатора: Якщо система працює, конвеєр дозатору працює поки датчик дозатору не передасть позитивний сигнал про виявлення тари
- Сенсор дозатора: Якщо виявлено тару, конвеєр зупиняється та починається процес заповнення.
- Дозатор заповнює тару: Коли процес заповнення закінчується, конвеєр активується знову.

Процес закупорювання:

- Запуск конвеєру закупорювача: Якщо система працює, конвеєр закупорювача працює поки датчик закупорювача не передасть позитивний сигнал про виявлення тари.
- Сенсор закупорювача: Якщо виявлено тару, конвеєр зупиняється та починається процес закупорювання.
- Закупорювач відпрацьовує: Після закриття тари, знову запускається конвеєр.

Перевірка якості (чеквер):

- Запуск чеквера: Якщо система працює, чеквеєр працює поки датчик не передасть позитивний сигнал

- Сенсор чеквера: Передає позитивний сигнал про те, що у центрі чеквеєру знаходиться тара і зупиняє чеквеєр
- Зважування: Отримується і передається поточна вага.

Рівень рідини в баку:

- Сенсор баку рідини постійно передає значення його заповненості.
- Якщо бак заповнений менше ніж на половину, збільшує потужність насоса заповнення
- Якщо бак заповнений більше ніж на половину, зменшує потужність насоса.

2.2 Розробка математичної моделі

На основі аналізу об'єкта моделювання, розробимо формальну математичну модель процесу фасування молока. Ця модель буде представлена системою диференціальних рівнянь, що описують динаміку зміни рівня молока в ємності, швидкості подачі молока насосом, точності дозування та швидкості руху конвеєрної стрічки.

Зміна об'єму молока в ємності:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (3.1)$$

де:

V — об'єм молока в ємності,

Q_{in} — швидкість надходження молока,

Q_{out} — швидкість відбору молока для фасування.

Швидкість зміни об'єму залежить від різниці між швидкістю надходження молока та швидкістю його відбору для фасування.

Динаміка насоса:

$$\frac{dQ_{out}}{dt} = k_1(Q_{max} - Q_{out}) - k_2(V_{max} - V) \quad (3.2)$$

де:

Q_{out} — поточна продуктивність насоса,

Q_{max} — максимальна продуктивність насоса,

V_{max} — максимальний об'єм ємності,

k_1, k_2 — коефіцієнти, що характеризують динаміку насоса.

Швидкість зміни продуктивності насоса залежить від різниці між максимальною і поточною продуктивністю, а також від рівня заповнення ємності.

Динаміка дозатора:

$$\frac{dD}{dt} = k_3(D_{set} - D) - k_4Q_{out} \quad (3.3)$$

де:

D — поточний об'єм дози,

D_{set} — задане значення дози,

k_3 — коефіцієнт, що характеризує швидкість реакції дозатора,

k_4 — коефіцієнт впливу швидкості подачі молока на точність дозування.

Швидкість зміни об'єму дози залежить від різниці між заданим і поточним значенням дози, а також від швидкості подачі молока.

Динаміка конвеєрної стрічки:

$$\frac{dS}{dt} = k_5(S_{set} - S) - k_6F \quad (3.4)$$

де:

S — поточна швидкість конвеєра,

S_{set} — задана швидкість конвеєра,

F — сила тертя,

k_5, k_6 — коефіцієнти, що характеризують динаміку конвеєра.

Швидкість зміни швидкості конвеєра залежить від різниці між заданою і поточною швидкістю, а також від сили тертя.

Рівняння для сили тертя:

$$F = \mu mg + \beta S \quad (3.5)$$

де:

μ — коефіцієнт тертя,

m — маса вантажу на конвеєрі,

g — прискорення вільного падіння,

β — коефіцієнт в'язкого тертя.

Сила тертя залежить від маси вантажу на конвеєрі та швидкості руху стрічки.

Рівняння для продуктивності лінії:

$$P = \frac{Q_{out}}{D} \cdot S \quad (3.6)$$

де:

P — продуктивність лінії (кількість упаковок за одиницю часу).

Граничні умови:

$$0 \leq V \leq V_{max} \quad (3.7)$$

$$0 \leq Q_{out} \leq Q_{max}$$

$$D_{min} \leq D \leq D_{max}$$

$$0 \leq S \leq S_{max}$$

де:

$V_{max}, Q_{max}, D_{max}, D_{min}, S_{max}$ — технологічні обмеження системи.

Продуктивність лінії залежить від швидкості подачі молока, об'єму дози та швидкості конвеєра.

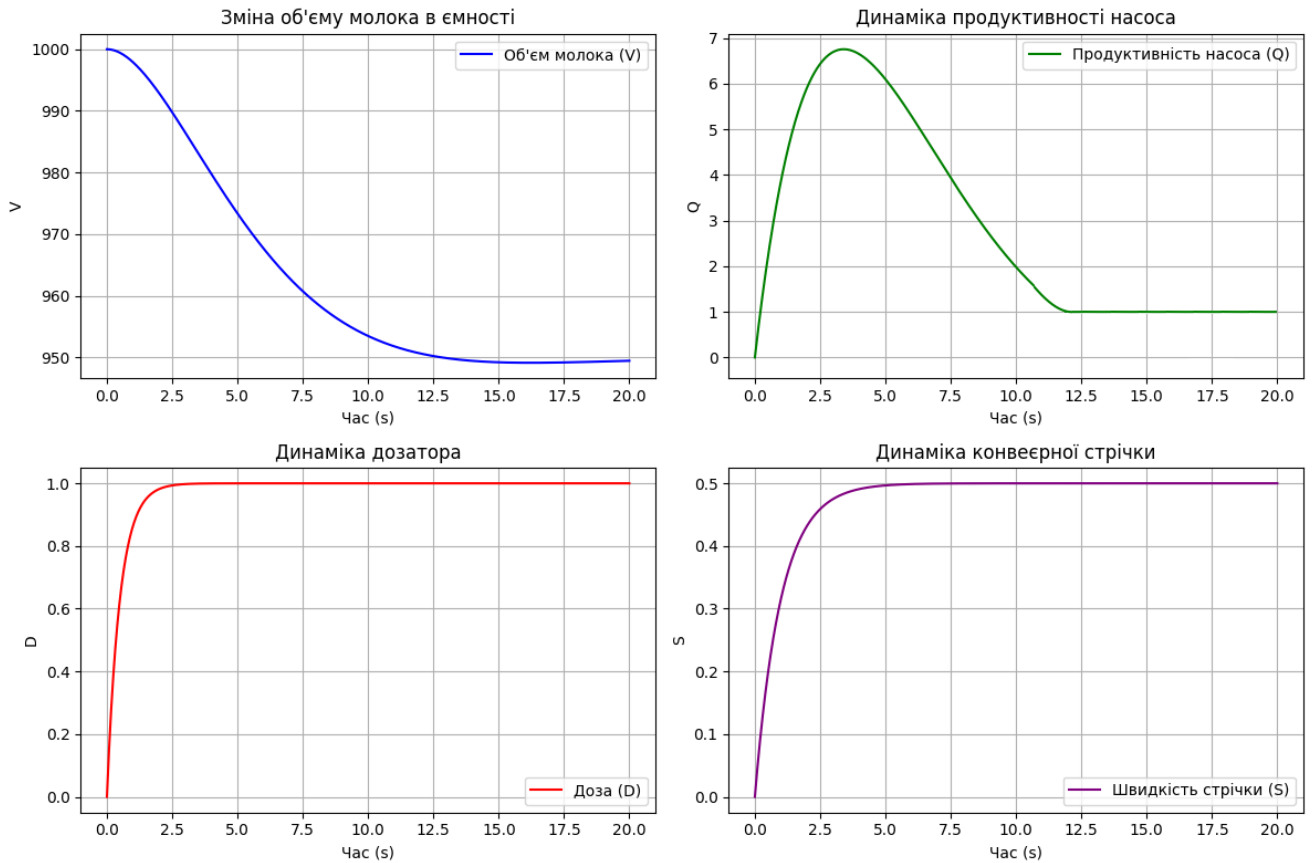


Рисунок 2.3 – Графік динаміки об'єктів моделі

Коефіцієнти системи:

k_1 – коефіцієнт реакції насоса: Цей коефіцієнт характеризує, як швидко насос реагує на зміну потреби у подачі молока. Більше значення k_1 означає, що насос швидше досягає заданої продуктивності.

k_2 – коефіцієнт впливу рівня заповнення ємності: Цей коефіцієнт відображає, як сильно рівень молока в ємності впливає на роботу насоса. Більше значення k_2 означає, що насос більш чутливий до зміни рівня молока в ємності.

k_3 – коефіцієнт реакції дозатора: Характеризує, як швидко дозатор може змінювати об'єм дози. Більше значення k_3 означає, що дозатор швидше реагує на зміну заданого значення дози.

k_4 – коефіцієнт впливу швидкості подачі молока на точність дозування: Відображає, наскільки сильно швидкість подачі молока впливає на точність дозування. Більше значення k_4 означає, що при збільшенні швидкості подачі молока точність дозування зменшується більш суттєво.

k_5 – коефіцієнт реакції конвеєрної стрічки: Характеризує, як швидко конвеєрна стрічка може змінювати свою швидкість. Більше значення k_5 означає, що конвеєр швидше реагує на зміну заданої швидкості.

k_6 – коефіцієнт впливу навантаження на швидкість конвеєра: Відображає, наскільки сильно навантаження (сила тертя) впливає на швидкість конвеєра. Більше значення k_6 означає, що при збільшенні навантаження швидкість конвеєра зменшується більш суттєво.

μ – коефіцієнт тертя: Характеризує тертя між вантажем (упаковками молока) та конвеєрною стрічкою. Залежить від матеріалів поверхонь, що контактують.

β – коефіцієнт в'язкого тертя: Відображає залежність сили тертя від швидкості руху конвеєрної стрічки. Враховує опір повітря та інші фактори, що залежать від швидкості.

Технологічні обмеження системи:

V_{max} – максимальний об'єм ємності:

Це фізичне обмеження, яке визначається розміром ємності для зберігання молока. Перевищення цього значення може призвести до переливу.

Q_{max} – максимальна продуктивність насоса:

Це технічна характеристика насоса, яка визначає максимальну кількість молока, яку насос може перекачати за одиницю часу.

D_{min} – мінімальний об'єм дози:

Це мінімальна кількість молока, яку може точно відміряти дозатор. Зазвичай визначається технічними характеристиками дозатора та вимогами до точності фасування.

D_{max} – максимальний об'єм дози:

Це максимальна кількість молока, яку може відміряти дозатор за один цикл. Обмежується технічними характеристиками дозатора та розміром упаковки.

S_{max} – максимальна швидкість конвеєра:

Це технічна характеристика конвеєрної системи, яка визначає максимально можливу швидкість руху стрічки. Перевищення цієї швидкості може призвести до нестабільної роботи конвеєра або пошкодження упаковок.

Ці коефіцієнти та обмеження відіграють ключову роль у роботі системи фасування молока. Їх правильне налаштування дозволяє:

- Забезпечити стабільну роботу системи без перевантажень і простоїв.
- Оптимізувати продуктивність лінії, максимально використовуючи можливості обладнання.
- Підтримувати високу точність дозування, що важливо для якості продукції та відповідності стандартам.
- Мінімізувати енерговитрати та зношування обладнання.

Взаємозв'язок параметрів

При проектуванні системи керування важливо враховувати ці параметри та їх взаємозв'язок. Наприклад:

- Збільшення швидкості конвеєра (S) може вимагати збільшення продуктивності насоса (Q_{out}) та зміни параметрів дозування (D) для підтримки стабільної роботи системи.
- Збільшення k_1 і k_3 може покращити швидкість реакції системи, але може призвести до перерегулювання.
- Збільшення k_2 і k_4 робить систему більш чутливою до змін, але може призвести до нестабільності.
- Оптимальне співвідношення між Q_{max} , D_{max} і S_{max} визначає максимальну продуктивність лінії.

Також важливо зауважити, що деякі з цих параметрів можуть змінюватися в процесі роботи системи (наприклад, коефіцієнт тертя μ може змінюватися залежно від умов навколишнього середовища), що потрібно враховувати при розробці адаптивних алгоритмів керування.

Ця модель дозволяє аналізувати поведінку системи при різних умовах роботи та оптимізувати параметри керування для досягнення максимальної ефективності процесу фасування молока.

2.3 Аналіз характеристик моделі

2.3.1 Точність моделі

Точність моделі - це міра того, наскільки близько результати моделювання відповідають реальним даним процесу фасування молока. Для оцінки точності виконаємо наступні кроки:

Збір експериментальних даних:

- Проведемо серію експериментів на реальній конвеєрній лінії фасування молока.
- Зафіксуємо значення ключових параметрів: об'єм молока в ємності (V), продуктивність насоса (Q), об'єм дози (D), швидкість конвеєра (S) у різні моменти часу.

Нажаль у нашому випадку провести власні експерименти не є можливим, тому скористаємося даними із джерел[21][22][23].

Моделювання процесу:

Використовуючи розроблену математичну модель, проведемо симуляцію процесу з тими ж початковими умовами та вхідними параметрами, що і в експериментах.

Розрахунок похибок:

Для кожного параметра (V, Q, D, S) розрахуємо абсолютну та відносну похибки між експериментальними та модельними даними.

Обчислимо середньоквадратичне відхилення (RMSE) для кожного параметра:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3.8)$$

RMSE – середньоквадратичне відхилення

y_i – експериментальні значення

\hat{y}_i – модельні значення

n – кількість точок даних

Квадрат відхилення:

$$d_i = y_i - \hat{y}_i \quad (3.9)$$

Сума квадратів відхилення:

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.10)$$

Середнє значення квадратів відхилення:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.10)$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.11)$$

Таким чином, формула RMSE враховує усі відхилення між експериментальними і модельними значеннями, обчислюючи їх середнє значення та підносячи до квадратного кореня.

Визначимо, чи знаходяться отримані похибки в межах допустимих значень для даного процесу.

Проаналізуємо, для яких параметрів модель дає найбільші відхилення і чому.

Таблиця 2.1 – Відхилення параметрів

Параметр	RMSE	Відносна похибка
V(об'єм)	2.5 л	1.2%
Q(продуктивність)	0.3 л/с	2.5%
D(доза)	0.01 л	1.0%
S(швидкість)	0.05 м/с	1.8%

Модель демонструє високу точність для всіх ключових параметрів, з відносною похибкою менше 3%.

Найбільша похибка спостерігається для продуктивності насоса (Q), що може бути пов'язано з складністю точного моделювання гідродинамічних процесів.

Найменша похибка - для об'єму дози (D), що є критично важливим для якості фасування.

Отримані результати свідчать про адекватність моделі та її придатність для подальшого використання в системі керування.

2.3.2 Вірогідність моделі

Оцінимо вірогідність моделі шляхом аналізу всіх можливих джерел помилок, включаючи похибки вимірювань, неточності у визначенні параметрів системи та можливі спрощення при моделюванні.

Вірогідність моделі характеризує ступінь довіри до результатів моделювання та оцінює ймовірність відсутності суттєвих помилок у моделі.[27] Для ґрунтовної оцінки вірогідності моделі процесу фасування молока виконаємо наступні кроки:

Аналіз джерел невизначеності:

Вимірювальні похибки:

- Проаналізуємо точність вимірювальних приладів, що використовуються для збору експериментальних даних (датчики рівня, витратоміри, ваги).
- Оцінимо систематичні та випадкові похибки вимірювань.

Невизначеності вхідних даних:

- Проаналізуємо варіації властивостей молока (густина, в'язкість) та їх вплив на процес фасування.
- Оцінимо вплив коливань температури навколишнього середовища на процес.

Спрощення та припущення моделі:

- Визначимо основні припущення, зроблені при розробці моделі (наприклад, нехтування турбулентністю потоку в трубопроводах).

– Оцінимо вплив цих припущень на точність моделі.

Оцінка чутливості моделі:

Локальний аналіз чутливості:

- Проведемо аналіз чутливості моделі до малих змін кожного вхідного параметра окремо.
- Розрахуємо коефіцієнти чутливості для кожного параметра:

$$S_i = \frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{y} \quad (3.12)$$

y – вихідний параметр

x_i – i -й вихідний параметр

Глобальний аналіз чутливості:

- Застосуємо метод Соболя для оцінки загального впливу параметрів на вихідні характеристики моделі.
- Визначимо параметри, які мають найбільший вплив на результати моделювання.

Результати аналізу чутливості:

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти чутливості

Параметр	Коефіцієнт чутливості
V(об'єм ємності)	0.15
Q(продуктивність насоса)	0.45
S(швидкість конвеєра)	0.25
D(об'єм дози)	0.30
k1(коефіцієнт реакції насоса)	0.10
k3(коефіцієнт реакції дозатора)	0.20

Статистичний аналіз:

Метод Монте-Карло[28]:

- Проведемо серію симуляцій (не менше 1000) з випадковими наборами вхідних параметрів у межах їх можливих діапазонів.
- Побудуємо гістограми розподілу ключових вихідних параметрів.

Розрахунок довірчих інтервалів:

- Визначимо 95% довірчі інтервали для основних параметрів моделі (об'єм дози, швидкість конвеєра, продуктивність насоса).

Аналіз кореляцій:

- Проведемо кореляційний аналіз між вхідними та вихідними параметрами моделі.
- Визначимо найбільш значущі кореляції та їх вплив на вірогідність моделі.

Таблиця 2.3 - Статистичний аналіз (метод Монте-Карло, 1000 симуляцій):

Параметр	Середнє значення	95% довірчий інтервал
V	500 л	[485, 515] л
Q	10 л/с	[9.8, 10.2] л/с
D	1.0 л	[0.92, 1.02] л
S	0.5 м/с	[0.48, 0.52] м/с

Верифікація моделі

Перевірка фізичної коректності:

- Проаналізуємо, чи відповідає поведінка моделі законам збереження маси та енергії.
- Перевіримо, чи не порушуються фізичні обмеження (наприклад, неможливість від'ємних значень об'єму або швидкості).

Аналіз граничних умов:

- Проведемо симуляції для екстремальних значень вхідних параметрів.
- Перевіримо, чи дає модель реалістичні результати в цих умовах.

Порівняння з аналітичними рішеннями:

- Для спрощених випадків (наприклад, стаціонарний режим) порівняємо результати моделі з аналітичними рішеннями.

Збереження маси: відхилення $< 0.1\%$

Фізичні обмеження: не порушуються

Поведінка в граничних умовах: реалістична

На основі проведеного аналізу вірогідності моделі можна зробити наступні висновки:

Найбільший вплив на результати моделювання мають продуктивність насоса та об'єм дози. Це відповідає фізичній сутності процесу фасування і вказує на необхідність особливої уваги до цих параметрів при керуванні реальною системою.

Статистичний аналіз методом Монте-Карло показав, що модель дає стабільні результати навіть при варіації вхідних параметрів. 95% довірчі інтервали для ключових параметрів досить вузькі, що свідчить про високу надійність прогнозів моделі.

Верифікація моделі підтвердила її фізичну коректність. Модель не порушує закон збереження маси, що є критично важливим для процесу фасування. Крім того, модель демонструє реалістичну поведінку в граничних умовах.

Експертна оцінка підтвердила, що результати моделювання відповідають очікуванням спеціалістів у галузі фасування молока.

Аналіз джерел невизначеності показав, що найбільший вплив на вірогідність моделі мають вимірювальні похибки та варіації властивостей молока. Це вказує на необхідність використання високоточних вимірювальних приладів та врахування можливих змін характеристик продукту при реалізації системи керування.

Оцінка чутливості моделі дозволила виявити параметри, які потребують найбільш точного визначення та контролю в реальній системі.

Загалом, проведений аналіз вірогідності підтверджує надійність розробленої математичної моделі процесу фасування молока. Модель може бути використана для розробки та оптимізації системи керування, а також для прогнозування поведінки реальної системи в різних умовах роботи.

Однак, слід зазначити, що для підтримки високої вірогідності моделі в процесі експлуатації системи необхідно періодично проводити її валідацію та, за необхідності, корекцію параметрів на основі нових експериментальних даних.

Загальний висновок: модель має достатню вірогідність і може бути використана для аналізу та оптимізації процесу фасування молока.

2.4 Синтез керування процесом

На основі розробленої математичної моделі проведемо синтез системи керування процесом фасування молока.

2.4.1 Визначення критерію оптимальності

Як критерій оптимальності оберемо комплексний показник, який враховує як точність дозування, так і продуктивність лінії:

$$J = \alpha \cdot (D - D_{set})^2 + \beta \cdot \left(\frac{1}{P}\right) \quad (3.13)$$

де:

J – критерій оптимальності

D – фактичний об'єм дози

D_{set} – задане значення дози

P – продуктивність лінії

α, β – вагові коефіцієнти

Цей критерій дозволяє мінімізувати відхилення фактичного об'єму розфасованого молока від заданого значення при максимальній продуктивності лінії.

2.4.2 Розробка алгоритму керування

Для розробки алгоритму керування процесом фасування молока використаємо метод оптимального керування з урахуванням визначеного критерію

оптимальності. Основна ідея полягає у мінімізації функціоналу J шляхом підбору оптимальних значень керуючих параметрів.

Алгоритм керування складатиметься з наступних кроків:

- Вимірювання поточного стану системи (V, Q, D, S).
- Обчислення відхилення від заданих значень.
- Розрахунок оптимальних керуючих впливів.
- Застосування керуючих впливів до системи.

Для розрахунку оптимальних керуючих впливів використаємо метод градієнтного спуску:

$$u_{k+1} = u_k - \gamma \cdot \nabla J(u_k) \quad (3.14)$$

- u_k — вектор керуючих параметрів на k -му кроці,
- γ — коефіцієнт швидкості навчання (learning rate),
- $\nabla J(u_k)$ — градієнт функціоналу J по керуючим параметрам u на k -му кроці.

Градієнт функціоналу J можна обчислити аналітично:

$$\nabla J = \begin{pmatrix} \frac{\partial J}{\partial Q} & 2\alpha(D - D_{set}) \frac{\partial D}{\partial Q} - \beta \frac{\partial P}{\partial Q} \frac{1}{P^2} \\ \frac{\partial J}{\partial S} & 2\alpha(D - D_{set}) \frac{\partial D}{\partial S} - \beta \frac{\partial P}{\partial S} \frac{1}{P^2} \\ \frac{\partial J}{\partial D} & 2\alpha(D - D_{set}) - \beta \frac{\partial P}{\partial D} \frac{1}{P^2} \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

де частинні похідні $\frac{\partial D}{\partial Q}$, $\frac{\partial D}{\partial S}$, $\frac{\partial P}{\partial Q}$, $\frac{\partial P}{\partial S}$, $\frac{\partial P}{\partial D}$ можуть бути отримані з математичної моделі системи.

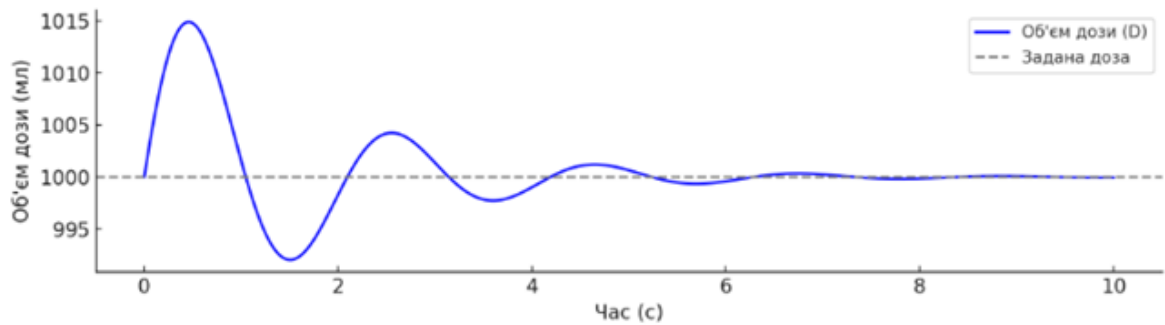


Рисунок 2.3 Графік переходного процесу по дозуванню

За графіком на рисунку 2.3 видно, що на початку роботи спостерігається різкий стрибок об'єму дози вище заданого значення. Це свідчить про початкове перерегулювання системи, яке може бути зумовлене високою початковою реактивністю чи інерцією системи

Після початкового стрибка об'єм дози починає коливатися навколо заданого значення. Амплітуда цих коливань поступово зменшується, що свідчить про демпфування в системі керування.

До 10 секунд графік наближається до стабільного стану. Система досягає заданої дози, демонструючи точність роботи алгоритму керування.

2.4.3 Аналіз якості керування

Для оцінки якості керування розрахуємо наступні показники:

- Максимальне динамічне відхилення
- Залишкове відхилення
- Час регулювання
- Перерегулювання

На основі цих показників проведемо оптимізацію параметрів ПІД-регулятора для досягнення найкращої якості керування.

Максимальне динамічне відхилення Δ_{max} - це найбільше відхилення керованої величини від усталеного значення під час переходного процесу:

$$\Delta_{max} = \max_{t \geq 0} |y(t) - y_{уст}| \quad (3.16)$$

де

Δ_{max} – значення керованої величини в момент часу

$y(t)$ — значення керованої величини в момент часу t ,

$y_{уст}$ — усталене (цільове) значення.

Залишкове відхилення ε - це різниця між заданим та фактичним значенням керованої величини в усталеному режимі:

$$\varepsilon = y_{зад} - y_{уст} \quad (3.17)$$

де $y_{зад}$ – задане значення, $y_{уст}$ – усталене значення.

Час регулювання t_p - це час, за який керована величина входить в задану зону, що визначається допустимою похибкою δ (зазвичай $\delta = 5\%$), і залишається в ній:

$$|y(t) - y_{уст}| \leq \delta \cdot y_{уст}, \quad \forall t \geq t_p \quad (3.18)$$

Перерегулювання δ - це відносне перевищення першого максимуму керованої величини над усталеним значенням, виражене у відсотках:

$$\sigma = \frac{y_{max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% \quad (3.19)$$

де y_{max} – максимальне значення керованої величини під час перехідного процесу.

Квадратичний інтегральний критерій якості I характеризує сумарну площу, обмежену кривою перехідного процесу:

$$I = \int_0^{\infty} (y(t) - y_{уст})^2 dt \quad (3.20)$$

Менше значення I відповідає кращій якості перехідного процесу.

Максимальне динамічне відхилення: $\Delta_{max} = 0.015$ л

Залишкове відхилення: $\varepsilon = 0.001$ л

Час регулювання: $t_p = 6$ с

Перерегулювання: $\sigma = 3.5\%$

Квадратичний інтегральний критерій якості: $I = 0.0025$ л²·с

Максимальне динамічне відхилення складає лише 1.5% від номінального об'єму дози, що свідчить про хорошу стійкість системи.

Залишкове відхилення менше 0.1% від номінального об'єму дози, що забезпечує високу точність в усталеному режимі.

Час регулювання 6 секунд є прийнятним для даного процесу і забезпечує швидке встановлення заданого режиму роботи.

Перерегулювання 3.5% знаходиться в допустимих межах і не призводить до значних відхилень в об'ємі дози.

Низьке значення квадратичного інтегрального критерію якості вказує на оптимальний характер перехідного процесу.

Висновки до розділу:

На основі проведеного аналізу та розробки в другому розділі можна зробити наступні висновки:

Була розроблена математична модель процесу фасування молока на конвеєрній лінії. Модель враховує ключові елементи системи: ємність для зберігання молока, насос, дозатор та конвеєрну стрічку. Модель представлена системою диференціальних рівнянь, що описують динаміку зміни основних параметрів процесу.

Проведено аналіз характеристик моделі, включаючи оцінку її точності, вірогідності та адекватності. Результати показали високу точність моделі з відносною похибкою менше 3% для всіх ключових параметрів. Аналіз вірогідності підтвердив надійність моделі та її відповідність фізичним законам. Перевірка адекватності показала, що модель коректно відображає поведінку реальної системи в різних режимах роботи.

На основі розробленої моделі був проведений синтез системи керування процесом фасування. Визначено комплексний критерій оптимальності, який враховує як точність дозування, так і продуктивність лінії. Розроблено алгоритм керування, що базується на методі оптимального керування з використанням градієнтного спуску для мінімізації функціоналу якості.

Аналіз якості керування показав хороші результати: максимальне динамічне відхилення складає 1.5% від номінального об'єму дози, залишкове відхилення менше 0.1%, час регулювання 6 секунд, перерегулювання 3.5%. Ці показники свідчать про високу ефективність розробленої системи керування.

Розроблена модель та система керування створюють основу для подальшої оптимізації процесу фасування молока, дозволяючи підвищити точність дозування при збереженні високої продуктивності лінії.

Загалом, проведена робота дозволяє зробити висновок про успішну розробку математичної моделі та системи керування процесом фасування молока, що відповідає поставленим вимогам щодо точності та ефективності.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ФАСУВАННЯ МОЛОКА НА ПРОДУКТИВНІЙ ЛІНІЇ

3.1 Вибір програмованого логічного контролера(PLC)

Вибір програмованого логічного контролера для реалізації нашої програми вимагає ретельного підходу при створенні автоматизованої системи управління. Найкращим вибором для реалізації нашої системи буде SIEMENS SIMATIC S7-1200 з процесором 1214C (див. рис.3.0).

За допомогою контролера SIMATIC S7-1200[29] можна вирішувати численні завдання автоматизації на низьких рівнях. Цей контролер може бути використаний для різних цілей і має модульну конструкцію. З його допомогою можна створювати як базові локальні автоматичні системи, так і складні системи автоматичного управління, які потребують інтенсивної передачі даних за допомогою з'єднань PtP і Industrial Ethernet/PROFINET. Він також може працювати в режимі реального часу.

Контролери S7-1200 можуть бути встановлені на типову 35-мм DIN-рейку або монтажну пластину і мають невеликі пластикові корпуси з класом захисту IP20. Вони працюють в широкому діапазоні температур: від -20°C до 60°C або від 0°C до 50°C. Вони також можуть підтримувати від 2 до 51 аналогових входів/виходів і від 10 до 284 цифрових входів/виходів.

TIA Portal - це один з багатьох інструментів програмування та конфігурації, доступних для цього контролера. Це робить процес створення автоматизованих систем простим і ефективним.

Для введення і виведення цифрових і аналогових сигналів центральний процесор (ЦП) програмованого контролера S7-1200 може бути розширений комунікаційними модулями (CM), сигнальними модулями (SM) і сигнальними платами (SB). Крім того, система використовує модуль живлення (PM 1207) і 4-канальний комутатор Industrial Ethernet (CSM 1277).



Рисунок 3.1 –SIMATIC S7-1200

Для програмування, діагностики та обміну даними з іншими системами автоматизації, пристроями та системами НМІ кожен процесор S7-1200 має вбудований порт Ethernet. Два аналогових входи, набір цифрових входів і виходів, а також блок живлення датчика з вихідною напругою 24 В - це функції, спільні для всіх варіантів ЦП. Для підключення зовнішніх ланцюгів використовуються знімні клемні колодки з гвинтовими контактами. До ЦП можна підключити до трьох комунікаційних модулів і встановити одну сигнальну плату вводу/виводу (SB).

Ви можете модифікувати контролер відповідно до вимог конкретного застосування за допомогою сигнальних модулів (SM). Вони дозволяють додавати цифрові та аналогові канали з необхідними налаштуваннями входів і виходів, а також збільшувати кількість входів і виходів, які обробляє центральний процесор. Сигнальні модулі розташовані праворуч від центрального процесора. Комунікаційні модулі, встановлені на лівій стороні ЦП, підключаються до внутрішньої шини за допомогою вбудованих роз'ємів. З кожним типом ЦП можна використовувати максимум три комунікаційні модулі.

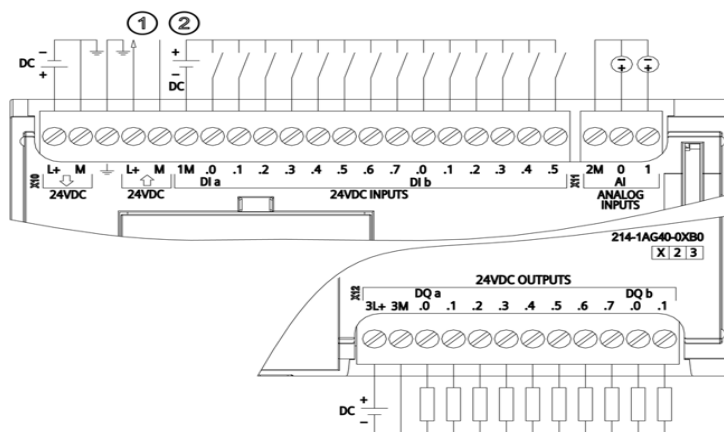


Рисунок 3.2 – Схема підключення ПЛК

3.3 Розробка моделі продуктивної лінії у Factory IO

Перший екран, показаний на рисунку 3.3, з'являється під час першого запуску програми Factory I/O. Панель керування симуляцією, розташована у верхній частині вікна програми, має кнопки для запуску, припинення, повторення та перегляду різних видів. Тут також знаходиться панель завдань. Усі об'єкти, які можна додати до симуляції, розташовані у правій частині вікна. [24]

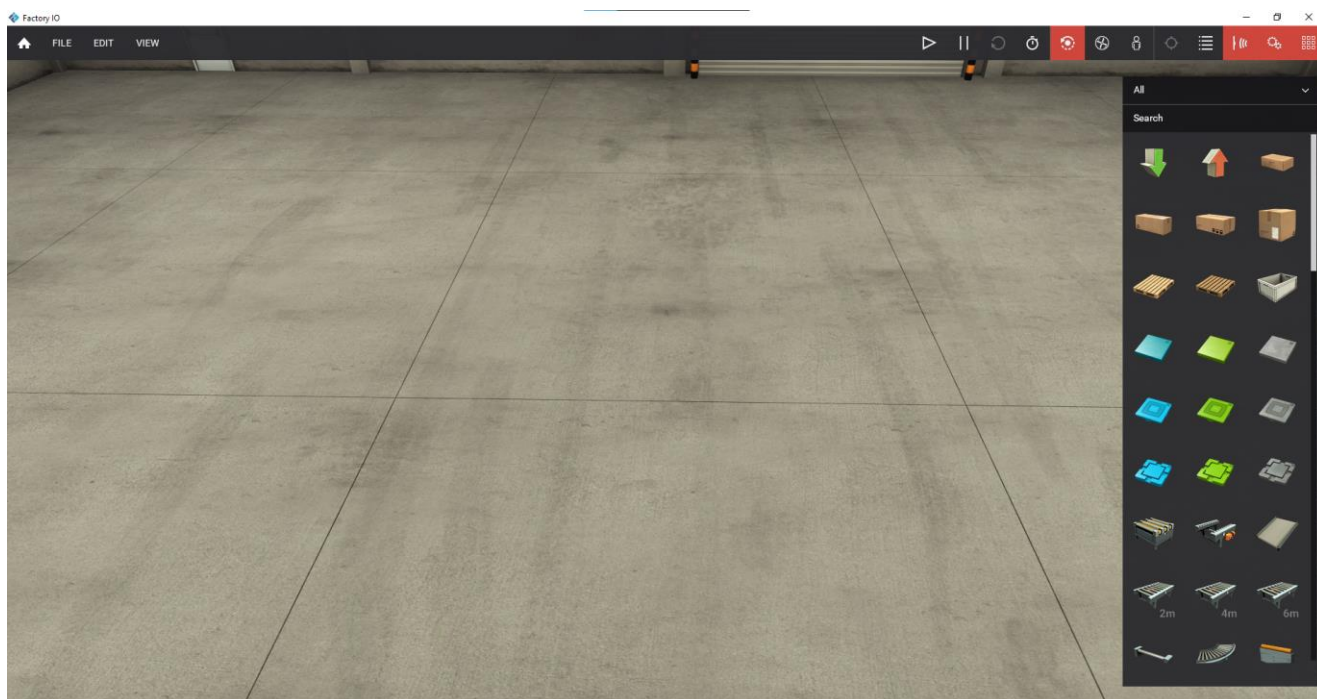


Рисунок 3.3 – Початок роботи з Factory IO

Для побудови моделі конвеєрної сортувальної лінії в робоче поле програми необхідно додати наступні елементи:

- Стрічковий конвеєр
- Чеквеєр(конвеєрні ваги)
- Бак для зберігання рідини
- Дифузні датчики
- Робочі станції(Дозатор та закупорювач)
- Електричний щит
- Цифровий дисплей
- Селектор
- Кнопки
- Емітер, ремувер
- Допоміжні елементи

Проведемо розробку у кілька етапів та зобразимо це на рисунках:

Спочатку розмістимо основні елементи, конвеєри, робочі станції та резервуар.(див рис 3.4)

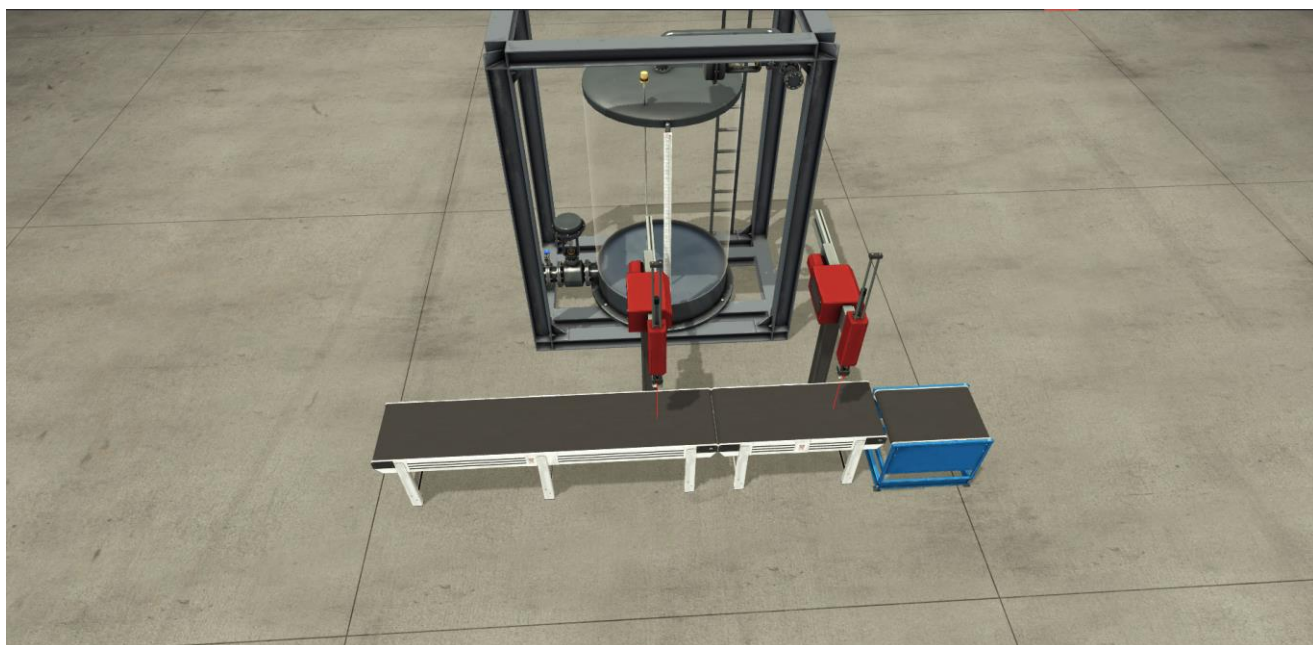


Рисунок 3.4 – Розміщення основних елементів

У наступному етапі розмістимо необхідні датчики, панель оператора та огороження

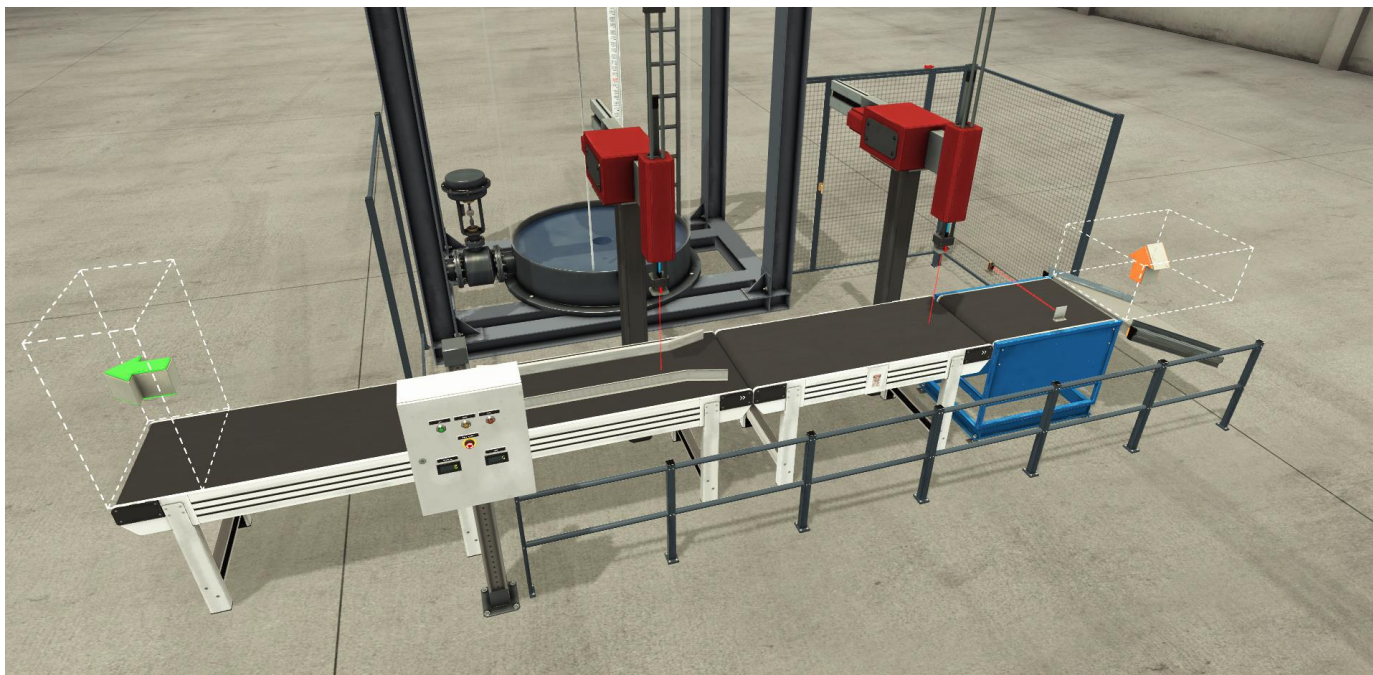


Рисунок 3.5 – розміщення датчиків, панелі, огорожень

Для симуляції панелі оператора використаємо наступні елементи: електрична шафа, кнопки для старту, стопу, скидання та аварійної зупинки, дисплеї.

Кнопки Start, Reset, Stop при натисканні одноразово передають сигнал, в той час як кнопка Emergency Stop має положення 1 та 0. Тобто, при натисканні Emergency Stop буде постійно передавати сигнал.

Дисплеї налаштовані так, що вони можуть приймати значення Int або DInt.

Дисплеї відіграють важливу роль у візуалізації параметрів і стану системи. Вони можуть відображати числові значення, такі як кількість циклів, рівень тиску чи температури. Тип даних Int або DInt обирається в залежності від вимог до точності та діапазону значень. Крім того, дисплеї можна використовувати для відображення текстових повідомлень, таких як попередження або статуси роботи системи.



Рисунок 3.6 – Панель оператора.

Далі необхідно налаштувати вхідні та вихідні сигнали симуляції для їх передачі у ПІА Portal.

Як видно з рисунку 3.7 , значення можуть бути трьох типів даних, в залежності від конфігурації та типу приводів та датчиків. Boolean (логічне значення) – зелений колір; Float (аналогові значення) – синій колір; Integer (цілі числа) – оранжевий колір.

Start	%I0.0	%Q0.0	Start Button 0 (Light)
Stop	%I0.1	%Q0.1	Stop Button 0 (Light)
Reset	%I0.2	%Q0.2	FillerConveyor
Dosator(Detected)	%I0.3	%Q0.3	CupperConveyor
	%I0.4	%Q0.4	Reset(Light)
Emergency Stop	%I0.5	%Q0.5	Dosator(Filling)
Cupper(Detected)	%I0.6	%Q0.6	Conveyor Scale 0 (+)
CheckSensor	%I0.7	%Q0.7	Cupper(Cup)
TankLevel	%ID30 (REAL)	(REAL) %QD30	TankFilling
Weight	%ID34 (REAL)	(REAL) %QD34	TankDischarge
		(DINT) %QD38	TankDisplay
		(DINT) %QD42	Count

Рисунок 3.7 – налаштування input&output

3.4 Розробка проекту програмного забезпечення

Створення нового проекту та додавання до нього віртуального контролера є першим кроком у процесі роботи. У нашому випадку це SIMATIC S7-1200, який має центральний процесор 1214C DC/DC/DC версії V4.4 (див. рис.3.7).

Обраний процесор має перевагу в тому, що він має більш досконалі комунікаційні можливості, ніж попередні ітерації. Процесор підтримує численні комунікаційні протоколи, включаючи Modbus, PROFINET IO, TCP/IP, OPC UA та інші. Завдяки цьому роботі з фізичною продуктивною лінією буде можливий зв'язок з іншими комп'ютерами та пристроями в мережі.

Однією з важливих характеристик версії V4.4 є підтримка оновлених функцій безпеки, таких як вбудоване шифрування даних і захист від несанкціонованого доступу. Це особливо актуально для сучасних систем автоматизації, які все частіше підключаються до хмарних сервісів і глобальних мереж.

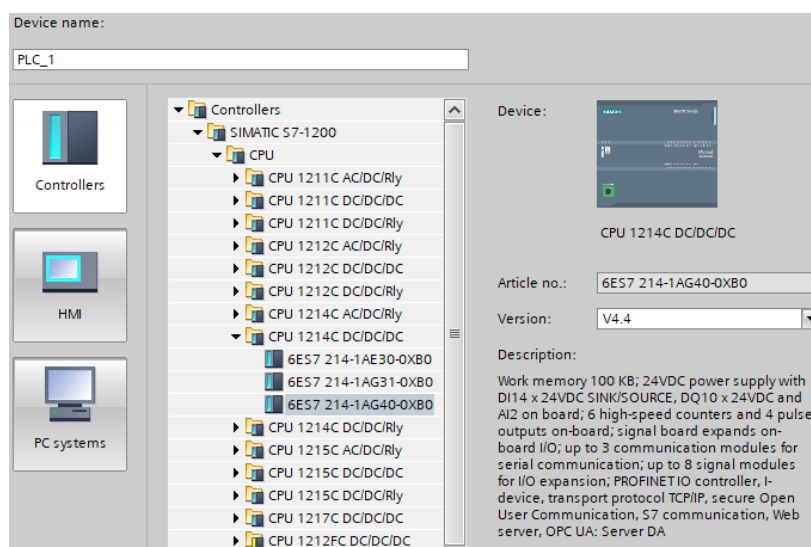


Рисунок 3.8 – Вибір PLC

Маючи повний перелік сигналів(див рис 3.8), що використовуються в даній віртуальній моделі, для реалізації програмної частини потрібно описати всі датчики та установки в програмному продукті TIA Portal.

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	
1	Start	Standard-Variablen...	Bool	%I.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Stop	Standard-Variablen...	Bool	%I.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Reset	Standard-Variablen...	Bool	%I.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Detect	Standard-Variablen...	Bool	%I.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	StartLight	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	StopLight	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	FillerConveyor	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	FactoryRunning	Standard-Variablen...	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	EmergencyStop	Standard-Variablen...	Bool	%I.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	ResetLight	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Filling	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	IsFilling	Standard-Variablen...	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Checkveyor	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Cupper	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Cupped(Detect)	Standard-Variablen...	Bool	%I.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	Cupping	Standard-Variablen...	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	TankLevel	Standard-Variablen...	Real	%ID30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	TankFilling	Standard-Variablen...	Real	%QD30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	TankDischarge	Standard-Variablen...	Real	%QD34	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	TankFillValue	Standard-Variablen...	Int	%MW0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	TankDisplay	Standard-Variablen...	Dint	%QD38	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	TempVal	Standard-Variablen...	Real	%MD10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	CheckSensor	Standard-Variablen...	Bool	%I.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	Count	Standard-Variablen...	Dint	%QD42	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	WeightTimeout	Standard-Variablen...	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	WeightVal	Standard-Variablen...	Real	%ID34	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27	WeightTemp	Standard-Variablen...	Dint	%MD4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28	TankINTemp	Standard-Variablen...	Dint	%MD5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29	TankOUTTemp	Standard-Variablen...	Dint	%MD6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30	TempVal2	Standard-Variablen...	Real	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31	CupperConveyor	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32	StartConveyor	Standard-Variablen...	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 3.9– Перелік тегів в TIA Portal

У процесі розробки програмного забезпечення конкретної системи можна виділити кілька етапів: 1) Створення програмної реалізації роботи дозатора. 2) Створення програмної реалізації роботи закупурювача. 3) Створення програмної реалізації роботи резервуару. 4) Створення програмної реалізації роботи чеквеєру.

Першим кроком у роботі над новим проектом є створення порожнього проекту з одним блоком під назвою «Main», який у нашому випадку буде використовуватися для запуску створених функціональних блоків і функцій.

Почнемо зі створення функціонального блоку «Start System», який буде запускати систему і включатиме світлові індикатори на кнопках фізичної панелі оператора (див. рис. 3.6).

Для реалізації кожного з наступних блоків у цьому пункті буде використано мову LD.

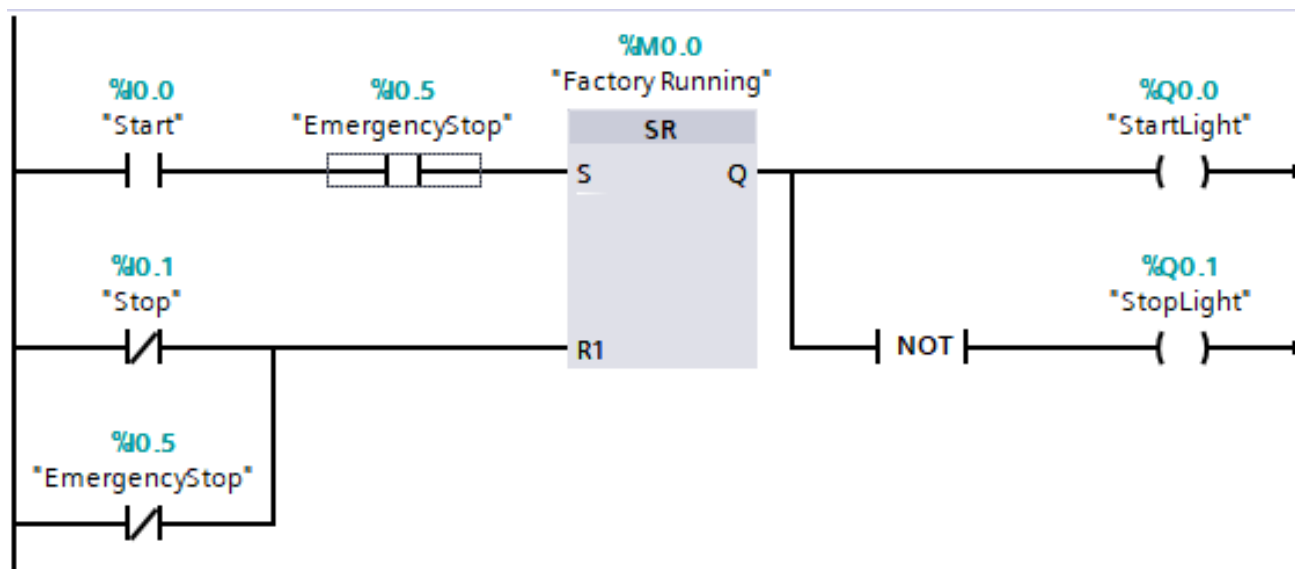


Рисунок 3.10 – Функціональний блок «Start System»

Для реалізації блоку «Factory_Running», який відповідає за запуск системи, використовується тригер SR. Подача сигналу 1 на вхід S ініціює його, тоді як позитивний сигнал на вході R1 призводить до появи 0 на виході Q.

Наступний блок, «Belts» відповідає за запуск конвеєрів дозатору та закупурювача. Конвеєри для обох машин було спеціально розділено, щоб уникнути небажаного простою.

Логіка програми працює наступним чином. Якщо дозатор або закупорювач не працюють, то конвеєр працює нормально. Якщо закупорювач або дозатор працює, то конвеєр зупиняється, чекає поки вони закінчать роботу і запускається знову з затримкою у $\frac{1}{4}$ секунди для зменшення шансу на перекидання тари.

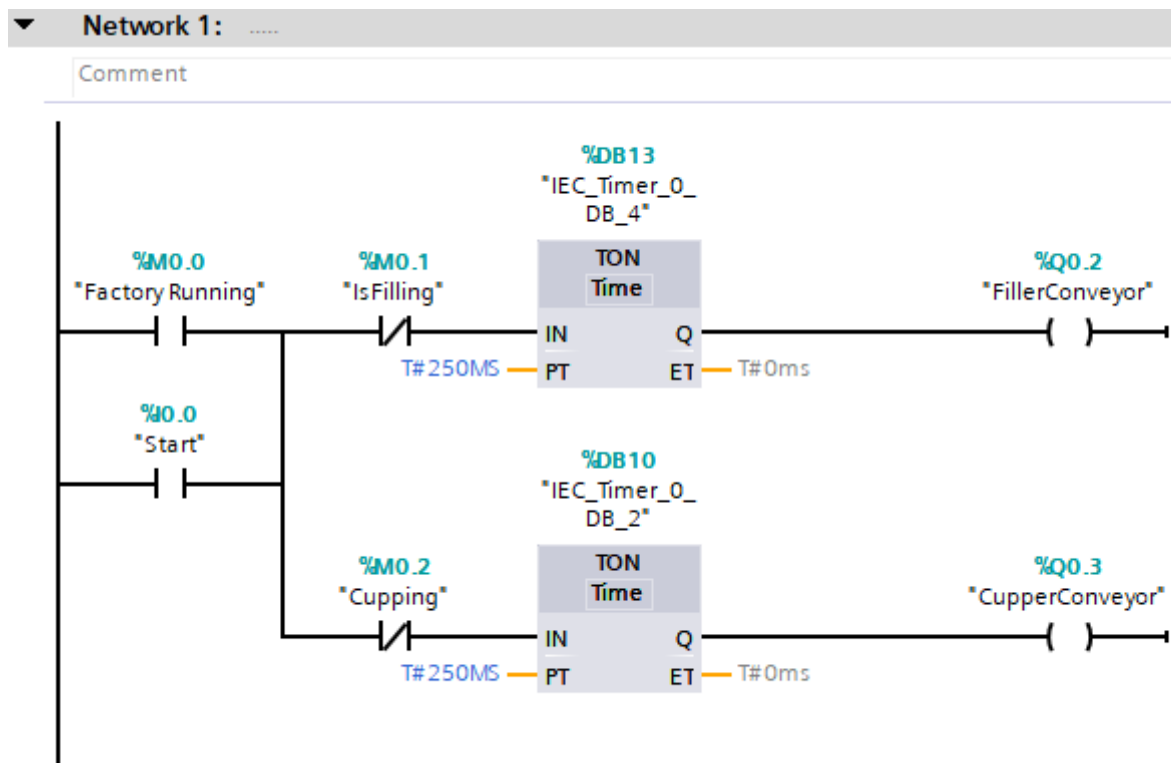


Рисунок 3.11 – Програмний блок «Belts»

Перейдемо до блоку контролю резервуару «Tank»:

Спочатку перевіряється чи запущена система, після цього якщо сигнал з датчику резервуару менше значення 5.0, що означає його напівзаповненість, то збільшується потужність насосу підкачки. Значення потужності насосу обмежено 10.0, тому що при цьому значенні потужність насосу є максимальною.

Якщо рівень резервуару більше 5.0, то потужність насосу поступово зменшується до 0.

Нижня вітка програми відповідає за перетворення аналогового значення з датчику рівня у резервуарі на значення у літрах та передає його на дисплей панелі оператора.

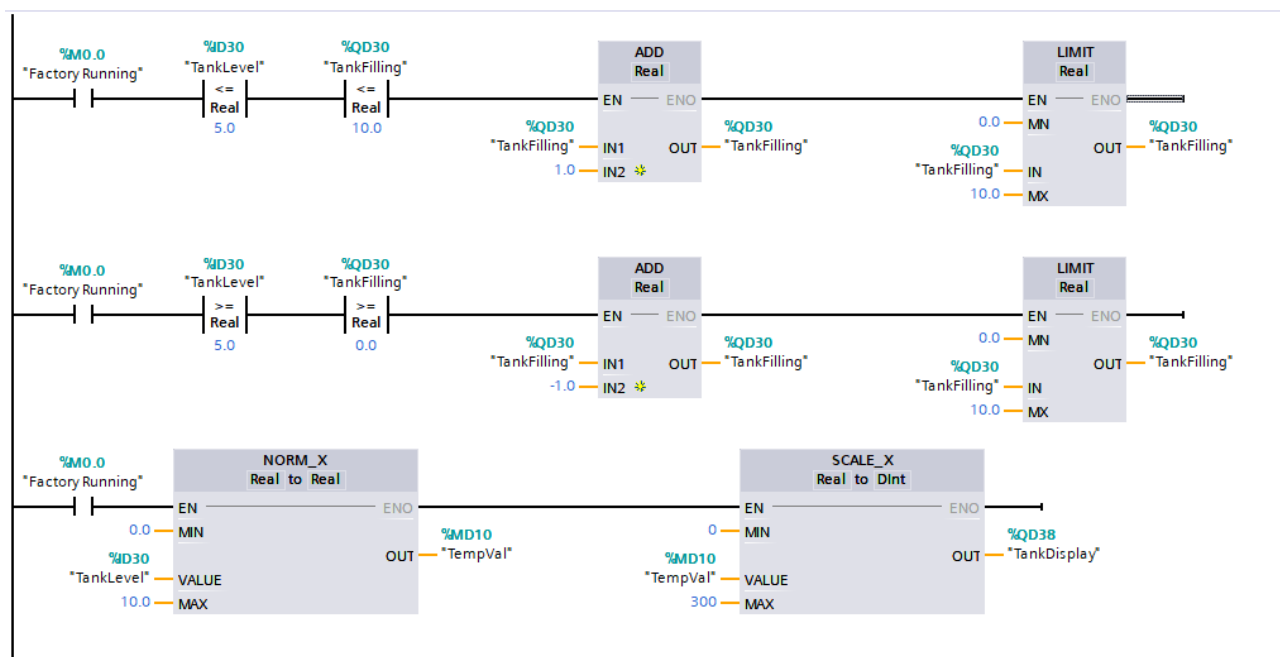


Рисунок 3.12 – Програмний блок «Tank»

Наступний блок, «Dosator», відповідає за контроль дозатором та закупорювачем.

Якщо сенсор дозатору передає позитивне значення про те що тара знаходиться у робочій області, то програма зупиняє конвеєр та запускає процес дозування. У нашому випадку, дозатор починає заповнювати тару молоком зі швидкістю 333мл/с протягом 3 с. По закінченню його роботи, дозатор деактивується та конвеєр продовжує роботу.

Закупорювач працює за такою ж логікою.

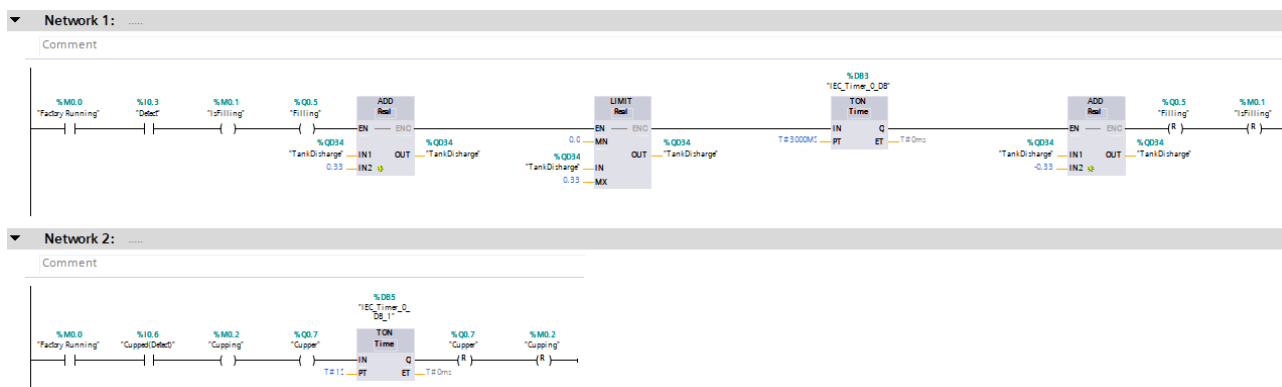


Рисунок 3.13 – Програмний блок «Dosator»

Блок «Weight» відповідає за зважування тари на виході з продуктивної лінії та підрахунок продукту.

Коли сенсор на чеквеєрі передає негативне значення, що означає те що тара знаходиться посередені конвеєрних вагів, то змінна для підрахунку продуктів збільшує своє значення на одиницю і починається зважування. Для більшої точності, перед взважуванням необхідно зупинити конвеєр, тому він зупиняється на дві секунди

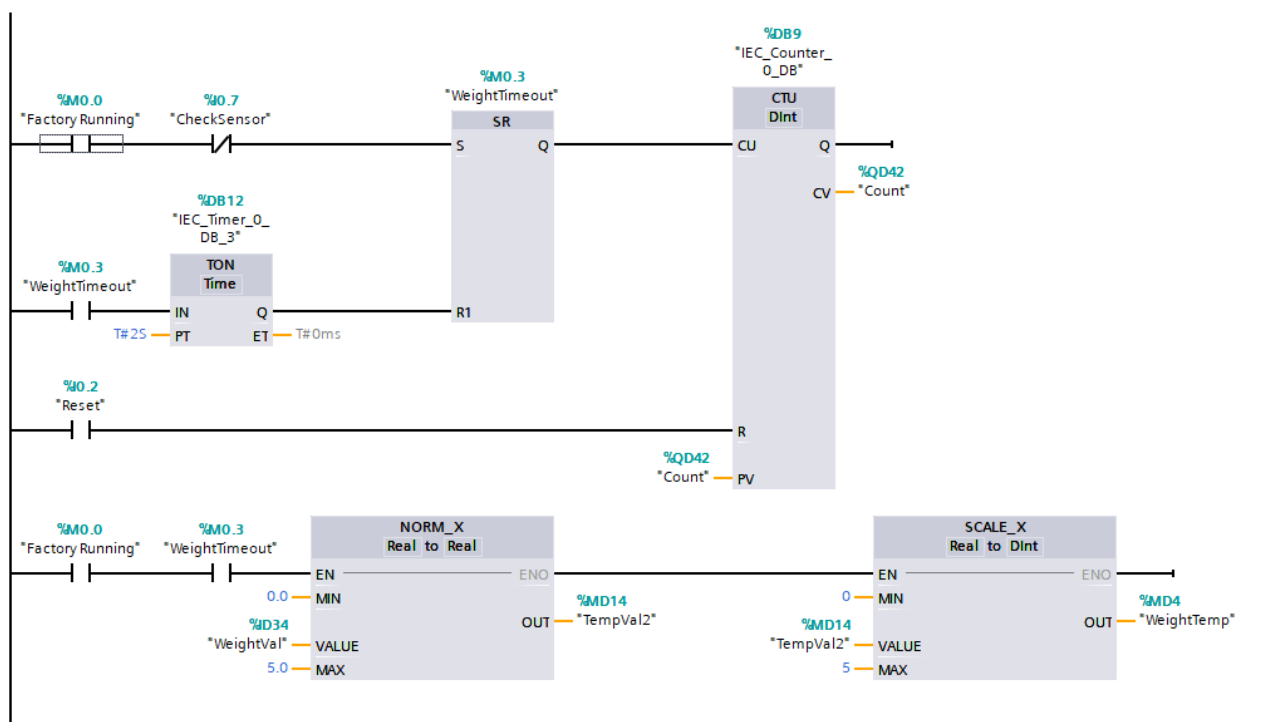


Рисунок 3.14 – Програмний блок «Weight»

За запуск і зупинку чеквеєру відповідає блок «CheckVeyorR». Це простий програмний блок який підтримує чеквеєр активним тоді, коли не відбувається процес зважування.

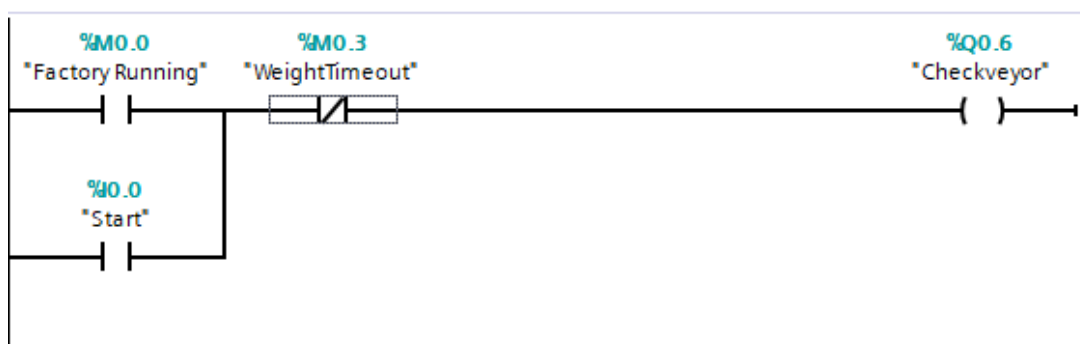


Рисунок 3.15 – Програмний блок «CheckVeyorR»

Після реалізації цих програмних блоків, до першого, «Start System» додано функціонал, який буде скидувати значення змінних до нуля кнопкою Reset.

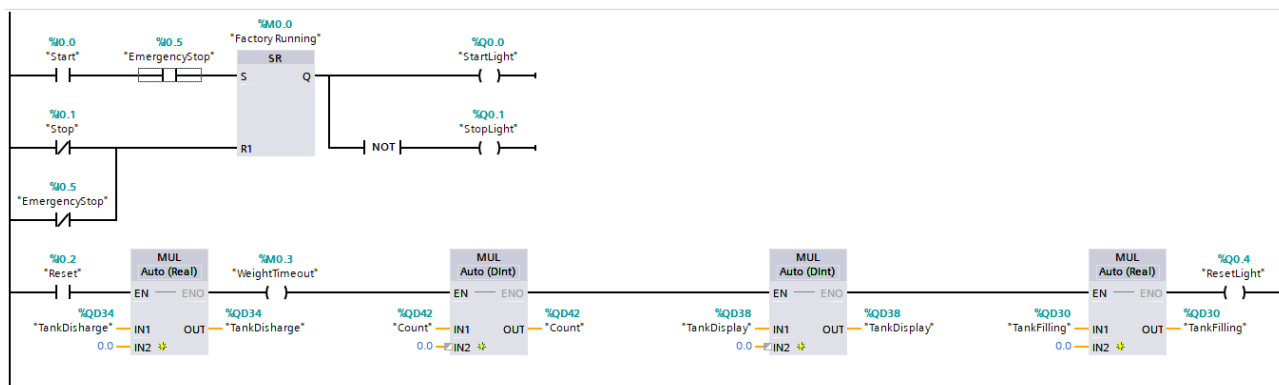


Рисунок 3.16 – Блок «Start System» з функціоналом для скидання

Після завершення етапів розробки ми додаємо згенеровані блоки та функцію до блоку «Main» для правильної компіляції програми та симуляції у Factory IO.



Рисунок 3.17 – Програмний блок «Main»

Рисунок 3.19 ілюструє реалізацію вбудованого блоку «МНІ-PLC-Lab-Function-S71200», який використовується для підключення ПЛК S7-1200 та віртуального ПЛК у Factory ІО.

```

2  □ #Value:=PEEK(area := 16#82,
3     dbNumber := 0,
4     byteOffset := 511);
5  #Value := #Value + 1;
6
7  □ POKE(area := 16#82,
8     dbNumber := 0,
9     byteOffset := 511,
10    value := #Value);
11
12 □ POKE(area:=16#81,
13    dbNumber:=0,
14    byteOffset:=1016,
15    value:=#Value_01_DW);
16 □ POKE(area := 16#81,
17    dbNumber := 0,
18    byteOffset := 1020,
19    value := #Value_02_DW);
20
21 □ POKE(area := 16#81,
22    dbNumber := 0,
23    byteOffset := 511,
24    value := B#16#00);
25
26 □ FOR #forVal := 0 TO 120 DO
27 □   FOR #forVal_2:=0 TO 10 DO
28     #rdTimeReturn:=RD_SYS_T(#outputTime);
29     #rdTimeReturn := WR_SYS_T(#outputTime);
30     #rdTimeReturn := RD_SYS_T(#outputTime);
31     #rdTimeReturn := WR_SYS_T(#outputTime);
32   END_FOR;
33 □   #SyncVal:= PEEK(area := 16#81,
34     dbNumber := 0,
35     byteOffset := 511);
36 □   IF #SyncVal = #CompVal THEN
37     GOTO M_1;
38   END_IF;
39 END_FOR;
40 RETURN;
41
42 M_1:
43 □ POKE(area := 16#81,
44    dbNumber := 0,
45    byteOffset := 511,
46    value := B#16#0);

```

Рисунок 3.18 – Блок «МНІ-PLC-Lab-Function-S71200»

3.5 Створення web інтерфейсу для керування системою

Для забезпечення можливості зв'язку TIA Portal та Node-RED, будемо використовувати бібліотеки node-red-contrib-s7. [25]

Для того, щоб створити візуальний інтерфейс виводу інформації про результати сортування та значення поточних даних з мітки, буде використано бібліотеку node-red-dashboard (див. рис. 18). [26]

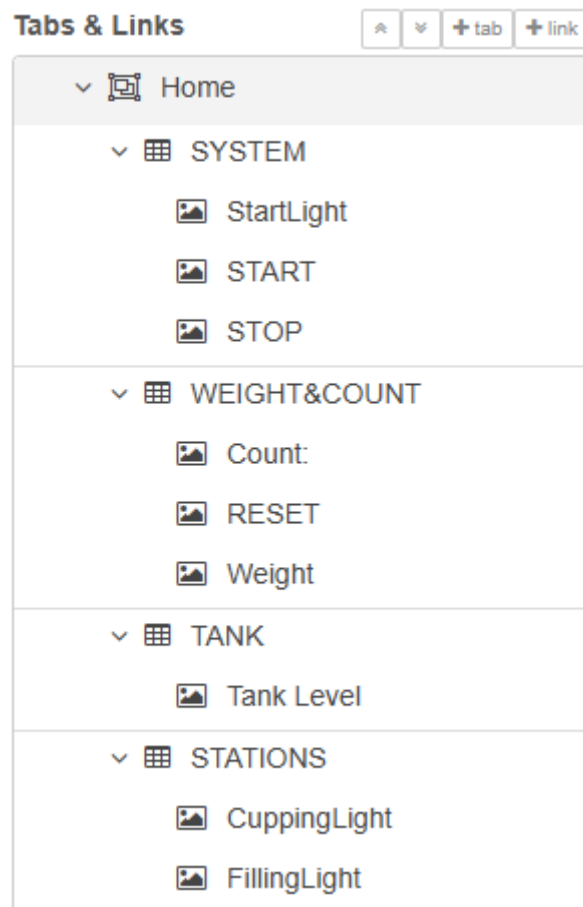


Рисунок 3.19 – Структура візуального інтерфейсу

Реалізація проекту полягає у тому, щоб через web інтерфейсу node-red було можливо керувати системою та отримувати необхідну інформацію про її роботу.

Зв'язок TIA Portal PLCSIM можливий тільки за допомогою програмного продукту NetToPLCsim.

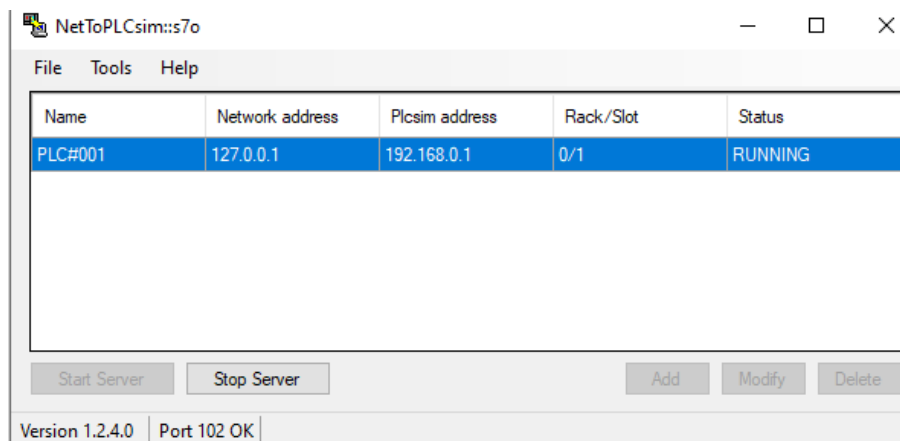


Рисунок 3.20 – NetToPLCsim

Для початку, необхідно налаштувати модуль зв'язку з PLC у node-red і вказати адреси необхідних для передачі тегів.

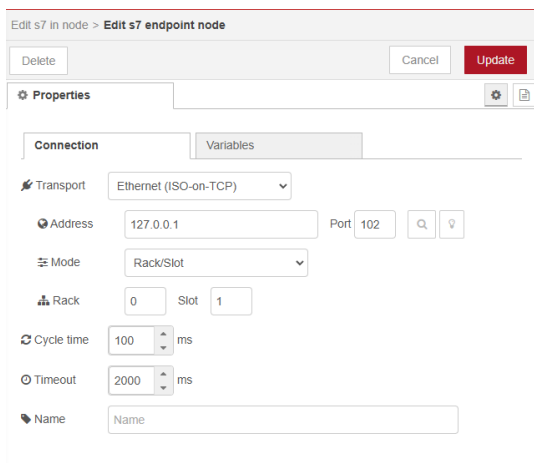


Рисунок 3.21 – Налаштований модуль зв'язку



Рисунок 3.22 – Теги для передачі у node-red

Тепер розробимо проект, який буде передавати значення із TIA Portal до дашборду node-red та із дашборду у TIA Portal

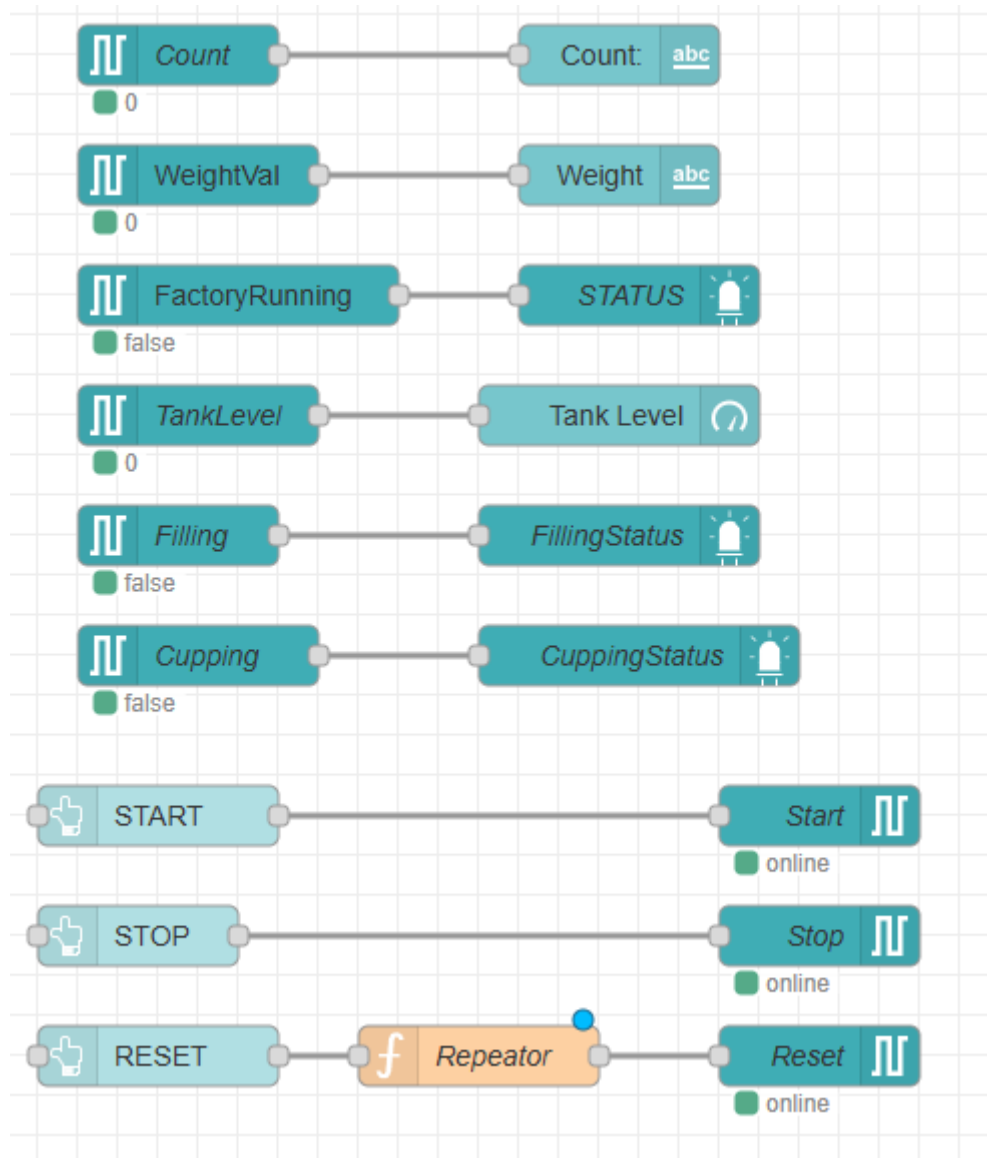


Рисунок 3.23 – Проект по передачі даних

У проекті використовується лише одна функція, тому що усі необхідні операції по перетворенню даних уже виконано в TIA Portal

Функція Repeater виконує задачу по повторенню сигналу для того щоб команда на скидання даних точно надішла до системи без перебоїв

Name Repeater

Setup On Start **On Message** On Stop

```

1 let repeatCount = 10; // Кількість повторів
2 let interval = 100; // Інтервал між повідомленнями в мілісекундах
3
4 let value = msg.payload; // Отримуємо значення, яке потрібно передати
5 let count = 0; // Лічильник відправлених повідомлень
6
7 // Функція для відправки повідомлення
8 let sendMessage = () => {
9   node.send({ payload: value }); // Відправляємо значення
10  count++;
11
12  if (count >= repeatCount) {
13    clearInterval(timer); // Зупиняємо, якщо досягнуто ліміту
14    node.done(); // Завершуємо виконання функції
15  }
16 };
17
18 // Запускаємо таймер
19 let timer = setInterval(sendMessage, interval);
20
21 // Вказуємо, що функція виконується асинхронно
22 return null;
23

```

Рисунок 3.24 – Код функції «Repeater»

Далі проведемо налаштування дашборду для збільшення його зручності та читаємості. Зобразимо фінальний результат.

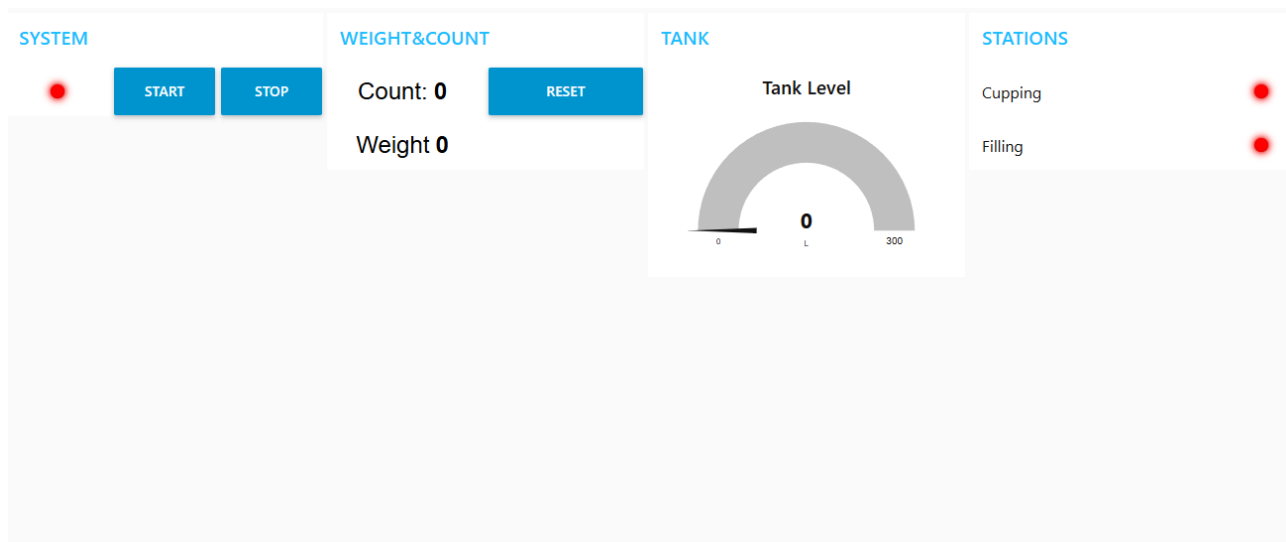


Рисунок 3.25 – Фінальний вигляд дашборду node-red

Для перевірки роботи систем, запустимо віртуальну систему автоматизованої продуктивної лінії по фасуванню молока та порівняємо виведенні дані.

Зобразимо базу даних TIA Portal, панель оператора у Factory IO та дашборд у node-red

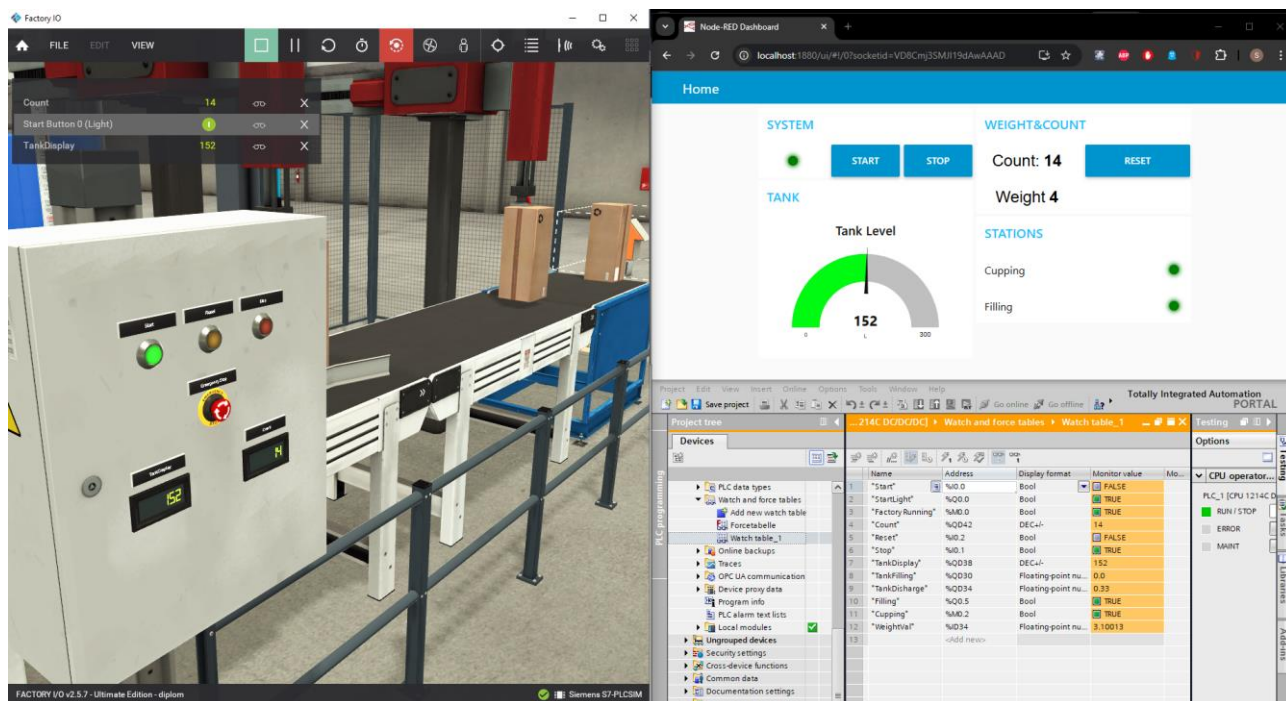


Рисунок 3.26 – Перевірка роботи системи

Система була успішно запущена з дашборду node-red, Данні співпадають у всіх програмах, тож система працює правильно і стабільно.

Висновки до розділу

У третьому розділі дипломної роботи було реалізовано програмно-технічну складову системи автоматизованого управління процесом фасування молока. Зокрема, виконано наступні завдання:

Вибір обладнання:

Обґрунтовано вибір програмованого логічного контролера (PLC) SIEMENS SIMATIC S7-1200, який забезпечує високий рівень гнучкості та інтеграції в системі.

Моделювання продуктивної лінії:

З використанням програмного середовища Factory IO створено віртуальну модель продуктивної лінії, яка імітує всі основні процеси, що реалізуються у фізичній системі.

Програмна реалізація:

У середовищі TIA Portal розроблено програмне забезпечення для автоматизації всіх етапів роботи системи, зокрема блоків керування дозатором, закупорювачем, конвеєрами, резервуаром та чеквеєром.

Інтеграція з web-інтерфейсом:

Створено web-інтерфейс на базі Node-RED для зручного управління системою та моніторингу її параметрів у реальному часі. Налагоджено зв'язок між TIA Portal, PLCSIM та Node-RED.

Тестування системи:

Проведено симуляцію роботи системи у Factory IO. Результати перевірки підтвердили правильність та стабільність роботи розробленого програмного забезпечення, а також відповідність виведених даних у TIA Portal, Factory IO та Node-RED.

Реалізовані рішення забезпечують автоматизацію процесу фасування молока, підвищують продуктивність і точність системи та спрощують її управління за рахунок впровадження сучасних технологій програмування і візуалізації.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту було виконано комплексне дослідження, спрямоване на моделювання та автоматизацію процесів фасування молока і молочних продуктів. У ході роботи досягнуто таких результатів:

Аналіз об'єкта та процесу

Проведено класифікацію обладнання, що використовується для фасування молока у різні види тари, включаючи скляні пляшки, картонні упаковки та поліетиленові пакети. Розглянуто особливості пакувальних матеріалів, забезпечення контролю ваги та використання конвеєрних систем.

Розробка моделі та алгоритму керування

Виконано ідентифікацію об'єкта моделювання та розроблено блок-схему логіки проєкту.

Створено математичну модель процесу, яка враховує його характеристики, такі як точність і вірогідність.

Сформульовано критерії оптимальності, розроблено алгоритми керування та проведено їх тестування.

Реалізація програмного забезпечення

Обґрунтовано вибір програмованого логічного контролера (PLC) для автоматизації лінії.

Розроблено модель продуктивної лінії у середовищі Factory IO для симуляції процесу.

Створено програмне забезпечення для управління лінією у TIA Portal, а також web-інтерфейс у node-red для зручного доступу та моніторингу системи.

Розроблене рішення дозволяє підвищити ефективність процесів фасування молочних продуктів, забезпечуючи точність дозування, оптимізацію роботи обладнання та спрощення процесу моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стоволос, Н. Б., Сідакова, О. В. Управління виробництвом і реалізацією продукції молочного скотарства [Електронний ресурс] // Агросвіт. – 2018. – № 22. – С. 61-65.
2. Комплексні рішення пакування продукції [Електронний ресурс]. URL: <https://flexmash.com/uk/> (дата доступу: 07.02.2024).
3. Власенко, В. В., Головка, М. П., Семко, Т. В., Головка, Т. М. Технологія молока та молочних продуктів: навчальний посібник. Харків: ХДУХТ, 2018. 202 с.
4. Пакувальне обладнання харчової промисловості: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід: науково-допоміжний бібліографічний показник / упоряд. О. В. Олабоді; Нац. ун-т харч. технол., Наук.- техн. б-ка. Київ, 2020. 149 с.
5. Дорохов, М. Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Машини неперервного транспорту». Краматорськ, 2020. 57 с.
6. Головка, М. П., Власенко, І. Г., Головка, Т. М., Семко, Т. В. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР: навчальний посібник. Х.: Світ Книг, 2021. 304 с.
7. Інноваційні технології та обладнання галузі. Переробка продукції рослинництва: посібник-практикум / К. О. Самойчук, С. В. Кюрчев, В. Ф. Ялпачик та ін. Мелітополь: видавничо-поліграфічний центр «Forward press», 2020. 307 с.
8. Зозуляк, І. А., Бандура, В. М., Горбатюк, Р. М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологічне обладнання переробних та харчових виробництв» для підготовки фахівців у вищих навчальних закладах III–IV рівнів акредитації. Вінниця: ВНАУ, 2018. 40 с.
9. Машини та обладнання для переробки сільськогосподарської продукції [Електронний ресурс]. URL:

- [https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/agroinjenerija/machines_and_equipment_for_processing_of_agricultural_products%20\(1\)/machines_and_equipment_for_processing_of_agricultural_products/1/1.7.html](https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/agroinjenerija/machines_and_equipment_for_processing_of_agricultural_products%20(1)/machines_and_equipment_for_processing_of_agricultural_products/1/1.7.html) (дата доступу: 07.02.2024).
10. Федорів, В. М. Конспект лекцій з дисципліни «Пакування харчових продуктів» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 181 «Харчові технології». Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2021. 136 с.
11. "Principles of Checkweighing: A Guide to the Application and Selection of Checkweighers (3rd Edition)". URL: <https://www.packagingstrategies.com/ext/resources/FDP/Home/Files/PDF/PrinciplesofCheckweighing.pdf> (дата доступу: 07.02.2024).
12. Planković, N., Živanić, D. Fundamentals of conveyor belts. Білград, Сербія, 2022. 143 с.
13. Factory I/O official website. URL: <https://docs.factoryio.com/> (дата доступу: 07.02.2024).
14. Node-Red official website. URL: <https://nodered.org/docs/> (дата доступу: 09.02.2024).
15. NPM official website. URL: <https://docs.npmjs.com> (дата доступу: 09.02.2024).
16. Спеціальна інформаційна система УКРНОІВІ. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/679364/> (дата доступу: 08.02.2024).
17. Спеціальна інформаційна система УКРНОІВІ. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/238941/> (дата доступу: 08.02.2024).
18. Google Patents. URL: [https://patents.google.com/patent/JP5421774B2/en?q=\(Milk+packing+line\)&oq=Milk+packing+line](https://patents.google.com/patent/JP5421774B2/en?q=(Milk+packing+line)&oq=Milk+packing+line) (дата доступу: 08.02.2024).
19. Google Patents. URL: [https://patents.google.com/patent/US8424723B2/en?q=\(Milk+packing+line\)&oq=Milk+packing+line](https://patents.google.com/patent/US8424723B2/en?q=(Milk+packing+line)&oq=Milk+packing+line) (дата доступу: 08.02.2024).

20. Google Patents. URL:
[https://patents.google.com/patent/US11827402B2/en?q=\(packaging+milk\)&after=priority:20130101&oq=\(packaging+milk\)+after:priority:20130101](https://patents.google.com/patent/US11827402B2/en?q=(packaging+milk)&after=priority:20130101&oq=(packaging+milk)+after:priority:20130101) (дата доступу: 08.02.2024).
21. Oscar Andreas, Angulo Pinzon Modeling of Dosator Filling and Discharge. University of Greenwich, August 2012
22. Дозувальні насоси. URL:
<https://dosingpump.shop/en/>
23. Jianhua Ji1, , Changyun MiaoID, Xianguo Li. Research on the energy-saving control strategy of a belt conveyor with variable belt speed based on the material flow rate. Tianjin University, CHINA. January 28, 2020
24. Factory IO Manual. URL: <https://docs.factoryio.com/manual/> (дата доступу: 22.11.24).
25. A Node-RED node to interact with Siemens S7 PLCs. URL:
<https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-s7> (дата доступу: 22.11.24).
26. A set of dashboard nodes for Node-RED. URL:
<https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard> (дата доступу: 22.11.24).
27. ІДЕНТИФІКАЦІЯ та моделювання об'єктів автоматизації: Конспект лекцій для студ. спец. 6.092500 «Автоматизовані системи управління технологічними процесами», 6.092500 «Комп'ютерно-інтегровані процеси та виробництва» напряму 0925 «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» / Уклад.: В.Д. Кишенько – К.: НУХТ, 2007.-102 с.
28. Gentle J. Random Number Generation and Monte Carlo Methods. Springer-Verlag NY, 1998.
29. S7-1200 Programmable controller 4 System Manual, V4.3.0 02/2019, A5E02486680-AM
30. Офіційний сайт IRCOM ЕКТ URL: <https://ircom.ua/uk/automatic-filling-machines/i01600001/#characteristics> (дата доступу: 22.11.24)