

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

ШЕВЧУК Богдан Михайлович

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РОЗФАСОВКИ РІДКИХ ПРОДУКТІВ / AUTOMATED
LIQUID PRODUCT PACKAGING SYSTEM

спеціальність: 174 — Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Магістерська робота

Виконав студент групи АКІТм-21
Б.М. Шевчук

Науковий керівник:
к.т.н., О.М. Заставний

Магістерську роботу допущено до захисту:
" ____ " _____ 2024р.

Завідувач кафедри
_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2024

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"
спеціальність: 174 — Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
"_____" _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ШЕВЧУК Богдан Михайлович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Автоматизована система розфасовки рідких продуктів / Automated liquid product packaging system.

керівник роботи к.т.н., О.М. Заставний

затверджені наказом по університету від 12 грудня 2023 р. № 753

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

30 листопада 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Методи дозування рідких продуктів
2. Типи дозаторів та принципи їх роботи
3. Промислові прилади фасування рідких продуктів

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Аналіз систем розфасовки рідких продуктів
2. Проектування системи розфасовки рідких продуктів
3. Розроблення модулів системи розфасовки рідких продуктів

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна схема системи дозування рідин
2. Функціональна схема системи розфасовки рідких продуктів
3. Блок-схема алгоритму роботи програми

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	О.М. Заставний, ст.викл кафедри СКС		
2	О.М. Заставний, ст.викл кафедри СКС		
3	О.М. Заставний, ст.викл кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	1. Аналіз систем розфасовки рідких продуктів	12.2023р. – 02.2024р.	
2	2. Проектування системи розфасовки рідких продуктів	03.2024р. – 06.2024р.	
3	3. Розроблення модулів системи розфасовки рідких продуктів	07.2024р. – 11.2024р.	
	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату та виправлення недоліків	01.11.2024– 30.11.2024	

Студент

(підпис)

Б.М. Шевчук

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., О.М. Заставний

АНОТАЦІЯ

Шевчук Богдан Михайлович. Автоматизована система розфасовки рідких продуктів.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 174 — Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійна програма - Автоматизація та програма комп'ютерно-інтегровані технології. - Західноукраїнський національний університет, Тернопіль. 2024.

В роботі розроблено концепцію автоматизованої системи для розфасовки рідких продуктів, що відповідає сучасним вимогам точності, продуктивності та безпеки. Створено технічний проект системи, включаючи вибір обладнання, архітектуру управління та алгоритми роботи. Реалізовано програмне забезпечення для управління процесами дозування та фасування, що забезпечує високу точність і стабільність роботи системи. Інтегровано датчики і виконавчі механізми, які дозволяють контролювати параметри розфасовки (об'єм, швидкість, щільність продукту). Проведено тестування та оптимізацію системи, що продемонструвало її здатність працювати з різними типами рідких продуктів із мінімальними відхиленнями в дозуванні.

ANNOTATION

Shevchuk B.M. Automated liquid product packaging system.

Research for obtaining a master's degree in the specialty 174 - Automation computer-integrated technologies and robotics, educational and professional program- Automation and computer-integrated technologies. - Western Ukrainian National University, Ternopil. 2024.

The work developed a concept of an automated system for packaging liquid products that meets modern requirements for accuracy, productivity and safety. A technical design of the system was created, including the selection of equipment, control architecture and operating algorithms. Software was implemented to control the dosing and packaging processes, which ensures high accuracy and stability of the system. Sensors and actuators were integrated, which allow controlling the packaging parameters (volume, speed, product density). The system was tested and optimized, which demonstrated its ability to work with different types of liquid products with minimal deviations in dosing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ РОЗФАСОВКИ РІДКИХ ПРОДУКТІВ.....	9
1.1 Типи та методи дозування рідких продуктів.....	9
1.2 Аналіз промислових приладів фасування рідких продуктів	16
1.3 Вимоги до проекрованої системи розфасовки рідких продуктів	21
2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗФАСОВКИ РІДКИХ ПРОДУКТІВ.....	23
2.1 Розроблення структури системи розфасовки рідких продуктів.....	23
2.2 Аналіз механізмів піноутворення та методи боротьби з ними при розфасовці рідин	26
3. РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛІВ СИСТЕМИ РОЗФАСОВКИ РІДКИХ ПРОДУКТІВ	32
3.1 Вибір компонентів для проекрованої системи	32
3.2 Розроблення програмного забезпечення	44
ВИСНОВКИ	50
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
Додатки	53

ВСТУП

Актуальність теми. Автоматизація виробничих процесів є одним із ключових напрямів розвитку сучасної промисловості, що сприяє підвищенню ефективності, якості продукції та зниженню витрат. Система розфасовки рідких продуктів є невід'ємною складовою багатьох галузей, зокрема харчової, фармацевтичної та хімічної, де точність дозування та мінімізація втрат є критично важливими.

Сучасні вимоги до якості продукції та її відповідності міжнародним стандартам, а також необхідність зменшення впливу людського фактора на виробничий процес обумовлюють потребу у впровадженні автоматизованих систем.

Крім того, розвиток технологій енергоефективності та інтеграції IoT у виробничі процеси відкриває нові можливості для оптимізації витрат та підвищення надійності таких систем. Розробка і впровадження автоматизованої системи розфасовки рідких продуктів відповідає сучасним тенденціям цифровізації промисловості, що робить дану тему дослідження особливо актуальною.

Мета і завдання дослідження. Розробка автоматизованої системи розфасовки рідких продуктів, що забезпечує високу точність дозування, продуктивність та надійність, із застосуванням сучасних технологій автоматизації та оптимізації виробничих процесів.

Для цього потрібно:

Провести аналіз існуючих систем розфасовки рідких продуктів для визначення їх переваг, недоліків та ключових вимог до автоматизації.

Розробити технічний проєкт системи, включаючи архітектуру управління, вибір компонентів та алгоритмів роботи.

Провести вибір і налаштування апаратного забезпечення, такого як датчики, виконавчі механізми, дозатори та контролери.

Розробити програмне забезпечення для управління системою, забезпечення точності дозування та стабільності процесу.

Об’єкт дослідження: процес розфасовки рідких продуктів у виробничих умовах із застосуванням автоматизованих систем управління.

Предметом дослідження є автоматизована система управління процесом розфасовки рідких продуктів, включаючи апаратне та програмне забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів: в роботі запропоновано використання окремого модуля піногасіння в системі розливу рідких пінних продуктів, що дозволяє значно підвищити продуктивність її роботи.

Практичне значення отриманих результатів: в даній роботі проведено аналіз існуючих рішень систем розливу рідких продуктів та їх характеристик, виконано розроблення структурної та функціональної схем системи. Дане рішення дозволяє доволі простими засобами значно підняти продуктивність системи наливу рідини в порівнянні з іншими існуючими на ринку, що робить таку систему недорогою, простою в обслуговуванні та високоефективною.

Апробація.

Шевчук Б.М., Родзь Я.Т., Заставний О.М Аналіз механізмів піноутворення та методи боротьби з ними при розфасовці рідин / Збірник матеріалів науково-практичного симпозіуму «Технології Інтернету речей: системи та рішення» (ТІР СТ - 2024), Тернопіль, 2024. – С. 20-24

Аналіз методів забезпечення безпеки в безпроводних сенсорних мережах / Шевчук Б.М., Родзь Я. Т., Бернась З.Б., Заставний О.М. // Збірник матеріалів науково-практичного симпозіуму «Захист інформації».- Тернопіль.- 2024.- С. 127-130.

1. АНАЛІЗ СИСТЕМ РОЗФАСОВКИ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

1.1 Типи та методи дозування рідких продуктів

Системи розфасовки рідких продуктів класифікуються за різними критеріями залежно від їх конструктивних особливостей, принципу роботи, типу продукту, а також умов застосування. Відповідно їх можна поділити за наступними критеріями: за принципом дозування; за типом упаковки; за типом продукту; за типом приводу; за ступенем автоматизації; за способом заповнення упаковки.

Оскільки в якості розроблюваної системи для відповідних задач буде розроблятися відповідна система дозування продукту, то слід розглянути основні методи дозування та їх переваги і недоліки.

Для цього слід розглянути принципи дозування рідких продуктів. За принципом дозування можна виділити 3 основних принципи дозування:

- Об'ємне дозування;
- Вагове дозування;
- Часове дозування.

Принцип об'ємного дозування полягає у визначенні кількості рідини за її об'ємом, незалежно від густини чи в'язкості продукту. Цей метод забезпечує точне та стабільне дозування і широко використовується для фасування рідин з однорідними властивостями.

Основні етапи роботи об'ємного дозатора[12] найпростіше розглянути на основі роботи поршневого дозатора, які набули найбільшої популярності серед об'ємних дозаторів (рисунок 1.1).

Отже в роботі даного дозатора можна виділити наступні етапи:

Заповнення дозувальної камери - Рідина надходить у спеціальну камеру або циліндр із певним об'ємом (рисунок 1.1 а). Заповнення може здійснюватися самопливом (гравітаційно) або за допомогою насоса.

Вимірювання об'єму - Камера заповнюється до заздалегідь заданого рівня, що відповідає необхідному об'єму рідини. Механізм може мати регулювання об'єму шляхом зміни довжини ходу поршня або розміру камери.

Випуск дозованої рідини - Рідина виштовхується із камери через клапан або сопло в упаковку (рисунок 1.1 б). Цей процес може виконуватися за допомогою: Поршня (поршневі дозатори)[14]. Роторного механізму (роторні дозатори).

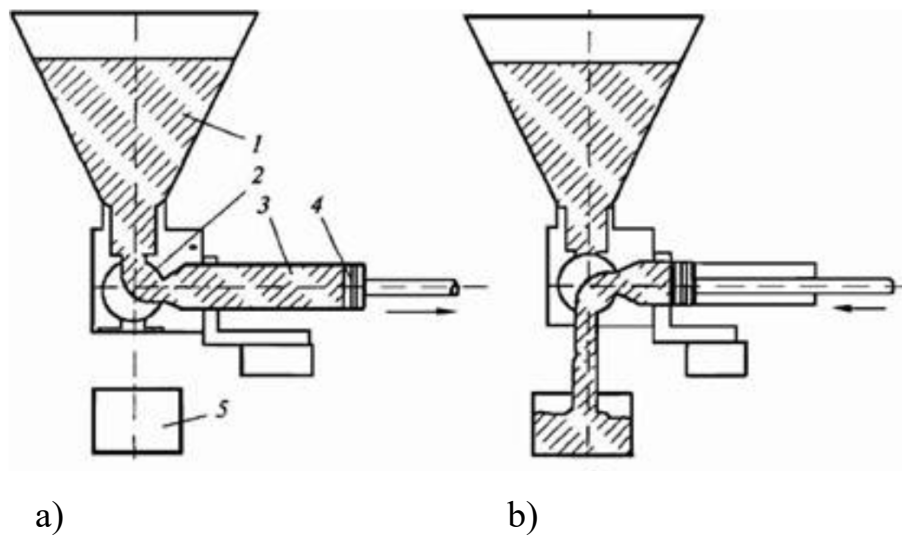


Рисунок 1.1 – Принцип роботи поршневого дозатора. а – етап заповнення об’ємної камери. б – етап наповнення тари.

Також до класу об’ємних дозаторів відносяться роторні, шестерневі та плунжерні помпи.

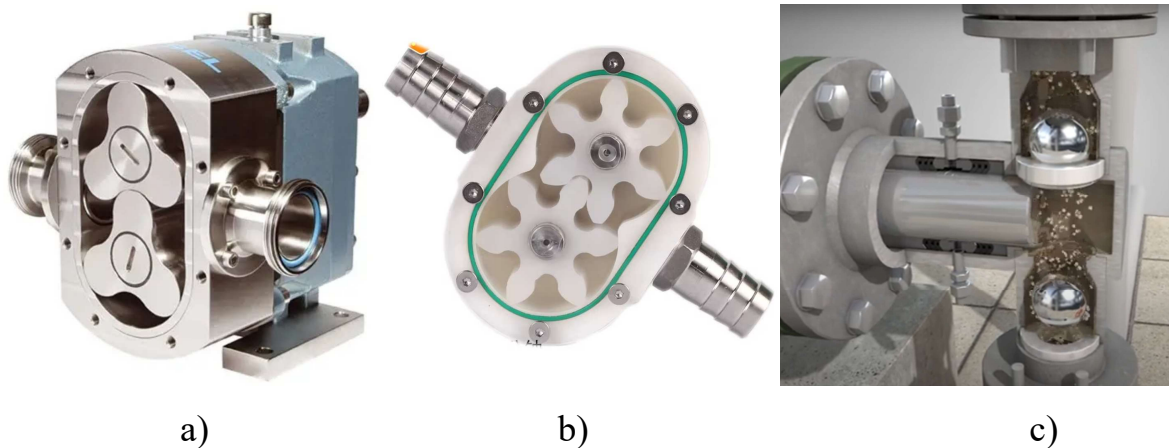


Рисунок 1.2 – об’ємні помпи: а) роторна; б) шестернева; с) плунжерна

Найбільш зрозумілим є принцип роботи поршневого дозатора, хоча плунжерний також найбільш схожий до нього інші наприклад роторний та шестерневий також належать до цього класу оскільки за один оберт дозволяють переміщувати визначений певний об’єм дозованої речовини.

Поршневі насоси та плунжерні насоси – це об’ємні насоси, які використовують плунжер або поршень для переміщення середовища через циліндричну камеру. Плунжер або поршень приводиться в дію паровим, пневматичним, гідравлічним або електричним приводом.

Роторно-поршневі та плунжерні насоси використовують кривошипно-шатунний механізм для створення зворотно-поступального руху вздовж осі, який потім створює тиск у циліндрі чи робочій стовбурі, щоб проштовхнути газ або рідину через насос. Тиск у камері приводить у дію клапани як у точках всмоктування, так і на виході. Плунжерні насоси використовуються в програмах, які можуть коливатися від 70 до 2070 бар (1000-30 000 psi). Поршневі насоси використовуються в системах з низьким тиском. Об’єм рідини, що випускається, дорівнює площі поршня або поршня, помноженій на довжину його ходу. Загальну продуктивність поршневих насосів і плунжерних насосів можна розрахувати за площею поршня або плунжера, довжиною ходу, кількістю поршнів або плунжерів і швидкістю приводу. Потужність, необхідна від приводу, пропорційна тиску та потужності насоса. [1]

Ущільнення є невід’ємною частиною поршневих насосів і плунжерних насосів для відділення силової рідини від середовища, яке перекачується. Сальник або сальник використовується для ущільнення з’єднання між посудиною, куди передається середовище, і плунжером або поршнем. Сальник може складатися з втулок, сальникових або ущільнювальних кілець і сальника.

Матеріали комплектуючих плунжерних насосів вибираються з урахуванням зносу і контакту з типом середовища. Матеріали компонентів включають бронзу, латунь, сталь, нержавіючу сталь, залізо, нікелевий сплав або інші матеріали. Наприклад, плунжерні насоси, які функціонують у загальному обслуговуванні або в масляних системах, часто мають залізний циліндр і плунжер. Плунжер, випускні та всмоктувальні клапани контактують із середовищем, що передається, а вибір матеріалу залежить від рідини, що передається. В енергетичних системах, де потрібні плунжерні насоси безперервної роботи, тверді керамічні плунжери

можуть використовуватися при контакті з водою та маслом, але вони можуть бути несумісними з висококіслотними типами середовищ.

Шестеренчастий насос використовує зачеплення шестерень для перекачування рідини шляхом витіснення [1]. Вони є одними з найпоширеніших типів насосів для гідравлічної рідини. Шестеренчастий насос був винайдений близько 1600 року Йоганном Кеплером.

Шестеренні насоси також широко використовуються в хімічних установках для перекачування високов'язких рідин. Є два основних варіанти: насоси із зовнішнім зубчастим колесом, у яких використовуються дві зовнішні прямозубі шестерні, і насоси з внутрішнім зубчастим колесом, які використовують зовнішню та внутрішню прямозубі шестерні (зуби внутрішньої прямозубої шестерні звернені всередину, див. нижче). Шестеренні насоси забезпечують позитивний об'єм (або фіксований об'єм), тобто вони перекачують постійну кількість рідини для кожного оберту. Деякі шестеренні насоси призначені для роботи або як двигун, або як насос.

Коли шестерні обертаються, вони відокремлюються на стороні всмоктування насоса, утворюючи порожнечу та всмоктуючий канал, який заповнюється рідиною. Рідина переноситься шестернями до сторони нагнітання насоса, де зачеплення шестерень витісняє рідину. Механічні зазори невеликі — близько 10 мкм. Невеликі зазори разом зі швидкістю обертання ефективно запобігають витoku рідини назад.

Жорстка конструкція редукторів і корпусів забезпечує дуже високий тиск і здатність перекачувати високов'язкі рідини.

Існує багато варіацій, у тому числі гвинтові та ялинкові набори передач (замість циліндричних передач), пелюсткові ротори, схожі на повітродувки Рутса (зазвичай використовуються як нагнітачі), а також механічні конструкції, які дозволяють штабелювати насоси.

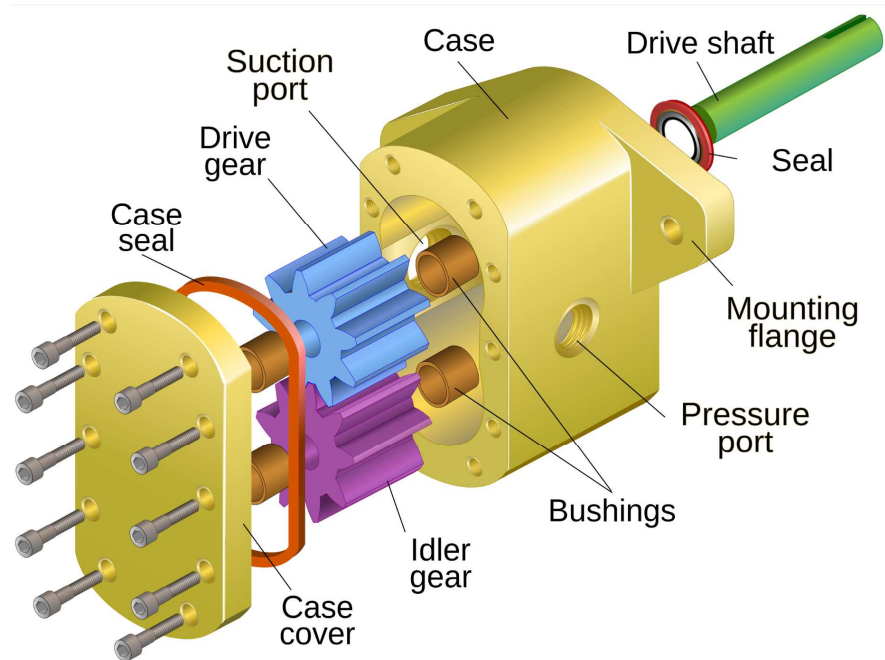


Рисунок 1.3 – Шестерневий насос

Зовнішні прецизійні шестеренчасті насоси зазвичай обмежуються максимальним робочим тиском близько 210 бар (21000 кПа) і максимальною швидкістю обертання близько 3000 об/хв. Деякі виробники виробляють шестеренчасті насоси з вищим робочим тиском і швидкістю, але ці типи насосів, як правило, шумні, тому, можливо, знадобляться спеціальні запобіжні заходи.

Шестеренні насоси, як правило, дуже ефективні, особливо в системах високого тиску.

Фактори, що впливають на ефективність:

Зазори: Геометричні зазори на кінці та зовнішньому діаметрі шестерень забезпечують витік і зворотний потік. Однак іноді більші зазори допомагають зменшити гідродинамічне тертя та підвищити ефективність.

Люфт шестерень: високий люфт між шестернями також сприяє витоку рідини. Однак це допомагає зменшити витрати енергії на захоплення рідини між зубцями шестерні (відоме як захоплення тиском).

Перистальтичний насос, також широко відомий як роликовий насос, є типом об'ємного насоса, який використовується для перекачування різноманітних рідин. Рідина міститься в гнучкій трубці, встановленій всередині корпусу круглого

насоса. Більшість перистальтичних насосів працюють завдяки обертальному руху, хоча виготовляються також лінійні перистальтичні насоси. Ротор має ряд «очисників» або «роликів», прикріплених до його зовнішнього кола, які стискають гнучку трубку, коли вони обертаються. Стиснута частина труби закрита, змушуючи рідину рухатися через трубу. Крім того, коли трубка відкривається до свого природного стану після проходження роликів, у трубку втягується більше рідини. Цей процес називається перистальтикою і використовується в багатьох біологічних системах, таких як шлунково-кишковий тракт. Як правило, буде два або більше роликів, які стискають трубу, захоплюючи тіло рідини між ними. Тіло рідини транспортується через трубку до вихідного отвору насоса. Перистальтичні насоси можуть працювати безперервно, або вони можуть індексуватися через часткові оберти для подачі меншої кількості рідини.

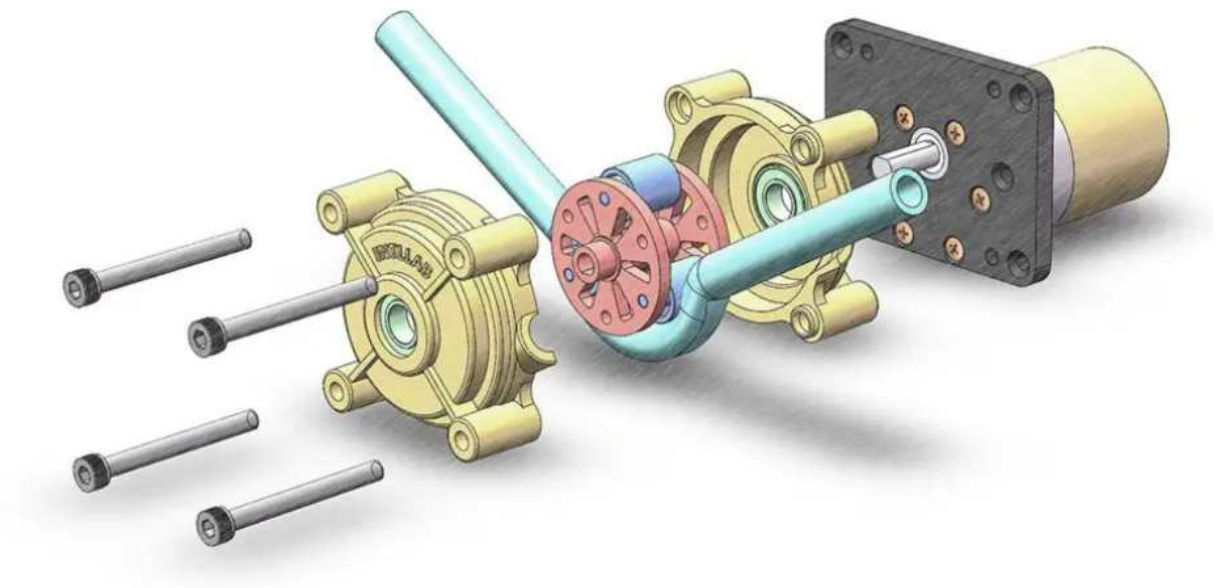


Рисунок 1.3 – Перистальтичний насос

Перистальтичні насоси зазвичай використовуються для перекачування чистих/стерильних або високоактивних рідин, не піддаючи ці рідини забрудненню від відкритих компонентів насоса. Деякі поширені застосування включають перекачування внутрішньовенних рідин через інфузійний пристрій, аферез, високоактивні хімічні речовини, суспензії з високим вмістом твердих речовин та інші матеріали, де ізоляція продукту від навколишнього середовища є критичною.

Таким чином в даному параграфі розглянуті основні засоби які зазвичай використовуються при дозуванні рідких продуктів.

Ось ключові аспекти кожного типу:

1. Поршневий дозатор

Принцип роботи: Поршень у циліндрі створює об'єм для точного дозування рідини.

Переваги:

- Висока точність дозування (похибка $\leq \pm 1\%$).
- Здатність працювати з рідинами різної в'язкості.
- Механічна простота та довговічність.

Недоліки:

- Може вимагати регулярного обслуговування ущільнювачів поршня.

Рекомендації: Підходить для дозування склоомивача з різною температурою та щільністю, особливо для великих об'ємів.

2. Мембранний дозатор

Принцип роботи: Рух мембрани створює тиск для переміщення рідини через дозуючу систему.

Переваги:

- Стійкість до агресивних хімічних речовин, які можуть міститися в склоомивачі (наприклад, спирт або миючі засоби).
- Відсутність прямого контакту механізмів із рідиною, що знижує ризик корозії.
- Ефективність при роботі з великими потоками.

Недоліки:

- Похибка може бути трохи вищою, ніж у поршневого дозатора.

3. Інші варіанти дозаторів:

Гравітаційний дозатор: Найпростіший і найдешевший варіант, але точність залежить від постійного рівня рідини. Підходить лише для невимогливих систем.

Перистальтичний дозатор: Забезпечує відмінну хімічну стійкість і гнучкість у налаштуванні, але може бути дорогим і не завжди ефективним для високопродуктивних ліній.

1.2 Аналіз промислових приладів фасування рідких продуктів

На ринку представлена чимала кількість дозаторів різного типу, зокрема і поршневих. Один з таких пристроїв представлений на рисунку 1.4, це поршковий дозатор компанії CLM.

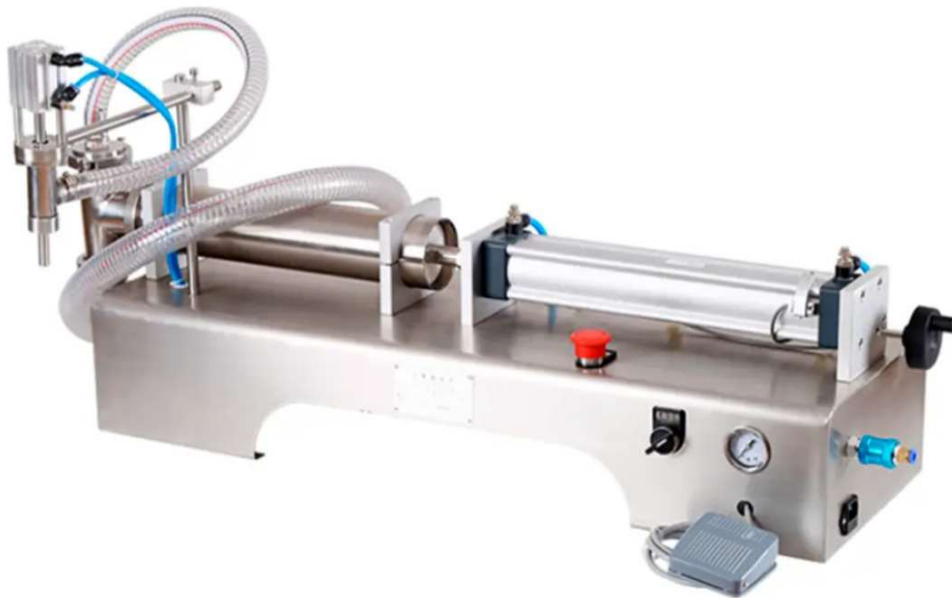


Рисунок 1.4 – Дозатор поршковий рідких продуктів LPF-500

Технічні характеристики даного пристрою наведені на рисунку 1.5

Основні	
Виробник	CLM
Максимальна продуктивність	18 шт./хв
Тип дозатора	об'ємний дозатор з телескопічними чашками
Похибка дозування	1 %
Споживана потужність	20 кВт
Матеріал	Нержавіюча сталь
Тиск повітря	0.6 бар
Підходить для:	Молоко, Сік, Вода, Алкоголь, Компот, Олія оливкова, Спирт, Антисептик, Будь-які рідкі з не високою в'язкістю
Управління	Педаль
Діапазон дозування	50 - 500 мл
Параметри мережі	
Напруга	220 В
Загальні параметри	
Вага	20 кг
Довжина	77 мм
Ширина	65 мм
Висота	25 мм

Рисунок 1.5 – Технічні характеристики LPF-500

На рисунку 1.7 наведено зовнішній вигляд дозуючого пристрою УФП-25А-Д [5] компанії Valenko. Особливістю даного пристрою є те що в ньому реалізовано носик що опускається при наливі продукту, такий механізм дозволяє розливати продукти що піняться, технічні характеристики наведені на рисунку 1.6.

Характеристика	Значення
Продуктивність, доз/хв.	до 18
Густота продукту, СР до	8000
Встановлена потужність, кВт	0,15 кВт
Витрата стисненого повітря, літрів/хв	8
Робочий тиск у мережі, bar	6 + 0,5
Електрична мережа	1- фазна 220 V; 50Гц
Режим роботи обладнання	напівавтоматичний
Похибка дозування, %	до 1% від номіналу
Загальне виконання	нержавіюча сталь Aisi 304
Персонал	1
Гарантія, місяців	12

Рисунок 1.6 – Технічні характеристики пристрою УФП-25А-Д



Рисунок 1.7 – Дозуючий пристрій УФП-25А-Д

Для встановлення дози продукту зазвичай встановлюють магнітний сенсор біля поршня актуатора рухаючи який вздовж поршня можна визначати місце спрацювання автоматики і таким чином задавати дозу продукту, на рисунку 1.8 наведено кріплення сенсора біля циліндра актуатора.



Рисунок 1.8 – Кріплення сенсора біля циліндра актуатора.

Зазвичай сенсор кріпиться за допомогою гвинтової передачі, що дозволяє його переміщувати за допомогою ручних органів керування (рисунок 1.9)



Рисунок 1.9 – Ручка налаштування дози

Таким чином можна налаштувати дозу для даного дозатора чи підлаштувати її, лінійка нанесена на циліндрі дозволяє змінювати дози для інших ємностей та зазвичай має умовний характер, тобто після налаштування потрібної дози дозволяє записати в журнал це значення, що дозволяє мати покази для різної тари та скоротити процес переналаштування.

На рисунку 1.10 наведено промисловий дозатор ДЖМ-1.



Рисунок 1.10 - Промисловий дозатор ДЖМ-1

Даний дозатор використовує звичайну помпу та лічильник для дозування рідинних продуктів.

Також для фасування невеликих об'ємів 5-50мл широко використовуються перестальтичні помпи, які не контактують з речовиною що наповнюється, але зазвичай мають доволі низьку продуктивність.

1.3 Вимоги до проекрованої системи розфасовки рідких продуктів

Проведений аналіз показує що на ринку представлено досить широкий спектр дозаторів, який базується на різних принципах дозування, тим не менше з одного боку як свідчить практика універсальних засобів та систем не існує. А також важливим розвиток систем та їх інтеграція в сучасні реалії сучасного підприємства, які мають йти в ногу з часом та забезпечувати просту інтеграцію з іншими системами, які швидко розвиваються в напрямку IoT систем та хмарних платформ, що дозволяє забезпечити гнучкість, процес моніторингу та аналітики.

З вище сказаного можна сформулювати наступні вимоги до проекрованої системи:

Система повинна забезпечувати точне дозування рідкого продукту відповідно до заданих параметрів. Вона має підтримувати налаштування об'єму дозування, можливість роботи з різними типами рідин (в'язкі, рідкі, газовані) та різними типами тари (пластикові, скляні, металеві ємності). Процес дозування повинен бути синхронізований із транспортною системою для мінімізації простоїв.

Система повинна бути зручною для оператора, включаючи наявність інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу управління, який дозволяє задавати параметри роботи, переглядати стан системи та отримувати повідомлення про помилки. Конструкція системи повинна забезпечувати легкість обслуговування, включаючи швидкий доступ до дозатора, фільтрів та інших вузлів.

Проектована система має працювати зі швидкістю, достатньою для обслуговування виробничих ліній високої продуктивності. Вимоги до продуктивності залежать від галузі застосування, але базові показники можуть включати швидкість розфасовки від 30 до 1000 одиниць на годину залежно від типу продукту та об'єму тари.

Система повинна забезпечувати високу точність дозування, щоб відхилення від заданого об'єму не перевищувало $\pm 1\%$. Це особливо критично для рідин із високою вартістю або в медичній і фармацевтичній галузях.

Система повинна мати низьке енергоспоживання за рахунок використання

енергоефективних компонентів, таких як сучасні насоси, приводи та контролери. Вона також повинна підтримувати режими енергозбереження під час простоїв.

Система повинна бути розроблена з урахуванням стандартів надійності, включаючи стійкість до перепадів напруги, наявність аварійного зупинення та датчиків для запобігання переливанню. Матеріали, що контактують із продуктом, повинні бути виготовлені з харчових або хімічно стійких матеріалів (нержавіюча сталь, полімери), щоб уникнути забруднення продукту.

Система повинна мати модульну архітектуру, яка дозволяє легко додавати або замінювати компоненти, наприклад, змінювати дозатор або оновлювати програмне забезпечення. Це забезпечує гнучкість у випадку розширення виробництва чи зміні вимог.

Проектована система повинна підтримувати інтеграцію з хмарними платформами та IoT-системами для збору даних, моніторингу процесу та аналітики. Вона також має забезпечувати можливість роботи в автоматизованих лініях спільно з іншими системами, такими як упаковка, маркування або контроль якості.

Ці вимоги спрямовані на створення ефективної, безпечної та надійної системи, яка відповідає сучасним стандартам автоматизації та виробничим потребам.

2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗФАСОВКИ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

2.1 Розроблення структури системи розфасовки рідких продуктів

Система розфасовки рідких продуктів повинна задовільняти вимогам наведеним в попередньому параграфі. При цьому оскільки це обладнання не є унікальним, а є певною мірою інтерпретацією існуючих взірців приведених до виконання сучасних вимог підприємств. То очевидно що в багатьох моментах воно міститиме класичні вузли і складові, які широко використовуються в подібних системах [5].

При цьому як відомо будь-які пристрої чи системи зазвичай не бувають універсальними, оскільки зазвичай будь-яка універсальність зазвичай приводить до погіршення одного чи кількох параметрів. Тому зрозуміло, що для досягнення запланованих цілей необхідно по можливості чітко встановити межі роботи системи. В даному випадку необхідно встановити тип чи типи продукції, які будуть фасуватися на даному обладнанні, а також об'єми ємностей в які вони будуть фасуватися. Чітке встановлення даних обмежень системи дозволяє максимально ефективно спроектувати потрібну систему з максимально високими якісними та економічними показниками.

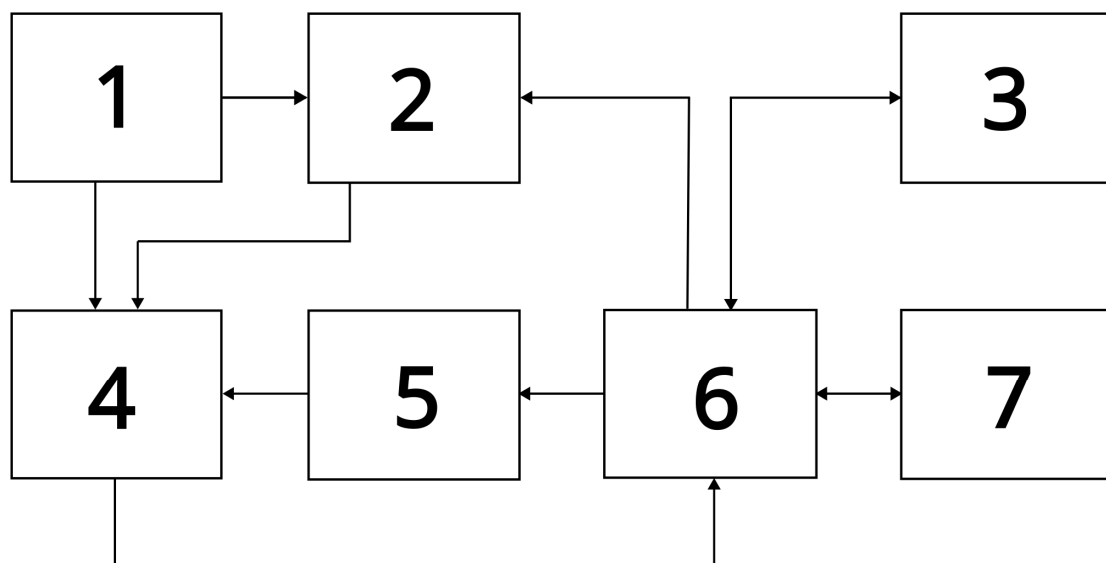


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи дозування рідин

Система розфасовки рідких продуктів складається з таких основних

компонентів:

- 1 – ємність для зберігання продукту;
- 2 – модуль дозатора;
- 3 – панель оператора;
- 4 – сенсори;
- 5 – транспортер;
- 6 – ПЛК;
- 7 – мережа підприємства.

Ємність для зберігання продукту (1) - основне місце зберігання рідкого продукту перед його розфасовкою. Оснащується сенсорами рівня (4), щоб уникнути переповнення або нестачі продукту.

Дозатор (2) основний модуль, який забезпечує точне вимірювання та подачу необхідного об'єму рідини.

Може базуватися на таких принципах роботи:

- об'ємний дозатор (для точного вимірювання за об'ємом);
- Ваговий дозатор (з використанням вагових датчиків);
- Таймерний дозатор (залежно від часу роботи насоса).

Транспортна система (5) конвеєр або обертовий механізм, який забезпечує переміщення тари до місця розфасовки. Оснащується сенсорами(4) позиції для синхронізації з дозатором.

Контролер системи управління (6) центральний блок управління (мікроконтролер або промисловий ПЛК), що координує роботу всіх компонентів системи. Даний модуль забезпечує:

- обробку сигналів від датчиків;
- управління виконавчими механізмами;
- інтеграцію з периферійними пристроями.

Для задання параметрів роботи системи та контролю її стану використовується панель управління (3) яка призначена для налаштування Система розфасовки рідких продуктів складається з таких основних компонентів:

- 1 – ємність для зберігання продукту;

- 2 – модуль дозатора;
- 3 – панель оператора;
- 4 – сенсори;
- 5 – транспортер;
- 6 – ПЛК;
- 7 – мережа підприємства.

Ємність для зберігання продукту (1) - основне місце зберігання рідкого продукту перед його розфасовкою. Оснащується сенсорами рівня (4), щоб уникнути переповнення або нестачі продукту.

Дозатор (2) основний модуль, який забезпечує точне вимірювання та подачу необхідного об'єму рідини.

Може базуватися на таких принципах роботи:

- об'ємний дозатор (для точного вимірювання за об'ємом);
- Ваговий дозатор (з використанням вагових датчиків);
- Таймерний дозатор (залежно від часу роботи насоса).

Транспортна система (5) конвеєр або обертовий механізм, який забезпечує переміщення тари до місця розфасовки. Оснащується сенсорами(4) позиції для синхронізації з дозатором.

Контролер системи управління (6) центральний блок управління (мікроконтролер або промисловий ПЛК), що координує роботу всіх компонентів системи. Даний модуль забезпечує:

- обробку сигналів від датчиків;
- управління виконавчими механізмами;
- інтеграцію з периферійними пристроями.

Для задання параметрів роботи системи та контролю її стану використовується панель управління (3) яка призначена для налаштування параметрів системи, таких як об'єм розфасовки, швидкість роботи, тип тари тощо. А також забезпечує індикацію стану системи та повідомлення про помилки.

Для забезпечення підключення до хмарного сервісу або локальної мережі для моніторингу, збору даних, управління та діагностики призначений модуль 7.

2.2 Аналіз механізмів піноутворення та методи боротьби з ними при розфасовці рідин

При проектуванні систем фасування рідких продуктів, важливим фактором є пінність продукту. При цьому важливим є аналіз та розроблення методів боротьби з даним явищем, при цьому по можливості не змінювати склад продукту та сильно не ускладнювати системи, оскільки це веде не тільки до здорожчання системи, але й до зниження надійності та ускладнення її обслуговування [17].

Проблема піноутворення є актуальною у багатьох галузях промисловості, особливо у виробництві, розфасовці та транспортуванні рідин, які містять поверхнево-активні речовини (ПАР), такі як склоомивачі. Піноутворення не лише уповільнює виробничі процеси, але й може знижувати точність дозування, погіршувати герметичність пакування та спричиняти перевитрати матеріалів. Розуміння механізмів формування піни та ефективне застосування методів боротьби з нею є важливими для забезпечення стабільності процесів розфасовки.

Механізми піноутворення

Піна формується внаслідок механічного, хімічного або термодинамічного впливу, що сприяє утворенню бульбашок газу, оточених тонкими шарами рідини. Основні чинники піноутворення[17]:

1. Присутність ПАР: Миючі засоби у складі склоомивачів знижують поверхневий натяг рідини, що сприяє стабілізації піни.
2. Механічні впливи: Турбулентність, створена під час дозування, транспортування або змішування, стимулює утворення бульбашок.
3. Хімічний склад рідини: Наявність води, спиртів і миючих засобів створює середовище, сприятливе для піноутворення.
4. Температурний вплив: Зміни температури можуть впливати на розчинність газів у рідині, підсилюючи піноутворення.

Для мінімізації піноутворення у системах розфасовки використовуються механічні, хімічні та конструктивні методи:

1. Механічні методи

- Повільний і ламінарний розлив: Зменшення турбулентності під час дозування рідини.

- Антипінні бар'єри: Встановлення спеціальних пристроїв у дозаторі, які сприяють руйнуванню піни.

- Контроль температури: Оптимізація температурного режиму для мінімізації впливу газів.

- Налив продукту з переливом – про розливі продукту продукт наливається надмір, що дозволяє витіснити піну, але при цьому суттєво ускладнюється сама дозувальна установка оскільки вимагає герметизації пристрою дозування та розливної тари.

2. Хімічні методи

- Використання антипінних добавок: Кремнійорганічні сполуки, полімери або силікони, які знижують стабільність плівки навколо бульбашок.

- Оптимізація складу рідини: Підбір концентрації ПАР і спиртів для зменшення схильності до піноутворення.

3. Конструктивні методи

- Дозатори із зворотним клапаном: Зниження впливу турбулентності в момент розливу.

- Вакуумна система розливу: Забезпечення заповнення пляшки за рахунок відсутності доступу повітря.

- Система демпферів у пляшці: Конструктивні елементи, які руйнують піну в процесі її накопичення.

В даному випадку розглянуті класичні методи боротьби з піноутворенням проте жоден з них не дає нам оптимального рішення. Оскільки додавання додаткових засобів піногасіння змінюють склад продукту, а використання вакуумної системи розливу хоча й могла б вирішити проблему з піноутворенням проте її використання зачасту або не сумісне з використанням ПЕТ тари, яку просто буде сильно деформувати при використанні такої систем, або значно ускладнюють сам механізм наливу.

4. Комбінований метод боротьби з піноутворенням

Тому для досягнення максимального ефекту пропонується використання комбінованого підходу. Оскільки в якості рідини, що розливається даною системою виступає склоомивач, який являє собою суміш дистильованої води, миючого засобу та спирту. То в якості засобу для піногасіння можна використовувати спирт.

Дозатор із розпилювачем спирту для подавлення піни можна віднести до комбінованих методів гасіння піноутворення, які об'єднують механічні й хімічні принципи дії. Основні методи, до яких він належить:

Фізико-хімічний метод - розпилення спирту знижує поверхневий натяг рідини на межі фаз, що сприяє руйнуванню плівки на бульбашках піни. Спирт діє як антипінний агент, хімічно втручаючись у структуру піни.

Механічний метод - спрямоване розпилення спирту створює локальну турбулентність і механічну дестабілізацію піни в зоні наповнення. Це допомагає пришвидшити руйнування утворених бульбашок.

Технологічний метод інтеграції - систему можна розглядати як технологічну оптимізацію процесу дозування. Інтеграція розпилювача до дозатора забезпечує локалізовану дію без впливу на загальну продуктивність установки або зміну складу продукту.

Таким чином, цей підхід поєднує переваги хімічного (використання спирту як піногасника) і механічного (розпилення і точковий вплив) методів для ефективного пригнічення піноутворення.

Застосування запропонованого рішення дозволить значно підвищити ефективність процесу розфасовки склоомивача у пластикові пляшки. Впровадження розробленої системи допоможе уникнути перевитрат рідини, підвищить точність дозування та забезпечить естетичний вигляд продукції без залишків піни у тарі.

Також даний метод можна використовувати для наливу інших речовин, включаючи харчові продукти. Він дозволяє ефективно і швидко наповнювати тару при звичайному атмосферному тиску і є значно простішим, дешевшим і

ефективнішим ніж система вакуумного наповнення, особливо при використанні «м'якої тари». Єдиним суттєвим недоліком даного методу є необхідність підбору засобу піногасіння для кожного конкретного продукту, що розливається, таким чином щоб він не змінював його фізико-хімічних властивостей, а у випадку харчових продуктів і смакових якостей та корисності. Хоча й засобу для піногасіння зазвичай попадає в тару не більше 0,5% проте не завжди можна підібрати відповідний інгредієнт для конкретного продукту, що накладає певні обмеження на його використання.

2.3 Розроблення функціональної схеми системи

Для проектування роботи системи розфасовки рідких продуктів розроблено функціональну схему, яка представлена на рисунку 2.2. На даній схемі наведені основні вузли системи та їх зв'язки.

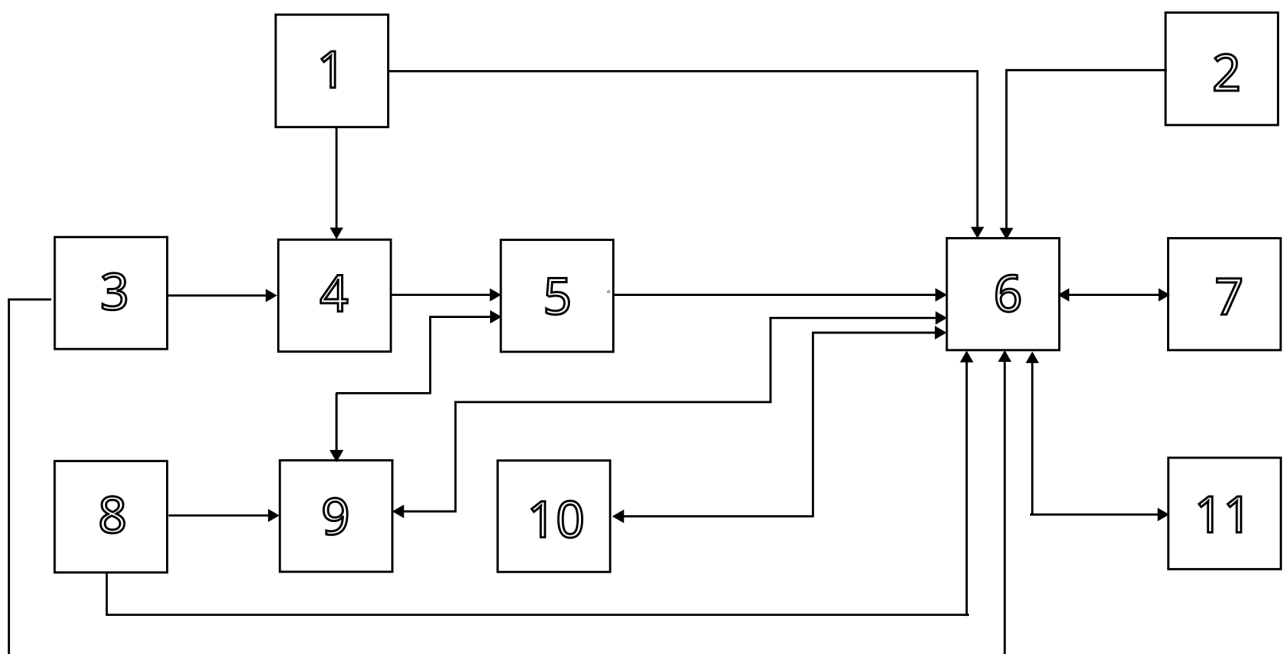


Рисунок 2.2 – Функціональна схема системи розфасовки рідких продуктів

На даній функціональній схемі можна виділити наступні модулі та

компоненти:

- 1 – модуль керування дозатором;
- 2 – модуль повітряної магістралі;
- 3 – резервуар з продуктом;
- 4 – об'ємний дозатор;
- 5 – модуль наливу;
- 6 – контролер;
- 7 – панель керування;
- 8 – ємність для піногасника;
- 9 – модуль піногасника;
- 10 – модуль транспортера;
- 11 – комунікаційна мережа.

В даній схемі позначені такі модулі, як резервуар з продуктом (3) він призначений для зберігання продукту для розливу та оснащений сенсором рівня, який дозволяє контролеру отримувати значення кількості продукту в резервуарі, що використовується як для відображення на панелі оператора, може передаватись по мережі для інтеграції в інші системи чи SCADA систему, а також по низькому рівні пристрій дозволяє зупиняти роботу дозатора для запобігання браку продукції.

Ємність для піногасника (8) призначена для зберігання засобу піногасіння для продукту, що розфасовується. Для контролю рівня даного засобу також використовується сенсор рівня.

Модуль повітряної магістралі (2) призначений для подачі стиснутого повітря з повітряної магістралі підприємства, оснащений сенсором тиску, для вимірювання тиску в магістралі, що дозволяє проводити оцінку його наявності та чи тиск достатній для роботи системи. Також в даному модулі передбачені редуктори для стабілізації тиску та для зниження його для окремих робіт.

Модуль транспортера(10) призначений для переміщення тари до та від модуля наливу рідини (5). Також в даному модулі реалізовано засоби для контролю переміщення тари та зупинки її в потрібному місці.

Об'ємний дозатор (4) призначений для дозування продукту, він реалізований

за допомогою поршневої системи який використовується для дозування продукту та пневмоциліндру, який керує переміщенням поршня. Для вимірювання об'єму продукту використовується електронна лінійка (в модулі 1), яка дозволяє відслідковувати переміщення поршня. Для забезпечення точного дозування використовується 4 пневморозводільники (в модулі 1) з них 2 повним тиском та 2 з половинним що дозволяє регулювати швидкість переміщення в два боки, що дозволить більш точно дозувати продукт при цьому зберігаючи високу швидкість роботи. Оскільки при підходженні до крайніх точок можна зменшити швидкість циліндру що дозволить максимально точно відмірювати об'єм.

Модуль наливу (5) призначений для наливу рідини у тару та забезпечений відповідними механізмами для опускання трубки у тару (для зменшення спінювання), розпилювачем для антиспінювача, який дозволяє «гасити» піну. Також він містить відповідні клапани для рідини та антиспінювача, що дозволяє запобігати падінню капель по завершенню наливу та керувати розпиленням антиспінювача.

Контролер (6) керує всім процесом роботи та вимірюваннями відповідних величин: тиску та рівня рідин. Для налаштування та контролю процесу роботи призначена панель керування (7), для відаленого налаштування та моніторингу передбачено підключення до мережі підприємства (11). При цьому підтримуються інтерфейси RS485 та LAN.

3. РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛІВ СИСТЕМИ РОЗФАСОВКИ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

3.1 Вибір компонентів для проектованої системи

Оскільки проектована система повинна працювати з рідинами що характеризуються високою пінністю, то зрозуміло що для отримання хороших показників необхідно використовувати ряд додаткових засобів, що ускладнює та здорожчує дану конструкцію. Проте без використання цих додаткових засобів неможливо досягнути високих показників. Так наприклад для пінних продуктів рекомендується наливати рідину знизу ємності, щоб зменшити аерацію продукту, а це в свою чергу вимагає використання сопла що опускається з відповідним додатковим механізмом для опускання сопла. При цьому таке рішення дозволяє значно знизити піноутворення, але не виключити його, тому для піднімання швидкості наливу необхідно використовувати засоби піногасіння, що дозволяє що в комплексі з опускаючим соплом дозволяє максимально пришвидшити процес наливу.

Традиційно в промисловій автоматичній використовують пневматичні виконавчі механізми. Оскільки дані механізми мають зазвичай просту і надійну конструкцію, мають невисоку вартість та прості в обслуговуванні. А при правильних розрахунках потрібних робочих параметрів зазвичай не можуть пошкодити обладнання у випадку збоїв.

Для керування пневмоциліндрами необхідно використовувати пневморозподільники на відповідний тиск та з потрібною напругою керування, один з таких типів пневморозподільників наведено на рисунку 3.1, це пневморозподільник фірми Samozzi в асортименті даної фірми є різні пневморозподільники з різними напругами керування та робочим тиском, для нашої задачі доцільно вибрати напругу керування 24В, оскільки в даній системі передбачається ще чимало обладнання з даною напругою живлення.



Рисунок 3.1 – Пневморозподільник Camozzi

Оскільки важливим параметром системи дозування рідин є в першу чергу забезпечення необхідної точності, то це зазвичай можливо при забезпеченні інших сталих показників, одним з найпростіших чинник які можна стабілізувати це стабілізація та контроль тиску в пневматичній системі, оскільки в пневматичній мережі підприємства він може значним чином коливатися, що може унеможливити роботу системи.

Так наприклад багато недорогих клапанів працюють з тиском до 6 bar при цьому при вищому тиску вони можуть не спрацювати. Зрозуміло що такий тиск в мережі підприємства є доволі низьким і зазвичай в магістралі він підтримується на рівні 8-10 bar.

Тому доцільно щоб кожна модульна система мала свій редуктор тиску при якому її обладнання може якісно та надійно працювати, для цього можна використати редуктор тиску Camozzi, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Редуктор тиску Camozzi

Для контролю показів та регулювання цього тиску доцільно використовувати манометр (рисунок 3.3), що дозволить оператору чи налаштувальнику попередньо налаштувати необхідні значення. А для контролю цих параметрів доцільно використати електронний сенсор тиску (рисунок 3.4), який дозволить автоматично проконтролювати його наявність та перебування в потрібному діапазоні. Що дозволяє не запускати процес, якщо цей параметр знаходиться за допустимим межами і відповідно запобігти браку продукції.



Рисунок 3.3 – Манометр Camozzi



Рисунок 3.4 – Електронний сенсор тиску

Також можна додати що електронний сесор тиску в даному випадку можна вибрати на тиск 0-20bar, його можна було б обрати з бінарми виходом, проте використання сенсора тиску з аналоговим виходом 4-20мА дозволяє контролювати цей параметр та враховувати його при аналізі роботи системи.

Як відомо висока швидкість роботи системи дозволяє досягти значної продуктивності, проте при високій швидкості роботи складно забезпечити показники високої точності, низька ж швидкість роботи може забезпечити високу точність, але за рахунок показника швидкості. Тому для отримання максимально високих показників доцільно комбінувати ці параметри. Тобто коли в нас налив починається то можна його проводити на максимально можливій для даного продукту швидкості, а при завершенні етапу наливу знизити його швидкість до того рівня на якому система зможе забезпечити потрібну точність.

Таким чином для забезпечення такої можливості потрібно використовувати регулятор подічі повітря (рисунок 3.5), за допомогою якого можна відрегулювати швидкість руху пневмоциліндру.



Рисунок 3.5 – Регулятор подачі повітря Camozzi

Основним вузлом даної системи є робочий циліндр який заповнюватиметься відповідною дозою фосованої речовини, для його роботи потрібен підповідний пневмоциліндр, на рисунку 3.6 наведений двоштоковий пневмоциліндр, використання двоштокового пневмоциліндру дозволяє на одному його штокові закріпити привід робочого циліндру, а на другому розмістити засоби контролю його роботи.

В даному випадку в якості засобів контролю пропонується використовувати цифрову лінійку (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Двоштоковий пневмоциліндр

Використання цифрової лінійки дозволяє забезпечити контроль різних параметрів таких як крайні точки переміщення штоку.



Рисунок 3.8 – Лінійка цифрова JET L 1000

Що з одного боку дозволяє як змінювати дозований об'єм за допомогою контролера так і відслідковувати і швидкість руху штока та обмежувати цю швидкість в кінцевих точках.

Дозуюча рідина може подаватися як з магістралі так і з резервуару, зазвичай вона подається з резервуару, тому важливим є контроль наповненості резервуару достатнім об'ємом для роботи. Для контролю наповненості резервуару доцільно використовувати електронний сенсор (рисунок 3.9).

Даний тип сенсорів виготовляється в з різними параметрами, в нашому випадку підходить сенсор з контролем рівня 0-2 метри та вихідним сигналом 4-20мА. Це дозволить контролювати рівень рідини в резервуарі, для запобігання браку в процесі роботи, а також дозволяє використовувати цей параметр в інших системах.



Рисунок 3.9 – Електронний сенсор рівня

Для роботи з іншими механізмами можна використовувати прості одноштокові пневмоциліндри (рисунок 3.10), зокрема з механізмом автоповернення, що дозволяє в такому випадку використовувати лише один пневмоклапан, щоправда такий пневмоклапан має мати механізм автоматичного скидання тиску.



Рисунок 3.10 – компактний пневмоциліндр

Для контролю наявності тару та її переміщення доцільно використовувати оптичні сенсори відстані як наприклад GTE6-P4211 (рисунок 3.11), які дозволяють налаштовувати відстань їх спрацювання.



Рисунок 3.11 – Оптичний сенсор відстані GTE6-P4211

Для контролю переміщень робочих вузлів доцільно використовувати магнітні сенсори, такі як наприклад sja12-10n1, які характеризуються високою надійністю та кизькою вартістю.



Рисунок 3.12 – Магнітний сенсор sja12-10n1

Для керування даною системою розфасовки вибрано програмований логічний контролер EATON XC303 який забезпечує високу продуктивність і гнучкість у роботі. Контролер XC303 вирізняється компактними розмірами, потужним процесором та широкими можливостями для інтеграції з периферійним обладнанням, що робить його ідеальним для промислових систем розфасовки.

Основними причинами вибору цього контролера стали:

Потужна обчислювальна здатність — XC303 має багатоядерний процесор, який дозволяє обробляти дані в реальному часі, забезпечуючи точність дозування та синхронізацію всіх компонентів системи.

Гнучкість у підключенні периферійних пристроїв — контролер підтримує стандарти промислових комунікацій, такі як Modbus TCP, EtherCAT, CANopen, що дозволяє легко інтегрувати насоси, датчики рівня, клапани та приводи в загальну систему.

Модульність конструкції — XC303 підтримує розширення вхідних і вихідних модулів, що дозволяє адаптувати систему під різні вимоги, наприклад, додавання нових ліній фасування або контроль температури та тиску в системі.

Контролер XC303 координує роботу наступних ключових елементів системи:

- Датчики рівня та витрати: дозволяють точно визначати кількість рідини, що надходить до дозатора, та запобігати переповненню.
- Електромагнітні клапани: використовуються для регулювання потоку склоомивача у дозувальну камеру.
- Привід насосів: забезпечує стабільний тиск рідини для подачі до лінії розфасовки.
- Система конвеєра: синхронізується з контролером для точного позиціонування пляшок під час дозування.

Програмування XC303 виконується за допомогою платформи Eaton XSoft-CoDeSys, яка підтримує стандарти IEC 61131-3 (включно з мовами програмування ST, LD, FBD). Це дозволяє створювати ефективний алгоритм керування, враховуючи всі нюанси процесу фасування:

Автоматичний контроль дозування об'єму рідини на основі вхідних сигналів від датчиків.

Підтримка кількох режимів роботи (напівавтоматичний, ручний, автоматичний).

Розширені функції діагностики та моніторингу, що дозволяють оперативно виявляти несправності.

Переваги використання XC303 у системі фасування склоомивача:

- Надійність — контролер має промисловий рівень захисту, стійкий до вібрацій, пилу та високих температур, що є важливим для середовищ із підвищеною вологістю та забрудненням.
- Енергоефективність — завдяки оптимізованим алгоритмам управління споживання енергії знижено до мінімуму.
- Масштабованість — при необхідності додавання нових функцій (наприклад, маркування продукції чи контроль в'язкості рідини) систему легко оновити без значних витрат.

Таким чином, використання програмованого логічного контролера EATON XC303 дозволяє створити високоефективну, надійну та масштабовану систему

розфасовки склоомивача, яка відповідає сучасним вимогам автоматизації виробничих процесів зовнішні вигляд даного контролера наведено на рисунку 3.13.

Також особливістю даної серії контролерів є його модульність, що дозволяє адаптувати систему керування під специфічні потреби виробництва. Контролер EATON XC303 підтримує підключення різних модулів вводу/виводу, комунікаційних інтерфейсів та інших периферійних пристроїв, які легко інтегруються в загальну архітектуру системи. Це особливо важливо для систем розфасовки склоомивача, які можуть вимагати розширення або модернізації без повної заміни контролера.

Переваги модульності XC303 це розширення функціональності. Додавання нових модулів дозволяє підключати додаткові датчики (наприклад, датчики температури або тиску), щоб контролювати параметри рідини на кожному етапі фасування.

Можливість інтеграції системи маркування або перевірки герметичності упаковки.

Замість купівлі нового обладнання для збільшення продуктивності достатньо додати потрібні модулі таким чином витрати на модернізацію системи значно зменшуються.

Існує значна гнучкість у виборі конфігурації. Тобто можна налаштувати кількість входів/виходів або типи підключень залежно від вимог конкретного виробничого процесу.

Контролер може працювати з аналоговими або цифровими сигналами, а також підтримує різні протоколи зв'язку (Modbus TCP, CANopen, EtherCAT тощо).

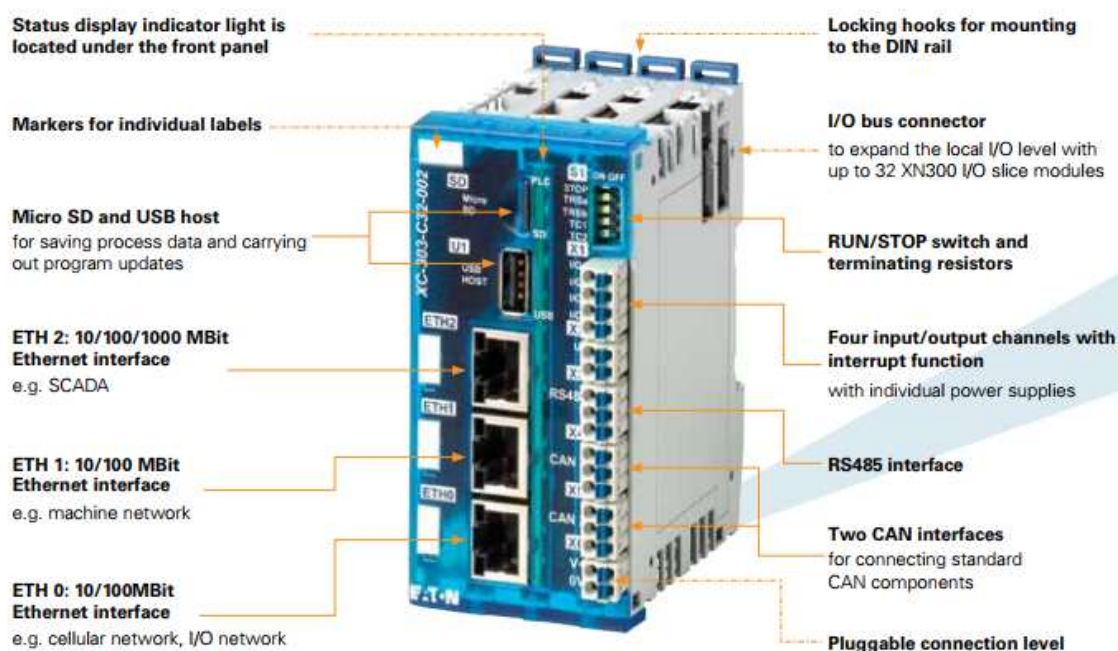


Рисунок 3.13 – Модульний контролер EATON XC303

Завдяки модульній конструкції несправні частини легко замінюються без впливу на решту системи.

Нові функції можна додати через встановлення додаткових модулів. Приклад зібраних модулів розширення контролера наведено на рисунку 3.14

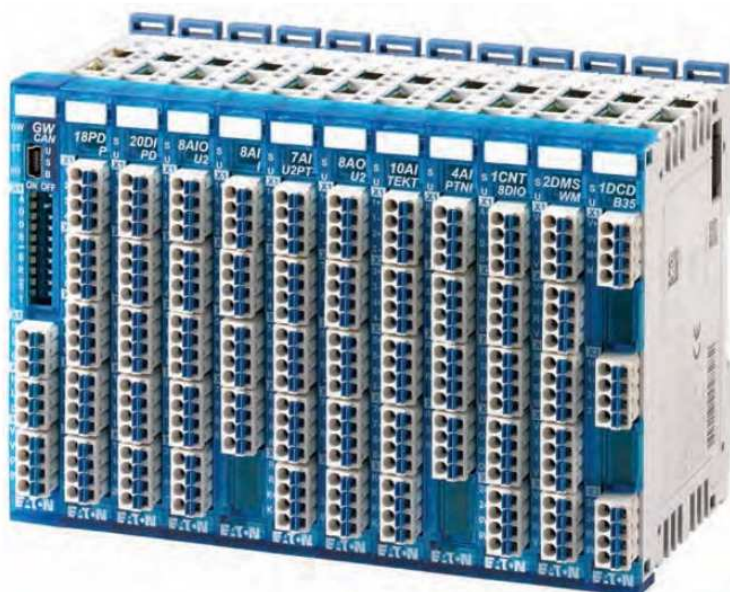


Рисунок 3.14 – Зібрані модулі контролера

Тобто самі модулі розширення контролера являють собою невеличкі модулі призначені для виконання конкретних задач, наприклад 8-ми каналний модуль аналогових входів чи 4-х каналний модуль релейних виходів і т.д. Таким чином з даних модулів можна зібрати потрібний ПЛК з потрібною кількістю входів/виходів та іншими необхідними функціями.

Також даний контролер має необхідні засоби та функціонал для інтеграції в системи індустрії 4.0 що відкриває додаткові можливості для автоматизації та оптимізації процесів виробництва. Завдяки своїм розширеним комунікаційним можливостям і потужному програмному забезпеченню, контролер EATON XC303 здатний забезпечувати зв'язок між обладнанням, збір даних і їх обробку в реальному часі, а також інтегруватися у хмарні платформи та системи управління підприємством. На рисунку 3. 15 наведено приклад системи.

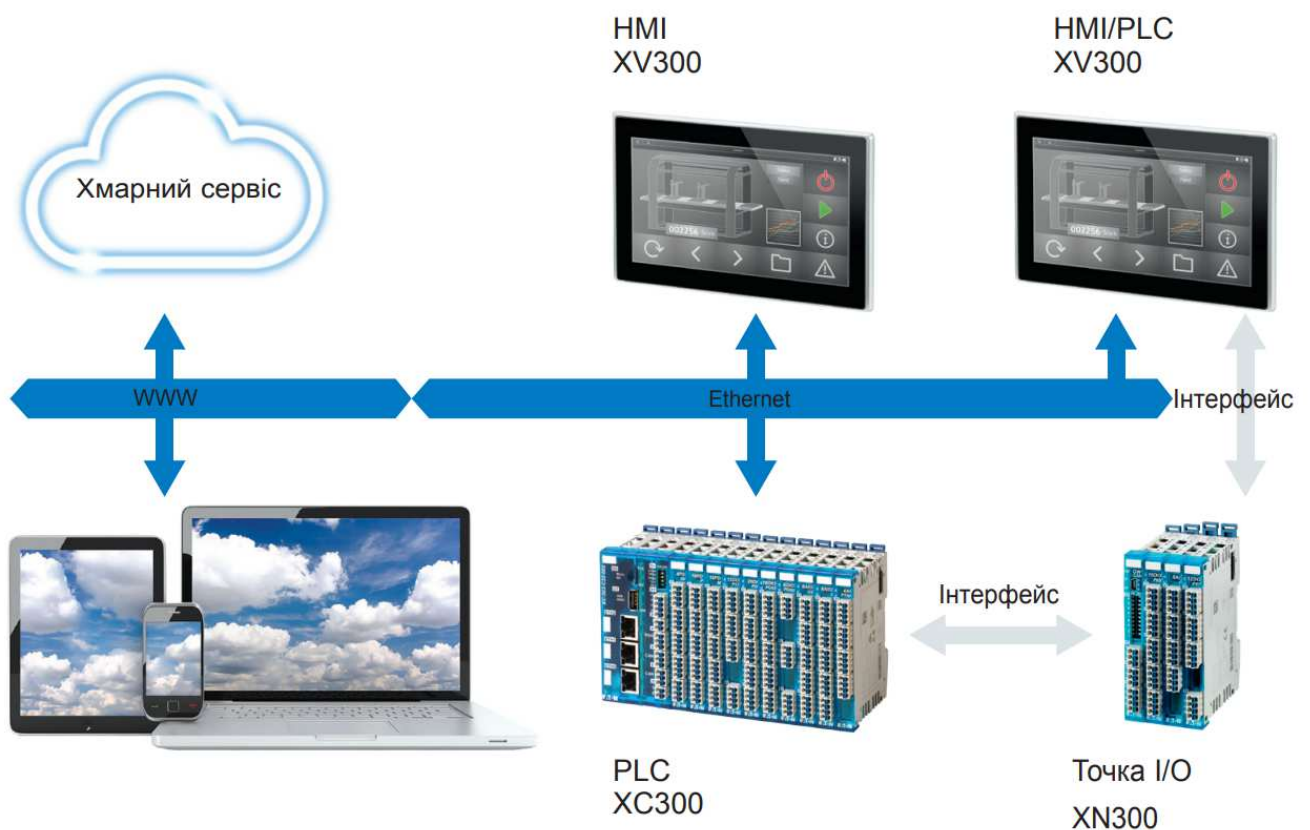


Рисунок 3.15 – Приклад системи на базі ПЛК серії XC300

Ключові можливості для Індустрії 4.0 це підтримка промислових протоколів зв'язку. XC303 оснащений інтерфейсами для роботи з сучасними мережами, такими як EtherCAT, Profinet, Modbus TCP, що дозволяє легко інтегрувати його в локальні та глобальні мережі підприємства.

Завдяки підтримці OPC UA контролер може обмінюватися даними із хмарними платформами, ERP-системами (наприклад, SAP) або SCADA-системами для моніторингу та управління виробничими процесами.

Контролер здатний передавати дані про стан обладнання, продуктивність та інші ключові показники в хмару для подальшого аналізу.

Це дозволяє реалізувати концепції предиктивного обслуговування (виявлення потенційних несправностей до їх виникнення) та гнучкого управління виробництвом залежно від попиту.

XC303 забезпечує обробку даних у реальному часі, що є критично важливим для точного дозування рідин.

Зібрані дані можуть використовуватися для побудови звітів, оптимізації енергоспоживання або виявлення "вузьких місць" у виробничому процесі.

Контролер відповідає сучасним вимогам кібербезпеки, захищаючи виробничі дані від несанкціонованого доступу та забезпечуючи надійну роботу системи в мережевому середовищі.

Підтримка адаптивного налаштування системи в залежності від зміни умов виробництва (наприклад, перехід на фасування іншого типу склоомивача або зміна об'ємів упаковки).

Можливість швидкого масштабування та налаштування обладнання для інтеграції в більші виробничі лінії.

3.2 Розроблення програмного забезпечення

Для розроблення програмного забезпечення було вибрано середовище розробки CodeSYS. CodeSYS є потужною та гнучкою платформою для розробки

програмного забезпечення для програмованих логічних контролерів (ПЛК), яка набула широкої популярності завдяки своїм універсальним можливостям та відповідності міжнародним стандартам. Однією з ключових переваг CodeSYS є його сумісність зі стандартом IEC 61131-3, що дозволяє використовувати кілька мов програмування, таких як ST (Structured Text), LD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram) та інші. Це забезпечує інженерам свободу вибору найзручнішого підходу до розробки залежно від специфіки проекту.

Використання CodeSYS значно прискорює процес розробки ПЗ для ПЛК завдяки зручному середовищу розробки та великому набору вбудованих бібліотек. Інтеграція з різними апаратними платформами дозволяє працювати з широким спектром контролерів, що особливо важливо в умовах різноманітних промислових задач. CodeSYS також підтримує модульність програм, що спрощує повторне використання коду, скорочує час розробки та підвищує її якість.

Ще однією важливою перевагою CodeSYS є його потужні інструменти для налагодження та діагностики. Інженери можуть використовувати симуляцію для перевірки програм без підключення до апаратури, а також реальні діагностичні інструменти для відстеження роботи системи у процесі виконання. Це дозволяє швидко знаходити помилки та підвищувати надійність роботи програмного забезпечення.

Впровадження CodeSYS також забезпечує довготривалу економічну вигоду. Завдяки відкритій архітектурі та активній підтримці розробників, система постійно оновлюється та вдосконалюється, що дозволяє адаптуватися до нових вимог автоматизації. Крім того, використання стандартів значно спрощує взаємодію між різними системами та підвищує сумісність із майбутніми оновленнями.

Таким чином, використання CodeSYS для розробки програмного забезпечення для ПЛК є не лише перевагою, а й необхідністю для сучасних промислових проектів. Його функціональність, сумісність, зручність у використанні та постійний розвиток роблять CodeSYS оптимальним вибором для автоматизації в різних галузях. Зовнішній вигляд даного середовища наведено на рисунку 3.16

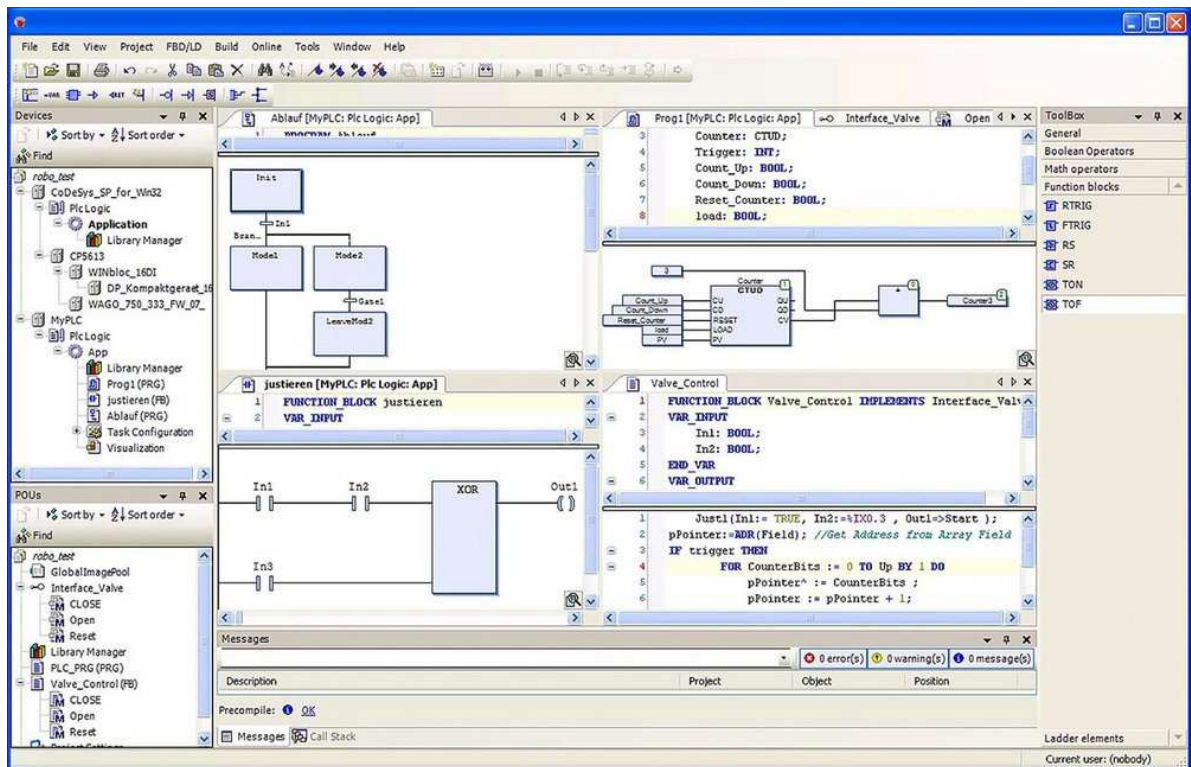


Рисунок 3.16 – Середовище розробки CodeSYS

Блок-схема алгоритму роботи програми наведена в додатку А. В даній блок-схемі позначені основні моменти роботи програми. Спочатку проводиться ініціалізація основних компонентів, окрім визначення змінних даних етап передбачає вивід на дисплей пристрою необхідних параметрів та їх налаштування, наприклад задання об'єму рідини, який буде наливатися, а також кількість спрацювань піногасника та час його роботи.

Наступним етапом йде перевірка наявності рідин, в даному випадку рідини що розливається та піногасника, оскільки при відсутності однієї з них коректна робота неможлива, якщо якась з рідин відсутня, то виводиться індикація про відсутність рідини та перевірка повторюється.

При наявності достатньої кількості рідин відбувається виставлення турнікету та запуск транспортера, а також набір рідини в мірний циліндр. Турнікет являє собою обмежувач що не дає тарі рухатися та дозволяє шляхом його переміщення вибрати позицію коли горловина тари знаходиться чітко в зоні наливу. Таке рішення спрощує керування транспортером та знижує вимоги до нього, а при

використанні тари малих об'ємів дозволяє взагалі не вимикати його.

При наявності тари в зоні наливу, що відслідковується за допомогою оптичного сенсора, переходимо в режим наливу.

В режимі наливу опускається сопло наливу на дно тари, а сопло піногасника в горловину тари та вмикається налив, де в процесі наливу циклічно розпилюється піногасник. Кількість циклів та час розпилення задається в меню.

Після наливу турнікет прибирається та вмикається транспортер для заміни тари на наступну. Також перевіряється необхідність завершення роботи, або продовження циклічного наливу.

Для керування роботою даної системи розроблено відповідні візуалізації. На рисунку 3.17 представлено головне вікно роботи програми.

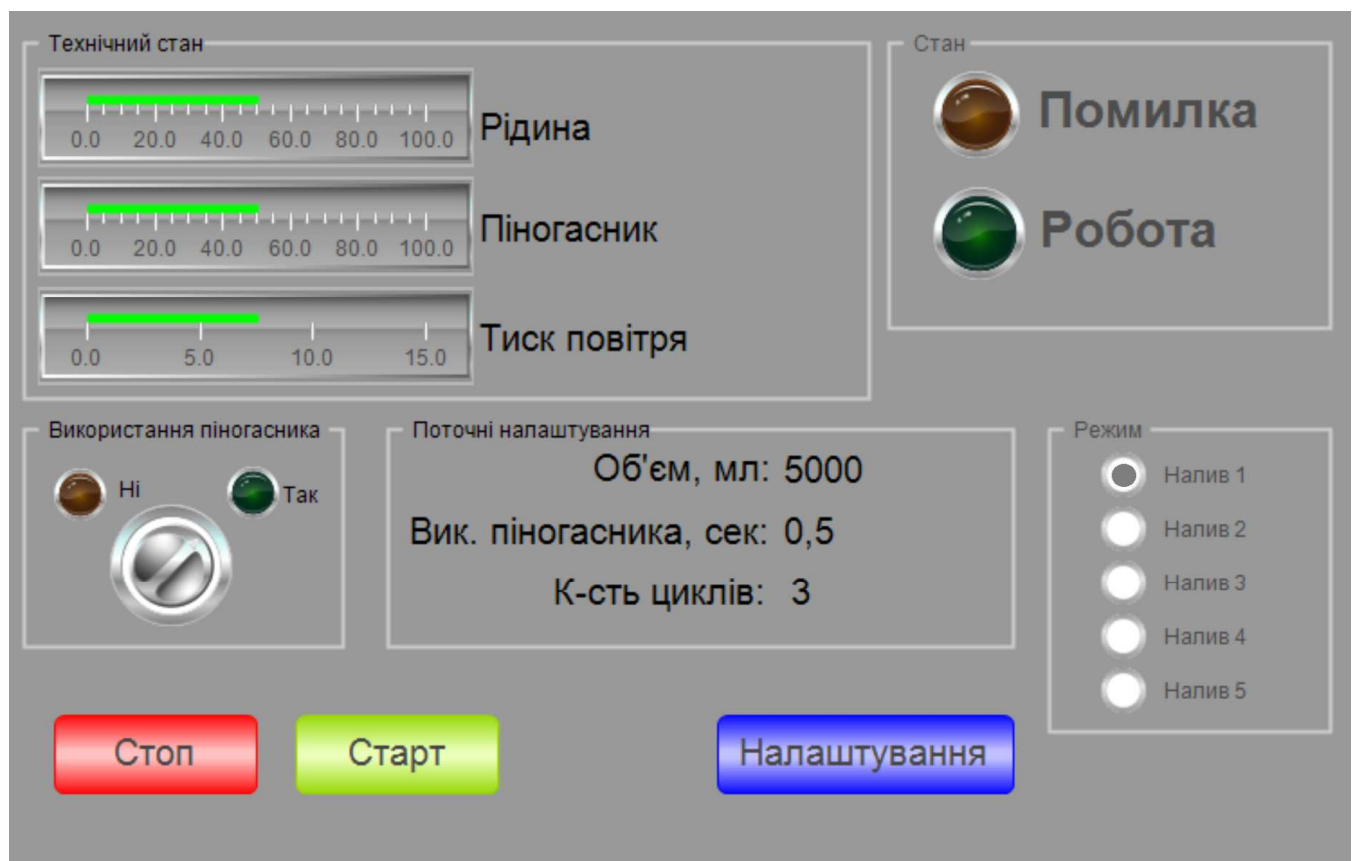


Рисунок 3.17 - Головне вікно роботи програми

Дане вікно призначене для налаштування роботи та контролю роботи. В цій візуалізації погруповані наступні елементи: технічний стан; стан роботи; використання піногасника; поточні налаштування та режим наливу.

Технічний стан відображає в відсотках наповненість кожного з резервуарів, окремо для рідини, що наливається та для піногасника.

Стан роботи відображає чи відбувається налив чи знаходиться в стані помилки. Тут варто зазначити, що стан помилки виникає при рівні рідин менше заданих параметрів, або при низькому тиску в повітряній магістралі.

Перемикач «використання піногасника» призначений для перемикання режиму роботи з використання піногасника чи без, що дозволяє використовувати систему в звичайному режимі, без піногасника.

Вікно поточні налаштування відображає об'єм наливу, кількість циклів використання піногасника та час його роботи. Перемикач режим дозволяє вибрати потрібну програму наливу для різних типів тари, які можна налаштувати у відповідному меню (рисунок 3.18). Кнопки «Старт» і «Стоп» призначені для запуску та зупинки процесу.

Поточні налаштування

Об'єм, мл: 5000

Вик. піногасника, сек: 0,5

К-сть циклів: 3

Режим

☒ Налив 1

☐ Налив 2

☐ Налив 3

☐ Налив 4

☐ Налив 5

Пункт

☒ Об'єм

☐ К-сть секунд

☐ К-сть циклів

-1000 +1000

-100 +100

-10 +10

-1 +1

-0,5 +0,5

Вихід Зберегти Налаштування параметрів

Рисунок 3.18 – Вікно налаштувань наливу

Вікно налаштувань наливу дозволяє встановити параметри наливу різних

типів рідини та в різну тару. Також в даному вікні є кнопка налаштування параметрів, за допомогою якої можна потрапити в меню налаштувань критичних параметрів роботи (рисунок 3.19).

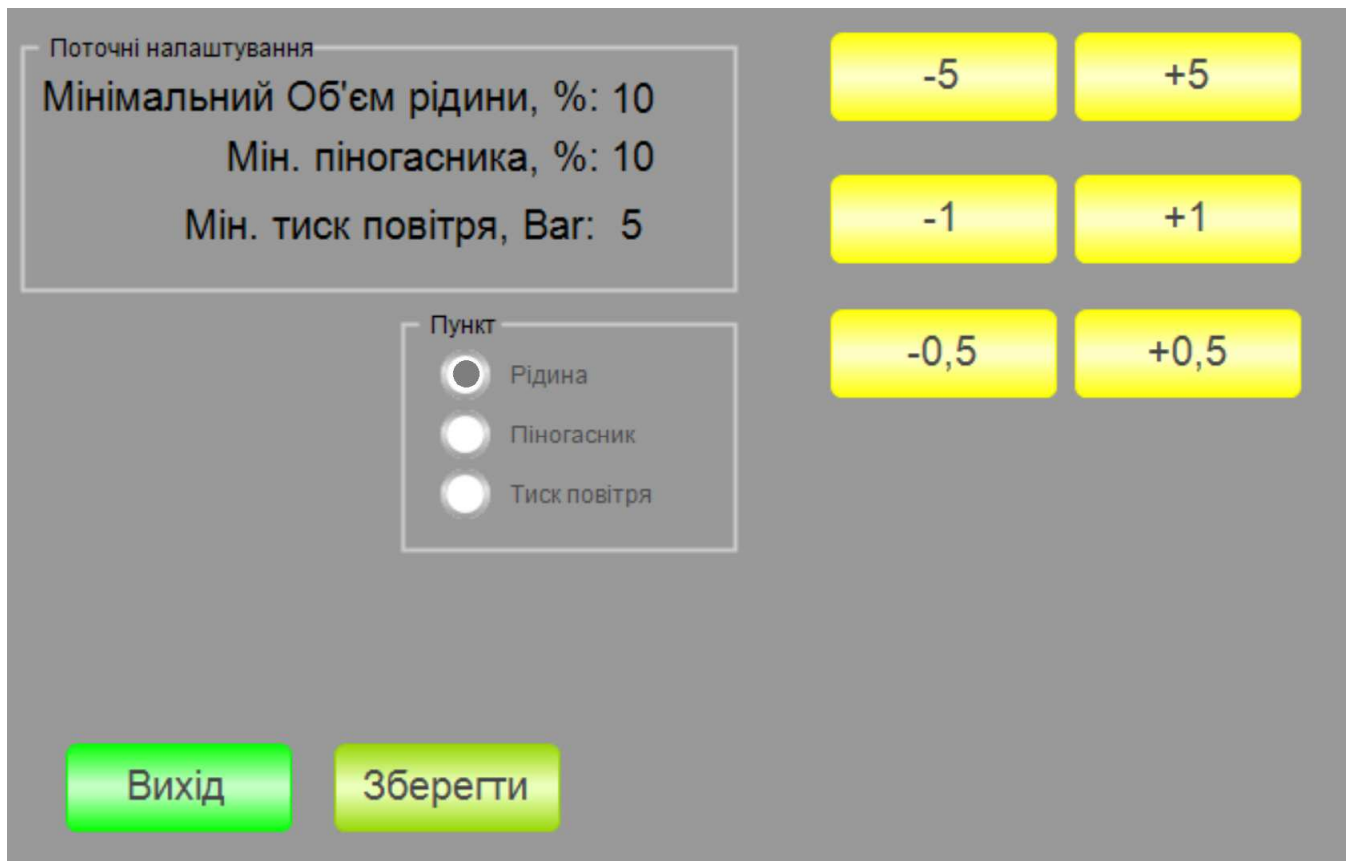


Рисунок 3.19 - Налаштування критичних параметрів роботи

В даному меню можна налаштувати критичні параметри, при яких припиняється робота, оскільки це може привести до браку продукції. Тобто в даному меню задаються мінімальні об'єми рідини та піногасника, а також мінімальний тиск при якому допустима нормальна робота системи наливу рідин.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання даної роботи було проведено аналіз існуючих рішень для розфасовки рідин, проаналізовано їх параметри методи роботи та особливості.

В результаті запропоновано використання об'ємного поршневого дозатора з встановленим на розливній трубці засобу розпилення засобу піногасіння, тобто при розливі склоомивача, який собою являє миючий засіб, дистильовану воду та спирт, цей засіб при наливі доволі сильно піниться, проте використання в якості засобу піногасіння спирту, дозволяє знизити пінність продукту не змінюючи його склад. Проте даний підхід має такий недолік, що не до всіх засобів які будуть розливатися можна підібрати потрібний і безпечний засіб піногасіння.

В роботі розроблено структурну та функціональну схеми системи розливу рідин, а також розроблено алгоритм роботи програми. Для програмованого логічного контролера (ПЛК) створено візуалізації, що забезпечують наочний контроль і управління роботою системи. Реалізовані інтерфейси підвищують зручність експлуатації системи оператором, дозволяють моніторити критичні показники в реальному часі та оперативно вносити корективи.

Запропонована автоматизована система забезпечує підвищення ефективності процесу розфасовки рідких продуктів за рахунок зменшення витрат на сировину завдяки точному дозуванню, підвищення продуктивності виробничої лінії, мінімізації ручної праці та підвищення загальної автоматизації процесу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zar Kyi Win and Tin Tin New, "PLC Based Automatic Bottle Filling and Capping System", International Journal of Trend in Scientific Research and Development, vol. 3, no. 6, October 2019.
2. B. Kalidasan, J. Ben Ajai Raja, M. Giri Gowtham and M. Kadeesh, "Automatic Bottle Filling Machine", International Research Journal of Engineering and Technology, vol. 5, no. 3, Mar 2018.
3. Лисенко С. М. Автоматизація технологічних процесів та систем. — Київ: КНТ, 2020. — 280 с.
4. Григоренко В. П. Системи автоматичного керування та їх застосування у промисловості. — Львів: Видавництво «Новий Світ», 2019. — 312 с.
5. Ковальчук І. П., Струк О. В. Технології пакування та розливу рідких харчових продуктів. — Харків: Технологічний центр, 2018. — 215 с.
6. Петров А. В. Поршневі дозатори для рідких середовищ: теорія і практика. // Технічна механіка. — 2020. — №2. — С. 45–52.
7. Шаповал А. С., Демчук М. О. Методи зменшення піноутворення при розливі спиртовмісних продуктів. // Технології харчових продуктів. — 2021. — Т. 34, №4. — С. 115–120.
8. ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. — Женева: Міжнародна організація зі стандартизації, 2015.
9. Пахомов Б. І. Системи керування ПЛК: програмування, діагностика, візуалізація. — Дніпро: Ліра, 2021. — 248 с.
10. Bickert C., Hofer M. Industrial Liquid Dispensing Systems and Control. — Springer International Publishing, 2020. — 287 p.
11. Smith R., Johnson T. Foam Suppression Techniques in Liquid Filling Applications. // Journal of Industrial Engineering. — 2019. — Vol. 12, №3. — P. 198–205.

12. Ткаченко С. Ю., Левчук О. П. Автоматизація розливу технічних рідин: ефективність та перспективи розвитку. — Київ: Освіта України, 2017. — 204с.
13. Каталог обладнання для розливу рідин: [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.liquidfillingequipment.com>
14. Müller H. Optimization of Piston Filling Systems in Liquid Packaging. — Berlin: Technische Universität Berlin, 2018. — 229 p.
15. Воронов І. М. Програмовані контролери: Теорія та практика використання. — Одеса: Астропринт, 2019. — 312 с.
16. Рекомендації щодо вибору обладнання для дозування рідких продуктів: [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.dosing-equipment.com>
17. Шевчук Б.М., Родзь Я.Т., Заставний О.М Аналіз механізмів піноутворення та методи боротьби з ними при розфасовці рідин / Збірник матеріалів науково-практичного симпозиуму «Технології Інтернету речей: системи та рішення» (TIP ST - 2024), Тернопіль, 2024. – С. 20-24
18. Аналіз методів забезпечення безпеки в безпроводних сенсорних мережах / Шевчук Б.М., Родзь Я. Т., Бернась З.Б., Заставний О.М. // Збірник матеріалів науково-практичного симпозиуму «Захист інформації».- Тернопіль.- 2024.- С. 127-130.

