МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Проект автоматизації пакувальної машини.
Система автоматичного регулювання натягу пакувальної плівки

Виконала: студентка 4 курсу, групи 6.1743-з-с2
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Соколова І.В.

Керівник доцент, к. т. н. Барішенко О.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент _____

Запоріжжя 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (бакалаврський)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код та назва)
Спеціалізація
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ
Соколова Інна Вікторівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проект автоматизації пакувальної машини. Система автоматичного регулювання натягу пакувальної плівки
керівник роботи Барішенко О.М, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1833-с
2. Строк подання студентом роботи 25 травня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації; розробка схеми інформаційних потоків; розробка технічного завдання; структура програмно-технічного комплексу; проєктування системи регулювання натягом плівки; розробка технічної документації; техніко-економічних показники; охорона праці, пожежна безпека
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): функціональна схема автоматизації, принципові електричні схеми, монтажно-комутаційна схема, схема зовнішніх з'єднань креслень) презентація роботи

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доцент, Барішенко О.М.		
2	доцент, Барішенко О.М.		
3	доцент, Барішенко О.М.		
4	доцент, Барішенко О.М.		
5	доцент, Барішенко О.М.		
6	доцент, Барішенко О.М.		

7 Дата видачі завдання 14.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючого рівня автоматизації	14.04-20.04.26	
2	Розробка схеми інформаційних потоків	21.04-27.04.26	
3	Розробка технічного завдання	28.04-04.05.26	
4	Вибір структури та складу програмно-технічного комплексу	05.05-07.05.26	
5	Проєктування системи регулювання натягу плівки	08.05-10.05.26	
6	Розробка технічної документації	08.05-14.05.26	
7	Розрахунок системи автоматизації та показників її надійності	15.05-18.05.26	
8	Розрахунок техніко-економічних показників	19.05-21.05.26	
9	Розгляд питань охорони праці та техногенної безпеки	22.05-23.05.26	
10	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю, підготовка доповіді	24.05-25.05.26	

Студент _____ Інна СОКОЛОВА
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Олена БАРІШЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Віктор КОВАЛЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Соколова І. В. Проект автоматизації пакувальної машини. Система автоматичного регулювання натягу пакувальної плівки.

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник О.М. Барішенко, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Метою роботи є проектування автоматизованої системи регулювання натягу пакувальної плівки провідного механізма.

У ході виконання роботи було отримано наступні результати: проведено комплексний аналіз сучасних конструкцій пакувальних машин та визначено критичний вплив точності проведення полотна на якість пакування. Розроблено автоматизовану систему регулювання натягу і вирівнювання полотна плівки. У спеціальній частині розроблено технічне завдання, яке включає методи збору та аналізу інформації про потреби користувачів, а також методи обґрунтованого вибору апаратних і програмних засобів. Спроектовано архітектуру системи. У розділі розробки технічної документації виконано проектування всі необхідні схеми автоматизації. Також виконано аналіз стану охорони праці та техногенної безпеки, розроблено заходи з охорони праці користувача САР та пожежної та електричної безпеки. Проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження розробленого проекту.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, шести розділів, висновків, переліку джерел посилання з 33 найменувань, викладена на 98 сторінках машинописного тексту, включаючи 34 рисунка, 5 таблиць та 9 аркушів графічного матеріалу.

Ключові слова: автоматизація, механізм натягу, система, провідний механізм, пакувальна машина, керуючий вплив, мікроконтролер.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ 8
1.1 Технологія пакування плівкою 8
1.3 Огляд механізмів натягу пакуальних машин 13
2. МОДЕЛЮВАННЯ СТРІЧКОПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ 18
2.1 Система вирівнювання полотна 18
2.2 Огляд патентів систем вирівнювання полотна 33
2.3 Моделювання вузла 36
3. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАТЯГУ ПАКУВАЛЬНОЇ ПЛІВКИ 54
3.1 Алгоритм роботи системи системи 54
3.2 Алгоритм управління пакувальної машини 54
3.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ 55
4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ 72
4.1 Функціональна схема автоматизації управління 72
4.2 Схема підключення датчиків 73
4.3 Схеми підключення контурів управління 74
5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 79
5.1 Охорона праці 79
5.2 Вимоги до обладнання 83
5.3 Заходи з електробезпеки 85
5.4 Пожежна безпека 87
6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ 90
ВИСНОВКИ 94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 95

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний ринок пакування та етикетки висуває високі вимоги до якості пакування, швидкості виконання замовлень та мінімізації відходів матеріалу. Флексографічний друк займає лідируючі позиції в цьому сегменті завдяки своїй універсальності та високій продуктивності. Однак, із підвищенням швидкостей друку до 18 м/с і вище, критичного значення набуває стабільність поведінки задруковуваного матеріалу (плівок, паперу, фольги) у стрічкопровідному тракті. Порушення натягу, осьові зміщення полотна, поява зморшок або неприводка фарб є наслідками недосконалості систем керування рухом стрічки. Особливо гостро ця проблема постає при роботі з тонкими та еластичними полімерними матеріалами. Тому розробка та вдосконалення систем автоматичного вирівнювання полотна та стабілізації натягу на основі точних математичних моделей є актуальним науково-технічним завданням, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність вітчизняного поліграфічного виробництва.

Метою роботи є проектування автоматизованої системи регулювання натягу пакувальної плівки провідного механізма.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі завдання:

1) Проаналізувати сучасний стан технології пакування та конструктивні особливості стрічкопровідних систем провідних виробників.

2) Провести патентний пошук та аналіз існуючих систем вирівнювання полотна.

3) Розробити математичну модель вузла стрічкоживильної системи, що враховує динаміку рулону, властивості матеріалу та роботу плаваючого валика.

4) Розробити систему регулювання натягу плівки, обрати технічні засоби автоматизації та розробити необхідні схеми.

5) Сформувати правили охорони праці, електричної та пожежної безпеки.

6) Провести техніко-економічне обґрунтування.

Об’єкт дослідження – процес транспортування рулонного матеріалу через технологічні вузли пакувальної машини.

Предмет дослідження – методи та засоби автоматичного вирівнювання полотна та регулювання натягу плівки в динамічних режимах роботи.

Методи дослідження включають системний аналіз науково-технічної літератури, методи теорії автоматичного керування для моделювання динамічних процесів, математичне моделювання з використанням реологічних моделей середовища (модель Пойнтінга-Томсона), а також інженерні методи розрахунку деталей машин.Інформаційна база дослідження охоплює:

Інформаційна база дослідження охоплює наукові праці вітчизняних та закордонних вчених у галузі пакувального машинобудування, технічну документацію на машини KBA та інших виробників, патентні бази даних (USPTO, Espacenet), а також стандарти галузі.

1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технологія пакування плівкою

Технологія пакування плівкою – це різноманітні методи використання полімерних матеріалів для захисту, фіксації, зберігання та транспортування продукції. Основні види плівкового пакування включають стретч-обгортання, термозбіжну упаковку, повітряно-бульбашкове пакування та вакуумування.

Основні технології пакування плівкою.

1. Стретч-плівка.

Плівка розтягується і завдяки еластичності фіксує вантаж, прилипаючи до попередніх шарів. Стретч-плівка здатна розтягуватися на 300 % і більше. Технологію використовують для пакування палет (вантажів) на складах, обгортання меблів. Використовуються ручні та автоматичні палетопакувальники (поворотні столи, роботи).

Переваги: висока стійкість до проколів та ударів, надійна фіксація.

2. Термозбіжна плівка.

Плівка скорочується (сідає) під впливом високої температури, щільно обтягуючи форму виробу. Застосування: харчові продукти (м'ясо, сир, хліб), групова упаковка напоїв у пляшках, коробках. Процес проходить у термотунелях з автоматичним контролем температури. Продукт поміщають у плівку, запаюють, потім нагрівають (наприклад, у тунелі), після чого плівка твердне при охолодженні.

3. Повітряно-бульбашкова плівка.

Забезпечує амортизацію та захист від ударів. Предмет обгортають бульбашками до поверхні (для кращого контакту), часто використовують другий шар бульбашками назовні. Застосування: транспортування крихких вантажів, електроніки, меблів (захист кутів).

4. Вакуумне пакування.

Видалення повітря з пакета, що продовжує термін зберігання продуктів, перешкоджаючи окисленню. Застосування: харчові продукти, що потребують довгого зберігання.

5. «Гарячий стіл».

Настільне обладнання для пакування в стрейч-плівку харчових продуктів. Плівка натягується, обрізається тепловим ножем і фіксується на гарячій поверхні столу.

Ключові матеріали:

– поліетилен (PE) – стретч-плівки, пакувальні пакети;

– полівінілхлорид (ПВХ) – «дихаюча» плівка для харчових продуктів.

– багатошарові плівки – для бар'єрних функцій (захист від газів/вологи).

Термоусаджувальними плівками називають полімерні плівки, здатні скорочуватися під дією температури, яка перевищує температуру розм’якшення полімера. Отримують такі плівки розтягом полімера. Наслідком цього є направлена орієнтація молекулярних ланцюгів полімера і виникнення в них напружень. При наступному охолодженні і затвердіванні ці деформації і напруження фіксуються в матеріалі в результаті протікання процесів склування і кристалізації. При повторному нагріванні в таких плівках протікають релаксаційні процеси і вони прагнуть повернутися до своїх початкових розмірів. Цю властивість зворотнього повернення називають «пам’яттю полімера» або термоусаджуванням. Термоусаджувальні плівки можуть бути виготовлені з багатьох термопластів, що кристалізуються, в тому числі з поліетилену низької і високої густини, поліпропілену, сополімерів етилена з вінілацетатом, полівінілхлориду, сополімерів вінілхлориду, полістиролу, гідрохлориду поліізопрена. В залежності від ступеня усаджування в поздовжньому и поперечному напрямках розрізняють плівки одноосно-орієнтовані і двоосно-орієнтовані. Одноосноорієнтовані плівки усаджуються переважно в одному напрямку: наприклад, в поздовжньому на 50-70%, а в поперечному на 10-20%.

Двоосно-орієнтовані плівки усаджуються в обох напрямках, з однаковою або різною ступінню усаджування: наприклад, в поздовжньому напрямку на 50-60%, а в поперечному – на 35-45%.

Ступінь усаджування визначають за формулою [8]:

$$К_{ус} = \frac{L_0 - L}{L_0} \cdot 100\%, \qquad (1.1)$$

де L_0 – довжина зразка до усаджування;

L – довжина зразка після усаджування.

Залежно від методу виробництва і потреб споживача термоусаджувальні плівки випускають товщиною від 20 до 250 мкм з граничним відхиленням по товщині не більше + 20% від заданої. Для упаковки одиничних виробів невеликої маси використовують плівки товщиною 20-50 мкм., для групової упаковки вибирають плівки товщиною 50-100 мкм., для пакування на піддонах- плівку товщиною 100- 250 мкм.

На рис. 1.1. зображено схему усаджувальної камери, яка складається з корпусу 12. За допомогою електротена 13 нагрівається повітря в камері і розповсюджується вентилятором 15. Після усаджування плівку обрізають ножем 14.

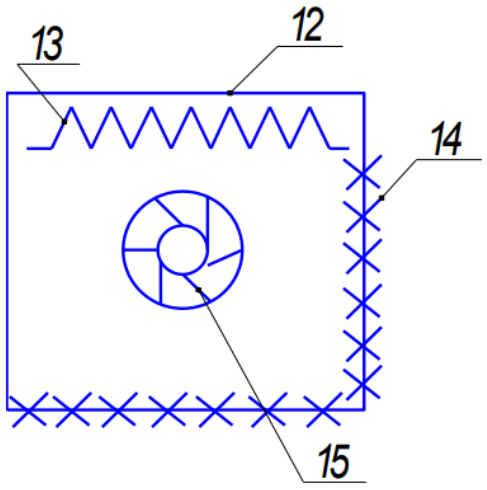


Рисунок 1.1 – Схема усаджувальної камери

На рис. 1.2 зображений термоусаджувальний напівавтомат Maripack 4500, призначений для упаковки хлібобулочних і кондитерських виробів, поліграфічної продукції, книг, канцелярських товарів, косметичної продукції та ін. в термоусаджувальну плівку в напівавтоматичному режимі.

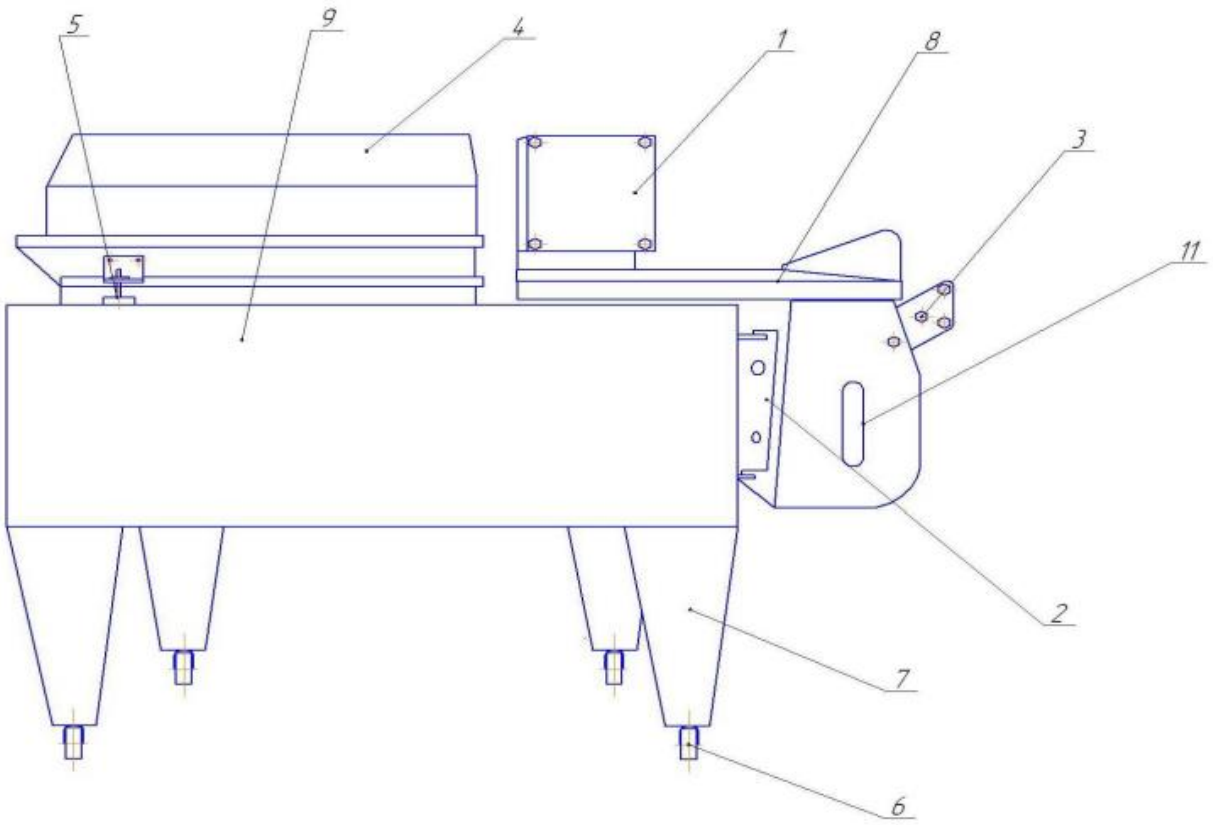


Рисунок 1.2 – Термоусаджувальний напівавтомат Maripack 4500

Установка складається з блоку управління 1, механізму пересування стола 2, механізму натягування плівки 3, кришки робочої камери 4, електромагніту 5, стола 8,корпусу 9.Машина встановлена на ніжках 7 і колесах для пересування 6. Плівка закріплюють за допомогою механізму 11.

1.2 Класифікація пакувальних машин

Існує широкий спектр пакувальних машин і багато способи класифікації. З різних точок зору можуть бути різні типи механічних діляться на: рідкий пакувальна машина порошок пакувальна машина частинок пакувальна машина, наклейка пакувальна машина, соус пакувальна машина, електронні комбінація масштабувати упаковки машини, подушка пакувальна машина, відповідно до ролі упаковки є внутрішні упаковки, аутсорсинг пакувальна машина.

Відповідно до упаковки станції очок є однієї станції, багатопозиційні пакувальна машина, за ступенем автоматизації, перев'язки, повністю Автоматична пакувальна машина. Установки для вакуумного впакування машина відповідно до розташування упаковки різних, південь від профільних вакуумна пакувальна машина і вертикальних вакуумна пакувальна машина. Пакувальне горизонтальне вакуумна пакувальна машина є плоскості; пакувальне вертикальне вакуумна пакувальна машина ставити вертикально. Машини вакуумні пакувальні горизонтальні є більш поширеними на ринку.

Пакувальні машини класифікуються за призначенням (наповнення, закриття, маркування), ступенем автоматизації (автомати, напівавтомати) та напрямком руху продукції (вертикальні, горизонтальні). Основні види включають фасувально-пакувальні автомати для сипких/рідких товарів, вакуумні пакувальники та машини для роботи з плівкою.

рідких товарів, вакуумні пакувальники та машини для роботи з плівкою.

Основні критерії класифікації пакувального обладнання:

1. За функціональним призначенням:

– наповнювальні машини: для фасування продуктів (об'ємні, вагові);

– закривачі: для запечатування упаковки (зварювачі плівки, закупорювачі пляшок);

– маркувальні машини: для нанесення етикеток та дати;

– машини для виробництва пакетів: формування упаковки з рулону.

2. За напрямком руху продукції:

– вертикальні: для сипких, гранульованих продуктів (цукор, крупи);

– горизонтальні: для штучних товарів (печиво, мило) або вакуумування.

3. За ступенем автоматизації:

– автоматичні лінії: повний цикл без участі людини;

– напівавтомати: потребують оператора для завантаження.

4. За типом упаковки:

– вакуумні машини: (камерні/безкамерні) для тривалого зберігання продуктів або електроніки;

– термозбіжні машини: для групової упаковки в плівку.

Така класифікація допомагає вибрати обладнання залежно від продукту та необхідної продуктивності.

1.3 Огляд механізмів натягу пакуальних машин

Належне функціонування пакувальних машини значною мірою визначається роботою пристроїв для розмотування рулонів, приймачів рулонів та іншого допоміжного обладнання. Ці установки можна класифікувати на два основні типи: стаціонарні та поворотні з механізмом для автоматичного склеювання стрічок, що рухаються в машині.

Механізми регулювання натягу стрічки призначені для підтримання постійної та контрольованої сили натягу рулонного матеріалу (стрічки) на всіх етапах його проходження через машину від розмотувального до намотувального вузла.

Основні вимоги до механізмів регулювання натягу стрічки під час намотування включають забезпечення прямолінійності торців рулону та рівномірної щільності намотування, зберігаючи точність суміщення фарб у друкарській машині. Це гарантує якісну обробку задрукованого рулонного

матеріалу. Механізм регулювання натягу повинен швидко і точно реагувати на зміни швидкості друкарської машини та компенсувати зміни діаметра рулону під час намотування.

У разі застосування пристроїв автоматичного склеювання, механізм повинен забезпечувати склеювання полотна на високій швидкості.

Характеристики приводу приймально-вивідного рулонного пристрою включають: лінійну швидкість полотна, натяг на старті намотування, ширину стрічки, співвідношення діаметра готового рулону до діаметра втулки, а також ККД пристрою з урахуванням втрат на тертя та опір повітря.

Намотування рулонів може відбуватися з постійним або змінним натягом:

– постійний натяг: сила натягу залишається незмінною протягом усього процесу, забезпечуючи рівномірну щільність рулону.

– змінний натяг (конічний): натяг поступово зменшується (характеризується коефіцієнтом зміни натягу), причому зовнішній виток намотується з меншою силою, ніж внутрішній. Цей метод дозволяє досягти специфічних характеристик рулону, необхідних для подальшої обробки; більшість матеріалів краще намотується саме у змінному режимі.

Незалежно від обраного режиму, натяг стрічки обов'язково контролюється датчиком.

1. Контроль постійного натягу (через положення): зазвичай використовується плаваючий валик, який, зміщуючись від заданого положення, генерує команди для приводу рулонного приймання. Привід відповідно регулює швидкість обертання рулону, щоб повернути валик у початкову позицію.

2. Контроль змінного натягу (електронні методи):

– електронний регулятор з жорсткою схемою, він приймає два сигнали від головного привода: один – пропорційний лінійній швидкості стрічки (від тахогенератора), інший – пропорційний її прискоренню (від схеми регулювання привода). Регулятор змінює потужність привода (часто використовуючи двигун

постійного струму та муфту на вихрових струмах), і натяг автоматично зменшується в міру збільшення діаметра рулону.

– схема з динамометричним датчиком: подібна до схеми з плаваючим валиком, але замість валика використовується тензометричний пристрій. Сигнал датчика, який пропорційний напруженню деформації згину тензометричного елемента, прямо пропорційний фактичному натягу стрічки.

Кінематична схема механізму подачі наведена на рисунку 1.3.

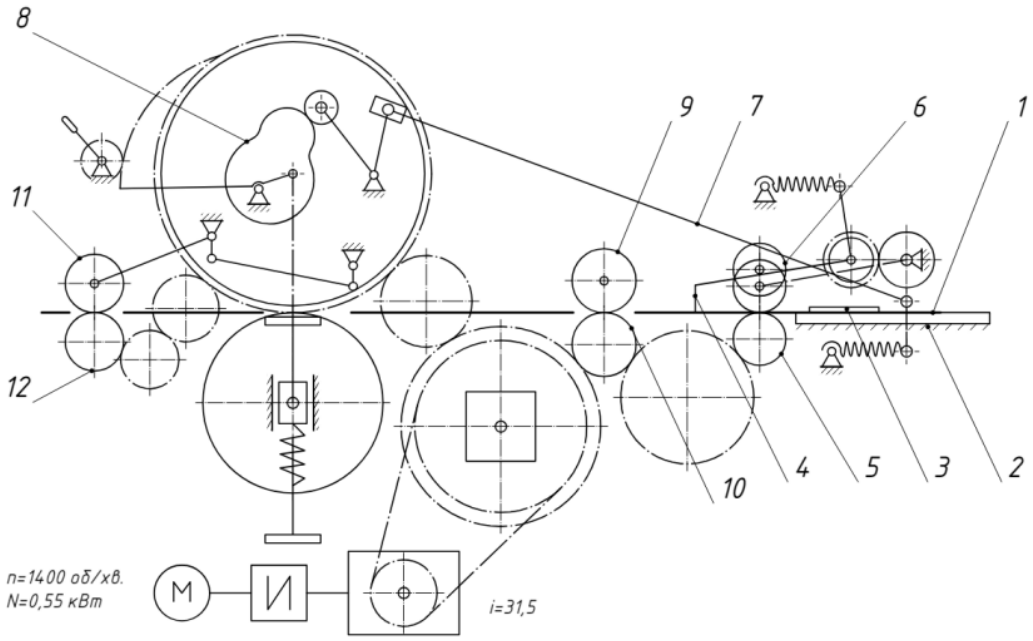


Рисунок 1.3 – Кінематична схема механізму подачі [18]

Удосконалення механізмів подачі матеріалу прямо впливає на підвищення швидкості, точності приводки та зменшення відходів. Основні напрямки вдосконалення зосереджені на інтеграції цифрових технологій, сенсорики та автоматизації.

1. Удосконалення систем контролю натягу для забезпечення максимально стабільного натягу полотна, особливо на чутливих до розтягу плівках.

– заміна механічних гальм та муфт на розмотуванні/намотуванні на незалежні сервоприводи, що забезпечить точне та швидке коригування моменту, виключаючи механічний люфт;

– інтелектуальний контроль натягу: використання складних алгоритмів (ПІД-регуляторів, IoT-
технологій) та високоточних тензодатчиків для застосування нелінійного конічного контролю натягу під час намотування, що дозволить запобігти деформації внутрішніх шарів рулону при намотуванні великих діаметрів;

– компенсація «роздуванняя» через впровадження систем повітряної підтримки або спеціальних роликів із покриттям, щоб уникнути втрати натягу полотна, коли воно «роздувається» у високошвидкісних сушильних тунелях.

2. Підвищення точності ведення та вирівнювання полотна, з метою усунення бічного зміщення аркуша/рулону для забезпечення ідеальної приводки.

– прецизійні актуатори: використання лінійних двигунів та актуаторів із високою швидкістю відгуку для миттєвої корекції положення, вони мають бути більш жорсткими та менш схильними до інерції порівняно з традиційними гвинтовими чи гідравлічними системами;

– системи технічного зору: впровадження цифрових камер та інфрачервоних або ультразвукових сканерів із високою роздільною здатністю, які контролюють не лише край полотна, а й друкарські мітки або перфорацію, забезпечуючи самокоригувальне ведення;

– автоматизація налаштування: розробка програмного забеспечення, що дозволяє автоматично встановлювати параметри ведення полотна при зміні матеріалу (зміна товщини, прозорості) без ручного калібрування.

3. Автоматизація та оптимізація аркушевих систем, для збільшення швидкості подачі аркушів та точності позиціонування.

– вакуумна фіксація: застосування більш ефективних вакуумних стрічок або сітчастих транспортерів із програмованими зонами вакууму для надійного утримання великоформатного гофрокартону, мінімізуючи його деформацію (особливо на виході з сушильних секцій);

– системи нон-стоп подачі: удосконалення механізмів автоматичного підживлення стопи без зупинки машини (для аркушевих машин), а також

інтеграція роботизованих систем для швидкої заміни рулонів (для рулонних машин).

– датчики подвійного аркуша та товщини: використання надчутливих оптичних або ультразвукових датчиків, які гарантують, що до друкарської секції надходить лише один аркуш правильної товщини, запобігаючи пошкодженню обладнання.

4. Поліпшення намотувальних вузлів з метою забезпечення ідеальної геометрії готового рулону для подальшої післядрукарської обробки.

– багатозональні пневматичні вали: використання валів, які діляться на кілька пневматичних зон, що дозволяє застосовувати різний тиск повітря по ширині рулону, це критично для намотування кількох вузьких рулонів одночасно, забезпечуючи індивідуальну компенсацію натягу.

– системи регулювання торця: інтеграція механізмів, які підтримують рівний торець рулону під час намотування (запобігання ефекту «гриба»), що є необхідним для високошвидкісних різальних та перемотувальних машин.

Висновки. У розділі було проведено огляд технології пакувальних машин та детальний аналіз конструктивних особливостей сучасного пакувального обладнання, зокрема, в контексті систем подачі матеріалу. Підтверджено, що пакування плівкою є універсальним, економічним і високопродуктивним методом, важливим для пакувальної індустрії. Класифіковано пакувальні машини та визначено, що система подачі та проведення матеріалу, яка включає розмотування, натяг, ведення та намотування, є важливою для якості пакування (особливо для приводки). Системи вирівнювання полотна використовуються для корекції бічних зсувів полотна. Такі системи можуть включати ультразвукові, оптичні або механічні датчики, які коригують положення полотна під час друку. Основною перевагою рулонних систем є їх здатність забезпечувати безперервне пакування великої кількості продукції без зупинок, що значно підвищує продуктивність.

2. МОДЕЛЮВАННЯ СТРІЧКОПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Система вирівнювання полотна

У рулонних пакувальних машинах подавання матеріалу здійснюється у вигляді безкінечної стрічки. Це дає змогу виконувати процес пакування на високій швидкості (до 18 м/с), що в кілька разів перевищує швидкість роботи інших пакувальних машин.

У рулонних машинах застосовується ланцюговий пристрій, який не лише полегшує проводку стрічки, але й дозволяє оперативно змінювати траєкторію її руху з урахуванням характеру продукції. Проводка стрічки здійснюється на пусковій швидкості роботи машини.

На рис. 2.1 показана схема проводки стрічки з нижнього рулону та положення верхнього рулону в позиції очікування для проведення операції склейки.

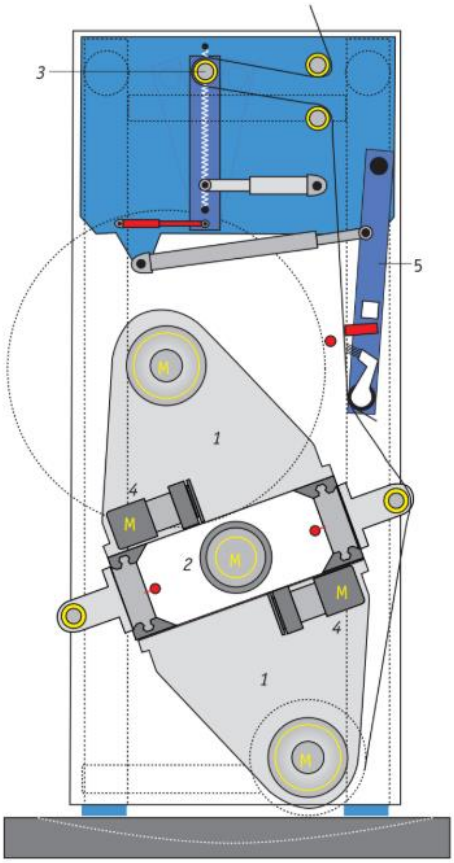


Рисунок 2.1 – Схема рулонної установки [16]

Її виконавчі та приводні пристрої розташовані у двох монолітних стінках, з'єднаних між собою жорсткими зв'язуючими елементами.

Два лучі 1 розміщені симетрично відносно центрального вала 2, оснащеного приводом. Кожен луч із закріпленим на ньому рулоном може переміщуватися в осевому напрямку з урахуванням ширини рулону за допомогою індивідуального двигуна 4, а також коригувати своє положення під час проведення осевої приводки.

Між стінками розташований плаваючий валик 3, керований пневмоциліндром, а також поворотна рама 5, що переміщується пневмоциліндрами і призначена для організації склейки стрічок та обрізання полотна відпрацьованого рулону.

Якість роботи рулонної машини значною мірою залежить від рівномірності натягу плівкової стрічки, який має залишатися стабільним протягом усього тракту її проводки. При цьому провисання стрічки або її слабкий натяг є неприпустимими. Порушення цих умов спричиняє неприпасування фарб, утворення на стрічці зморшок і складок та, як наслідок, її обрив. Правильний і безперервний рух стрічки можливий лише за умови її натягу в певних межах, що дає змогу керувати процесом і забезпечувати стабільну роботу машини з високою якістю друку.

Подача паперової стрічки здійснюється стрічкоживильною системою, а її проводка через технологічні вузли машини – стрічковедучою системою.

Стрічкоживильна система в усьому діапазоні швидкостей та на всіх режимах роботи машини (під час розгону, у встановленому режимі, під час гальмування, включно з аварійним) повинна забезпечувати надійне кріплення рулону та стабільний натяг стрічки протягом усього періоду її розмотування.

Крім того, вона має забезпечувати:

– регулювання положення рулону в осьовому напрямку;

– швидку та зручну заміну рулонів під час роботи машини (автосклейка);

– можливість проведення додаткових операцій із підготовки стрічки до друку, таких як очищення від пилу, зволоження та обробка коронним розрядом.

Стрічкоживильна система (рулонна зарядка) розміщується окремо від машини зі своїми індивідуальними приводами або монтується безпосередньо в друкарській секції. Можливість керування рухом паперової стрічки та її подачею в друкарську секцію з постійним натягом створюється на вході в машину й забезпечується шляхом примусового підгальмовування робочого рулону.

До складу стрічкоживильної системи входять пристрої для встановлення та заміни рулону, пристрої для підтримання і регулювання натягу стрічки, системи вирівнювання її положення при вході в машину, а також різні допоміжні пристрої.

Стрічкоживильна система сучасних рулонних офсетних машин повинна забезпечувати:

– оперативну заміну рулонів під час роботи машини;

– регулювання положення рулону в осьовому напрямку;

– автоматичне підтримання стабільного натягу стрічки з можливістю його регулювання.

Перед установленням рулону його звільняють від зовнішньої упаковки та фіксують у затискних пристроях рулонної зарядки. Паперова стрічка подається стрічкоживильною системою шляхом розмотування її з рулону, що спричиняє певні ускладнення вже з моменту сходу стрічки з рулону. В ідеалі рулон має бути правильним циліндром без биття, вісь обертання якого збігається з його геометричною віссю.

Однак через неправильне намотування стрічки, її неоднорідність, недбале транспортування та неправильне зберігання форма рулонів стає далекою від ідеальної. Крім того, рулон є тілом змінної маси, яка зменшується в міру його вироблення. Усі ці фактори негативно впливають на стабільність натягу паперової стрічки.

Поверхня циліндра утворена стрічкою, змотаною у вигляді архімедової спіралі:

$$\rho = \rho_0 + \frac{\delta}{2\pi}\varphi, \qquad (2.1)$$

де r і r_0 – поточний та початковий радіуси рулону;

δ – товщина паперової стрічки;

j – поточний кут повороту рулону.

Сам процес розмотування рулону умовно можна поділити на період розгону під час запуску машини, час руху з постійною швидкістю (режим друку) та період гальмування у разі необхідності зупинки. Рух стрічки в друкарську машину починається з обертання рулону в момент прикладання до стрічки зовнішнього зусилля F_n, що створює момент натягу паперу M_n, який дорівнює добутку $F_n r$, де r – поточний (змінний) радіус рулону (рис. 2.2).

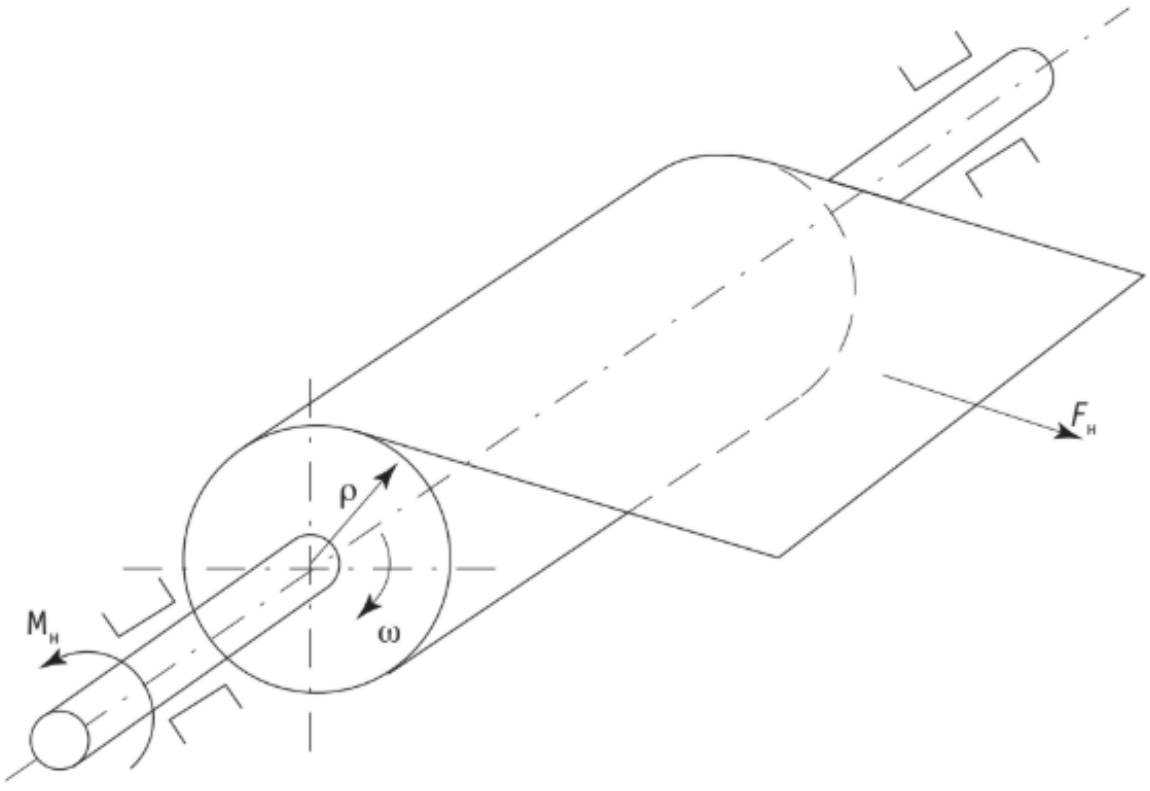


Рисунок 2.2 – Механіка подачі стрічки [20]

У загальному вигляді рівняння моментів сил під час розмотування рулону можна подати у такому вигляді:

$$\mathrm{M_н} = J \cdot e = \rho(F + F_{\text{ін}} + F_e), \qquad (2.2)$$

де J – момент інерції рулону відносно його осі обертання;

ε – кутове прискорення рулону.

Вираз у дужках є сумарним зусиллям, яке необхідно прикласти під час розмотування робочого рулону з урахуванням його похибок та характеру руху.

Перше доданок у цьому виразі – F_n, це зовнішня сила, прикладена до стрічки в точці її відокремлення від рулону, яка залежить від геометричних параметрів паперової стрічки та швидкості руху.

Друге – F_{in}, відображає вплив інерції рулону в моменти його прискорення та гальмування.

Третє – F_e, являє собою додаткове зусилля, яке необхідно прикласти для розмотування рулону ексцентричної форми. Це зусилля протягом одного оберту рулону змінює знак, тобто воно стає або рушійним, або гальмівним (для ідеального рулону $F_e = 0$). Частота його зміни під час розмотування є величиною змінною та зростає зі зменшенням діаметра рулону.

У період усталеного руху негативний вплив цієї сили проявляється у пульсації натягу. За великого ексцентриситету та високої частоти обертання рулону може статися обрив стрічки.

Попри вплив багатьох негативних чинників, паперове полотно повинно мати постійний натяг по всьому тракту його проводки, що є запорукою високої якості друку.

Необхідне натяг паперової стрічки на вході в друкарську секцію створюється рулонним гальмом. Натяг паперу характеризується величиною розтягувального погонного зусилля, що діє на одиницю його ширини. Зазвичай

для офсетного паперу масою до 100 г/м² натяг стрічки у стаціонарному режимі друку становить 0,2 – 0,36 кН/м (або за європейською шкалою близько 15 dN/м).

Однак у процесі роботи машини можливі стрибки натягу на 100% і більше від номінального значення. Рулонне гальмо повинно забезпечувати необхідний рівень натягу в заданих межах протягом усього періоду обертання рулону, включно з напруженим періодом автосклейки. Водночас дія гальмівного механізму не повинна спричиняти перевантаження стрічки або її самовільне розмотування під час пуску та вибігу машини.

Існують різні системи гальмування рулонів, що розрізняються способом створення гальмівного моменту. Проте незалежно від типу рулонного гальма, момент M_n, необхідний для розмотування рулону з потрібним натягом паперової стрічки F_n, повинен із певним наближенням дорівнювати гальмівному моменту M_t, тобто:

$$M_n = M_t, \tag{2.3}$$

За способом прикладання гальмівної сили рулонні гальма поділяються на:

– осьові, де зусилля прикладене до осі рулону;

– периферійні, де гальмівне зусилля прикладене до поверхні рулону.

У сучасних машинах, зокрема й у рулонних машинах, застосовують осьові гальма, які забезпечують більшу ефективність завдяки електромеханічному гальмуванню, не впливаючи на поверхню паперової стрічки. Оскільки гальмівний момент передається через втулку рулону, для підтримання постійного натягу його величина повинна безперервно автоматично регулюватися з урахуванням зміни радіуса рулону.

Як було зазначено раніше, для надійної роботи друкарської машини необхідно дотримуватися рівності моментів:

$$M_n = M_t, \text{ або } M_t = F_n \cdot r \tag{2.4}$$

У цьому виразі радіус рулону – величина змінна, яка в процесі розмотування стрічки зменшується у кілька разів.

З урахуванням зміни радіуса рулону гальмівний момент також повинен плавно зменшуватися.

Для забезпечення постійного натягу паперової стрічки в процесі її розмотування стрічкоживильні та стрічкопровідні системи обладнуються датчиками автоматичного регулювання, які фіксують збільшення або послаблення натягу й подають відповідний сигнал на виконавчі механізми. Паперова стрічка є об'єктом регулювання, тому автоматична система керування її рухом має бути достатньо чутливою і малоінерційною**.**

Як осьові гальма досить широко застосовуються електромагнітні дискові та порошкові муфти**,** керуючий вплив у яких створюється зміною сили струму.

Окрім цього, у швидкісних рулонних машинах, зокрема й у машинах КВА, для режиму «гальмування – розгону» рулону використовують електродвигуни**.**

При розмотуванні рулону великого діаметра двигун працює як привід під час початкового розгону.

Пізніше він переходить у режим гальма.

А зі зменшенням діаметра рулону і збільшенням частоти його обертання двигун знову надає рулону додатковий імпульс, полегшуючи сходження стрічки.

Щоб згладжувати різкі коливання натягу стрічки під час її сходу з рулону, у стрічкоживильній системі встановлюють амортизаційні валики (амортизатори)**.** Вони різняться конструктивно та зазвичай розміщуються:

– між рулоном і першим друкарським апаратом;

– на інших ділянках стрічкопровідного тракту.

У загальному випадку це легкий валик у підшипникових опорах, навантажений пружинами або пневмоциліндрами. Зміна натягу стрічки викликає зміщення валика та відповідне навантаження пружин. За принципом дії амортизаційні валики бувають: пружинні, пневматичні, петлеві та комбіновані.

Практика експлуатації рулонних машин показує, що амортизаційні валики мають інерційність, яка стає більш помітною при зменшенні діаметра рулону. Це пов’язано з тим, що на валик діють збурювальні навантаження, що виникають під час розмотування рулону. Частота цих навантажень змінна й залежить від:

– поточного радіуса рулону;

– наявності ексцентриситету рулону;

– похибок його встановлення.

У процесі розмотування радіус рулону зменшується, а частота власних коливань валика збільшується. Щоб уникнути резонансних явищ, які можуть призвести до обриву стрічки, частота власних коливань амортизатора повинна відрізнятися від частоти збурень. Негативний вплив інерційних сил частково зменшують демпфери (повітряні або гідравлічні), які знижують амплітуду та зміщують фазу вимушених коливань.

Оскільки робочий рулон має певні відхилення від ідеальної циліндричної форми, коливання його радіуса спричиняють періодичні коливання швидкості Δv_ρ. За один оберт рулону може подаватися то більше, то менше стрічки. Через інерційність рулону неможливо повністю компенсувати ці зміни тільки регулюванням гальмівного зусилля.

Тому на ділянці L встановлюють амортизаційний (плаваючий) валик 2, що навантажується пневмоциліндром 3 силою T (рис. 2.3).

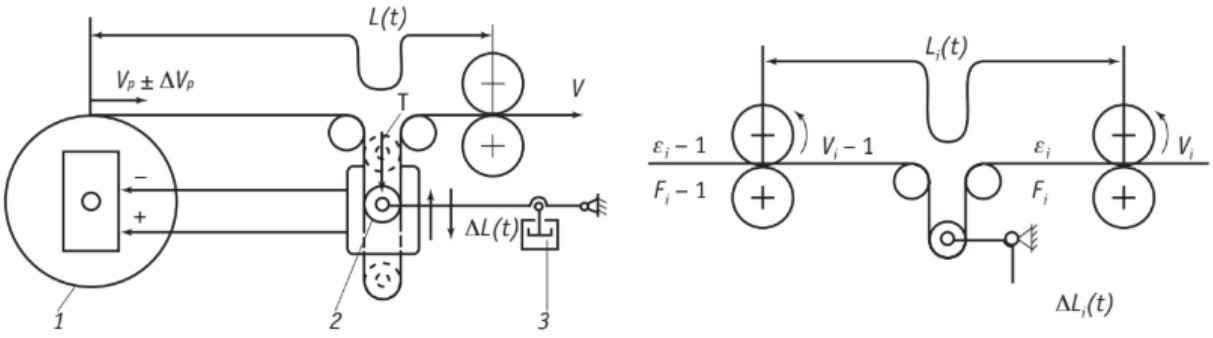


Рисунок 2.3 – Схема амортизаційного (плаваючого) валика [15]

Плаваючий валик компенсує нерівномірність подачі полотна і підтримує постійний натяг стрічки. Він є не тільки об’єктом авторегулювання, але й може виконувати функцію амортизуючого чи натяжного валика.

При постійній швидкості v періодичний надлишок або нестача поданої стрічки, що виникає через коливання радіуса рулону 1 у точці відриву стрічки, компенсується переміщенням плаваючого валика 2.

У такому пристрої натяг стрічки визначається зусиллям T**,** прикладеним до осі валика, а завдання гальма полягає в тому, щоб забезпечити швидкість рулону, при якій валик переміщувався в межах номінального положення, заданого робочою зоною регулятора натягу.

Зміна положення амортизаційного валика, що коливається або переміщується зворотно-поступально, використовується для формування сигналу керування гальмом або двигуном приводу рулону.

При зменшенні швидкості рулону натяг стрічки на ділянці «рулон –валик» збільшується, після чого валик починає переміщуватися вгору. Одночасно формується команда на збільшення швидкості обертання рулону шляхом зменшення гальмівного моменту або додавання обертів двигуна.

При збільшенні швидкості рулону валик відповідно почне переміщуватися вниз, що вплине на режим гальмування.

На схемі ці керуючі впливи позначені стрілками зі знаками «+» та «–».

Навантаження плаваючих валиків у стрікоживильних і стрікопровідних системах рулонних машин здійснюється пневмоциліндрами. Використання пневматичного навантажувального пристрою дозволяє чітко контролювати мінімальні відхилення натягу стрічки та забезпечує її стабільну поведінку завдяки зменшенню інерційності рухомих частин регулятора.

Стрічкопровідна система призначена для керування рухом стрічки під час її проходження через вузли друкарської машини, починаючи з рулонної зарядки і до фальцапарата.

Завдання стрічкопровідної системи полягає в тому, щоб проводити стрічку з чіткою орієнтацією відносно центральної лінії машини при

стабільному та регульованому натягу.

Для організації різних схем проводки стрічки стрічкоживильна система обладнується пристроями, здатними змінювати напрямок її руху, перевертати стрічку, розрізати паперове полотно на вузькі смуги, накладати їх одну на одну з можливістю поперечного та поздовжнього зміщення.

До складу системи також входять:

– напрямні валики;

– стрічковедучі (тягнучі) циліндри, включно з циліндрами друкарських апаратів, що організовують проводку стрічки через друкарські зони;

– поворотні штанги;

– регістрові пристрої;

– циліндри охолоджувальних систем;

– допоміжні пристрої для розведення паперового полотна (або полотен) через технологічні вузли машини.

Для проведення стрічки, починаючи з моменту її сходу з рулону, по всьому тракту проходження встановлюються стрічконаправляючі валики, які не мають власного приводу і обертаються при контакті зі стрічкою за рахунок сил тертя. Вони призначені для підтримки стрічки від провисання і, як правило, розташовуються через інтервали не більше 1 – 1,5 м, що виключає поперечні коливання стрічки, які можуть призвести до порушень у роботі машини.

Стрічконаправляючі валики не повинні впливати на проходження стрічки через технологічні вузли машини та повинні бути зручними в обслуговуванні. Існує кілька видів стрічконаправляючих валиків, серед яких виділяють вирівнювальні та реєстрові валики.

Валики конструктивно виконуються у вигляді порожнистих труб діаметром близько 100 мм або більше**,** встановлених на підшипниках кочення на важелях або безпосередньо в бічних стінках машини. Вони можуть мати гладку або спеціально оброблену шорстку поверхню. Частота обертання валиків може

досягати кількох тисяч обертів на хвилину, тому вони повинні мати невелику масу і бути динамічно відбалансованими.

Стрічконаправляючі валики з гладкою поверхнею зазвичай використовуються для роботи з незадруковуваною стрічкою.

Для задруковуваної стрічки переважно застосовують валики з шорсткою поверхнею, що зменшує площу контакту з фарбою і в певній мірі знижує відмивання.

Після рулонної зарядки, перед секцією стабілізації натягу стрічки або на вході в першу друкарську секцію, зазвичай встановлюють вирівнювальні валики**,** призначені для запобігання складок або зморшок на паперовій стрічці шляхом її вирівнювання по ширині. На зовнішній поверхні вирівнювальних валиків наносять канавки, що йдуть від середини валика до його країв. Канавки можуть бути однозаходними або багатозаходними (за аналогією з ходовими гвинтами).

Стабілізатори натягу є однією з складових стрічкоживильної системи. Вони представляють додаткові стрічковедучі та стабілізуючі циліндри**,** призначені для згладжування коливань натягу стрічки, які не були усунені рулонним гальмом.

Стабілізатори натягу можуть:

– вбудовуватися в рулонну зарядку;

– виконуватися як окрема секція між рулонною зарядкою та друкарською секцією;

– розташовуватися на ділянках стрічковедучого тракту.

У сучасних рулонних друкарських машинах KBA застосовують механічні та петлеві стабілізатори**.**

Пристрій плаваючого валика 1 регулює величину гальмівного зусилля під час розмотування рулону, одночасно забезпечуючи автоматичне регулювання натягу стрічки при зміні швидкості машини та радіуса рулону, частково згладжуючи коливання натягу стрічки.

Крім того, для стабільності друкарського процесу необхідно підтримувати постійний натяг стрічки перед входом у перший друкарський апарат, оскільки коливання натягу на цій ділянці впливають на поведінку стрічки при проходженні через друкарські модулі рулонної машини.

На рис. 2.4 показаний варіант схеми проведення стрічки через технологічні вузли рулонної друкарської машини із системами регулювання, стабілізації та контролю поведінки стрічки.

З цією метою стрічка при виході з рулонної зарядки проводиться через петлевий стабілізатор у вигляді обертового валика 2, що приводиться в рух від індивідуального двигуна, через який стрічка проходить під великим кутом охоплення. Подібний валик стабілізатора може бути встановлений на качальних важелях, команда на переміщення яких надходить від плаваючого валика. Це дозволяє гасити коливання стрічки та стабілізувати її натяг.

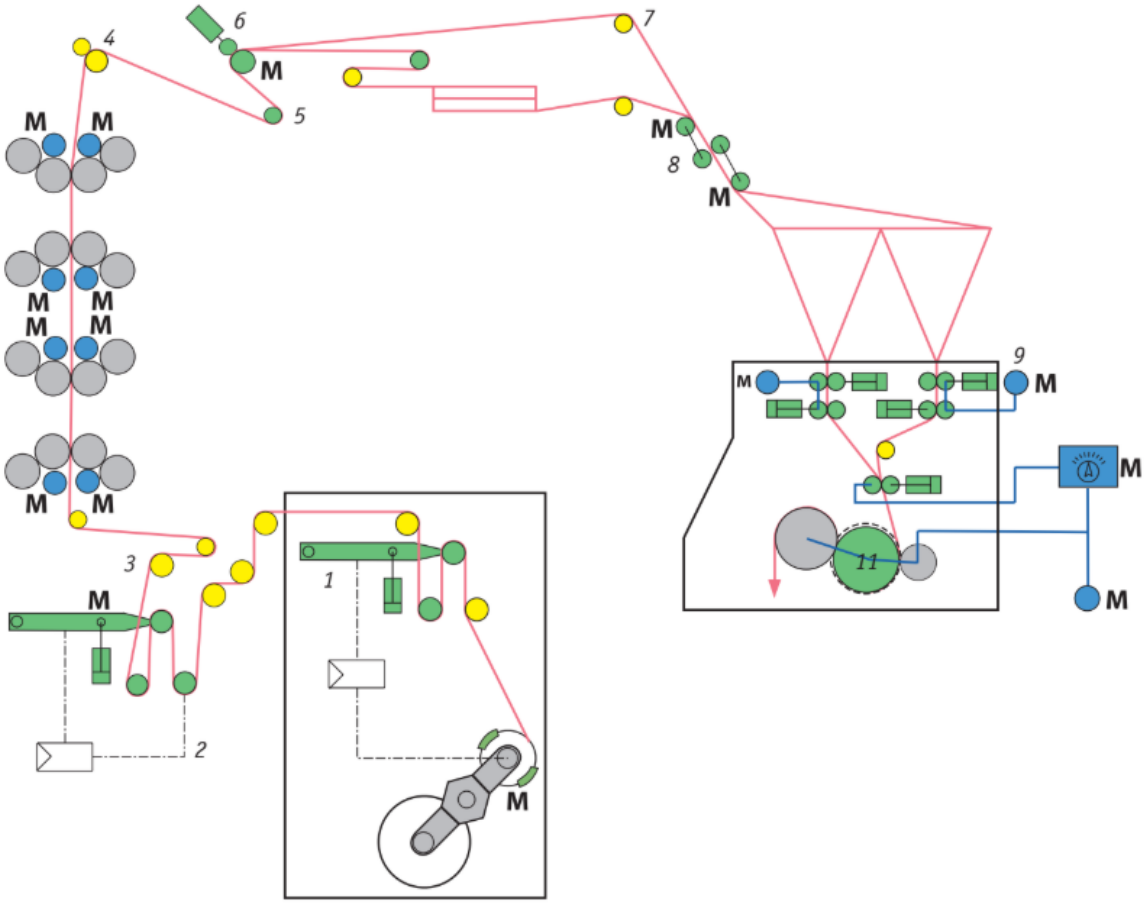


Рисунок 2.4 – Схема стрічкопровідної системи [20]

На ділянці стрічковедучий валик 4 – фальцаппарат встановлено: приводний циліндр із прижимним валиком 6**,** групу розташованих на певних ділянках приводних циліндрів (на схемі позначені літерою М).

Система плаваючих валиків дозволяє контролювати та підтримувати необхідний натяг стрічки на цих ділянках шляхом невеликих змін швидкості циліндрів, керованих від індивідуальних двигунів.

У самому фальцаппараті після воронки встановлена аналогічна система приводних циліндрів 9**,** яка забезпечує стабільну проводку стрічок через воронки фальцаппаратів, одночасно виконуючи функцію реєстрових пристроїв для точного фальцювання.

Реєстрові пристрої призначені для вирівнювання полотна відносно центральної лінії машини.

Вони виконуються у вигляді поворотної рами, яка дозволяє коригувати положення стрічки в поперечному напрямку. Такі пристрої розташовуються на різних ділянках проводки стрічки, наприклад, на вході в друкарську секцію, фальцаппарат або сушильний пристрій.

На рухомій рамі 1 вільно закріплені паралельно два валики 2 і 3, які розташовані між стаціонарними валами 4 і 5. Рамі разом із валами 2 і 3 надається невеликий поворот на кут а, в результаті чого стрічка відхиляється в бік (рис. 2.5).

За командою датчика контролю бокової кромки стрічки виконується кутове зміщення рами 1, що викликає перекіс валиків 2 і 3. Примусове зміщення стрічки призводить до її нерівномірної деформації по ширині (розріз А-А), проте на виході натяг стабілізується (розріз В-В).

Щоб уникнути розриву паперу, кут повороту рами а повинен перебувати в межах ±5°.

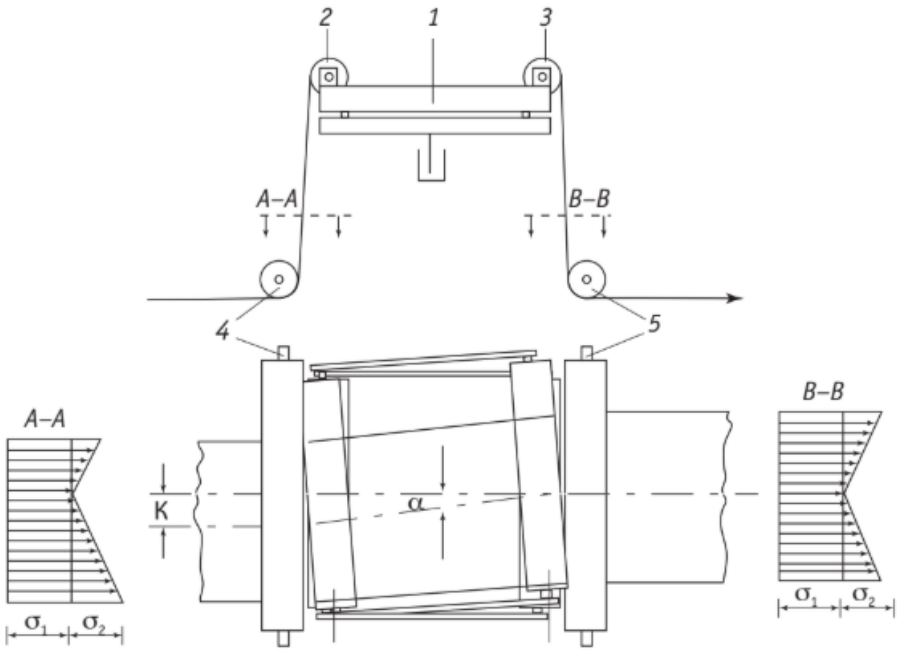


Рисунок 2.5 – Робоче положення реєстрового пристрою для поперечного зміщення стрічки [19]

Необхідність встановлення таких пристроїв перед входом у друкарську секцію або фальцаппарат зумовлена тим, що осьова корекція рулону, виконувана на рулонній установці, є недостатньою і не настільки швидкою для оперативного зміщення стрічки.

У машинах із вертикальною проводкою стрічки лінія відділення стрічки значною мірою залежить від розташування стрічконаправляючого валика 4 (рис. 2.5), який знаходиться над друкарською секцією і забезпечує поворот стрічки на 90°.

Зсув валка, наприклад, по горизонталі вправо, збільшує кут охоплення стрічкою правого офсетного циліндра, тоді як відрив стрічки від лівого циліндра відбудеться дещо раніше, ніж від правого.

На механіку проведення паперового полотна також може суттєво впливати стан виходу стрічки із зони друкарського контакту. При великій площі задруковуваної поверхні через дію адгезійних сил можливе певне прилипання

стрічки до офсетного полотна, що викликає додаткове перевантаження паперу через зміну точки відриву від офсетного циліндра.

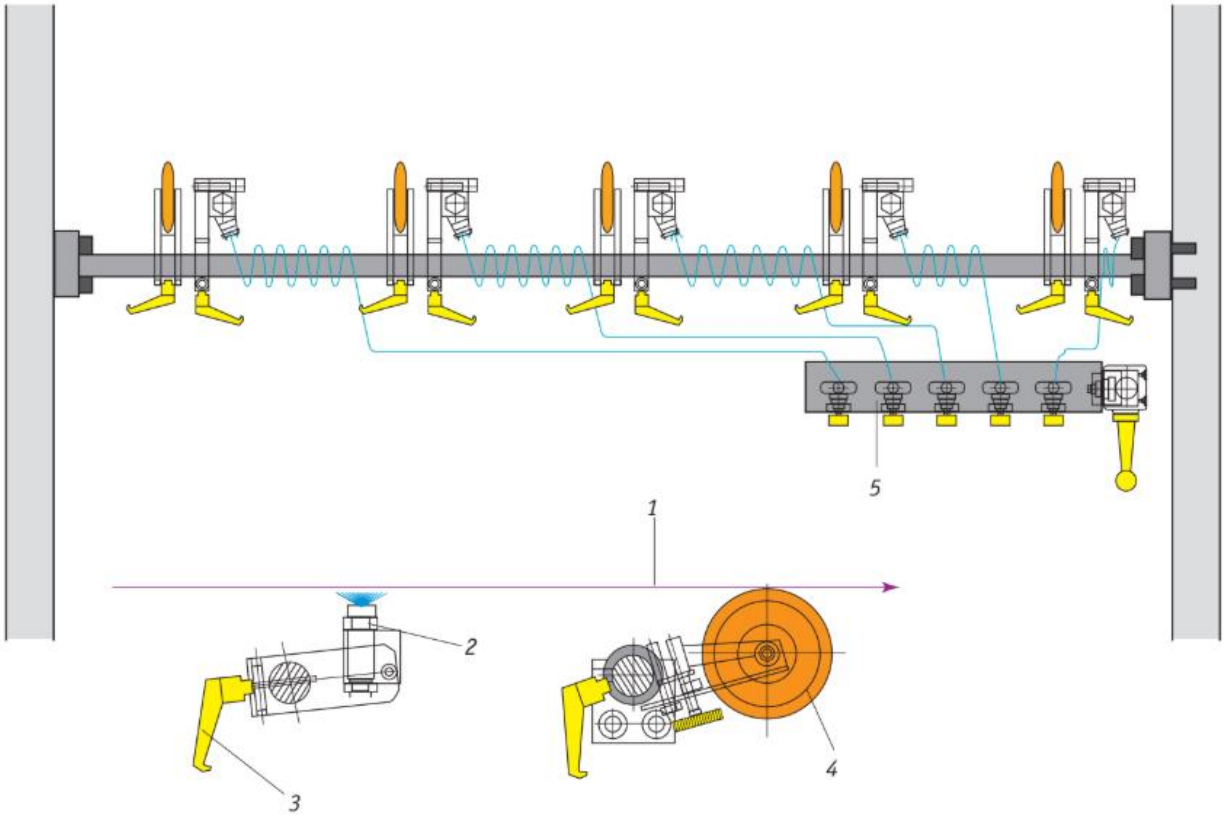


Рисунок 2.6 – Пристрій для зменшення розширення стрічки [20]

Крім додаткового розтягування задруковуваного матеріалу, його прилипання до офсетного полотна збільшує шлях проходження стрічки на ділянці між зонами друкарського контакту. Через одночасну дію тиску та вологи змінюються параметри паперу, що призводить до зниження його натягу.

При ослабленні натягу стрічки між друкарськими апаратами явище прилипання може розвиватися у напрямку до верхнього або нижнього друкарського апарата залежно від величини зусилля відриву паперу від офсетних циліндрів.

У разі горизонтальної проводки стрічки іноді можливий повторний контакт задруковуваного матеріалу відразу після виходу з контактної зони, що призводить до розмазування або подвоєння друкованого зображення. На це

впливає підвищена липкість фарби одного з друкарських апаратів, що може бути спричинена великою площею друкованого зображення.

Момент відриву стрічки від офсетних циліндрів супроводжується розривом шарів фарби і характерним тріском. Під час проходження полотна через друкарські секції машини і виходу його з останньої зони друкарського контакту може проявлятися сукупна неприводка фарб, яку необхідно враховувати, змінюючи фазове положення формних циліндрів відповідних друкарських секцій.

2.2 Огляд патентів систем вирівнювання полотна

У сфері пакування патенти формують технологічні тенденції та стандарти, визначають напрямки інновацій і забезпечують правовий захист нових рішень, що стимулює інвестиції в дослідження та розробки. Наступний огляд висвітлює патенти, що стосуються вдосконалення системи вирівнювання полотна пакувальних машин. Такі патенти підвищують ефективність виробництва, сприяють покращенню якості кінцевої продукції та відкривають нові перспективи для розвитку галузі.

Патент GB1200037A [6] описує винахід, що покращує систему пневматичної подачі матеріалів у пакувальних машинах. Існуючі пневматичні пристрої мають низку недоліків: нерівномірний рух кулачкового валу, складність виготовлення, а також довгі повітряні трубопроводи, що ускладнюють контроль процесу. Механізм пневматичної подачі аркушів патенту наведено на рис. 2.7.

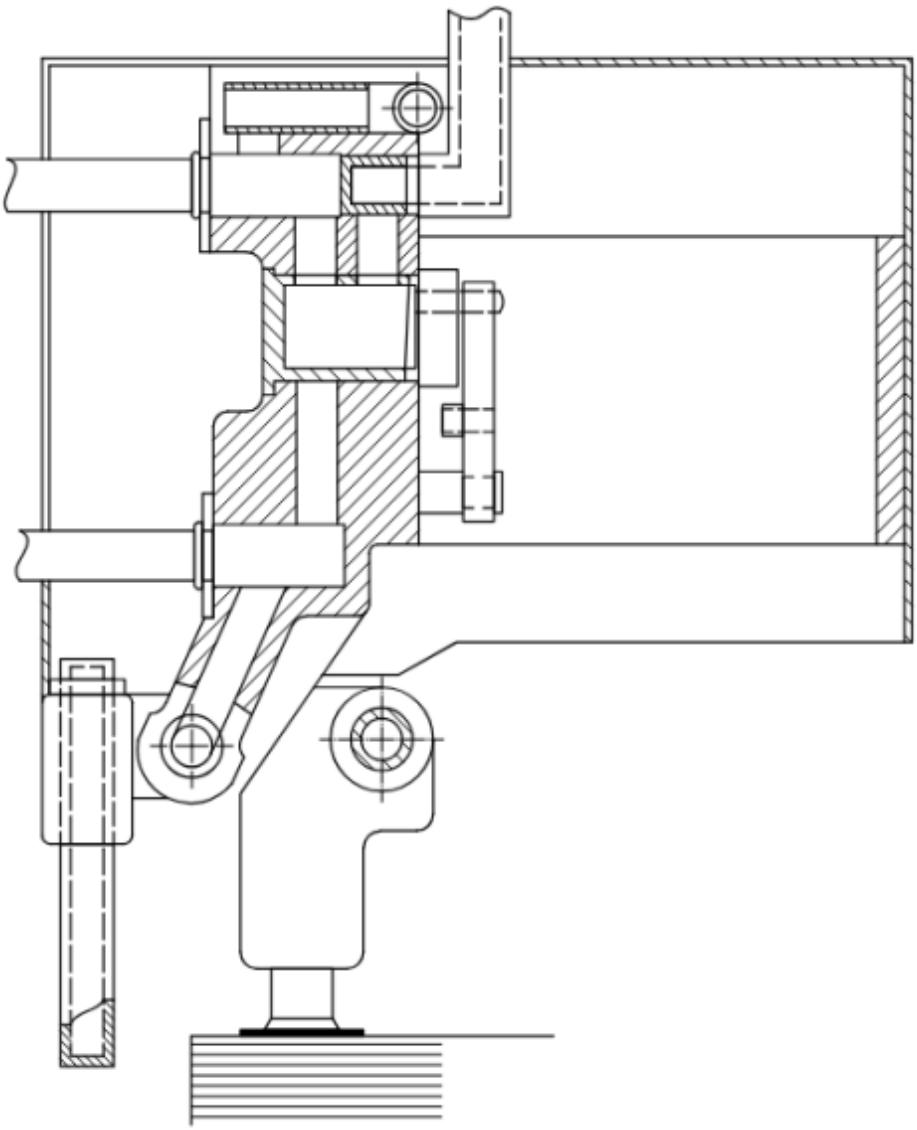


Рисунок 2.7 – Механізм пневматичної подачі аркушів патенту GB1200037A [6]

Метою цього винаходу є створення подавача, який забезпечує рівномірну подачу матеріалу, має короткі повітряні трубопроводи, здатний працювати на високих швидкостях і при цьому залишатися простим у конструкції та компактним.

Конструктивно пристрій включає:

– привідний вал, що обертається рівномірно для стабільної роботи механізмів;

– кулачки, які регулюють тиск у системі;

– присмоктувальні чашки для надійного захоплення аркушів;

– механізми контролю повітряного потоку, що забезпечують точне позиціювання аркуша.

Для виготовлення елементів пристрою використовуються металеві сплави високої міцності для валів і кулачків, полімерні матеріали для присмоктувальних чашок, стійкі до зносу і деформації, а також легкі алюмінієві або композитні трубопроводи для подачі повітря, що забезпечує компактність та зменшення інерційних втрат.

Цей винахід підвищує ефективність подачі матеріалів, стабільність роботи та дозволяє досягати високих швидкостей друку без ускладнення конструкції.

Переваги такого даного винаходу включають рівномірний рух привідного валу, скорочення довжини повітряних трубопроводів, підвищену ефективність подачі аркушів та компактну конструкцію, що полегшує обслуговування та покращує продуктивність друкарських машин.

Результати дослідження інших розробок наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Патентний аналіз систем вирівнювання полотна

№ п.п.	Панент	Опис розробки
1	US 6595460	Пристрій і метод вирівнювання краю подовжнього матеріалу (стрічки, «web») на тракті подачі. Передбачає маркер вирівнювання та механізм контролю, що дозволяє подати стрічку так, щоб її край був майже колінеарним з міткою-орієнтиром
2	US 5624111	Пристрій і метод вирівнювання краю подовжнього матеріалу (стрічки, «web») на тракті подачі. Передбачає маркер вирівнювання та механізм контролю, що дозволяє подати

		стрічку так, щоб її край був майже колінеарним з міткою-орієнтиром
3	US 6601507	Пристрій для автоматичного виявлення та маркування бічних країв аркушів у ротаційній друкарській машині – полегшує подальше вирівнювання та орієнтацію листів під час подачі
4	US 6604739	Метод і пристрій для вирівнювання плоских відбитків (копій) у машинах обробки аркушів – технічне рішення для забезпечення коректного положення аркуша перед друком або іншими операціями

Отже, основною метою розробок систем вирівнювання полотна є забезпечення точної позиції полотна або аркуша під час подачі в друкарську секцію. Помилки вирівнювання призводять до зміщення друку, складок, морщин і неприводки фарби. Модернізація має спиратися на використання високоточних сенсорів краю матеріалу, лінійних енкодерів, лазерних датчиків для реєстрації положення.

2.3 Моделювання вузла

Першим кроком на шляху розв’язання задачі стабілізації та регулювання натягу паперової стрічки, вивчення динаміки стрічкоподавального пристрою і розроблення його математичної моделі є отримання математичних моделей типових елементів стрічкоподавального пристрою (рулон, стрічка, плаваючий валик і напрямні валики). Рулон і його математична модель наведено на рис. 2.8.

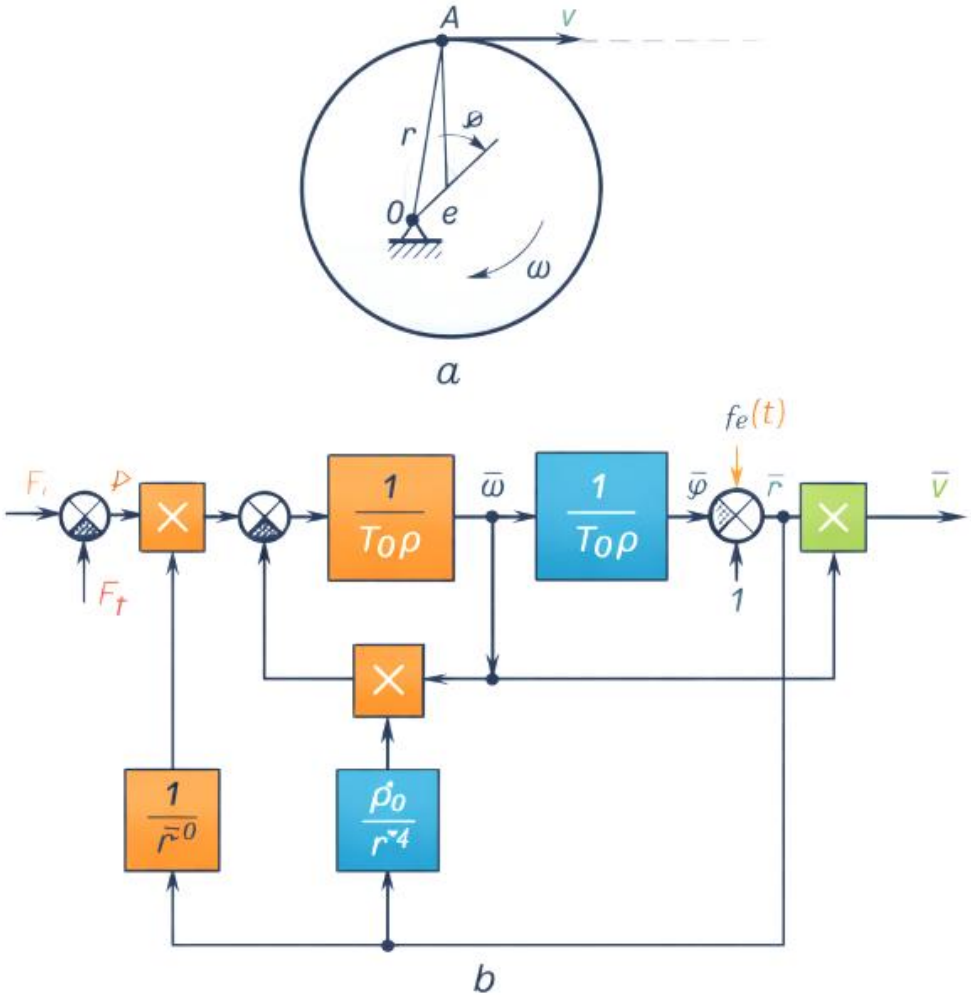


Рисунок 2.8 – Рулон (а) і його математична модель (б)

Для характеристики руху рулону в процесі розмотування необхідні такі параметри: радіус r і швидкість *v* рулону в точці розмотування, кут повороту φ кутова швидкість ω і момент інерції J рулону. Роль вхідного впливу виконує сила F, прикладена до рулону в точці розмотування.

Введемо в розгляд наступні відносні параметри:

$$\bar{r} = \frac{r}{r_0}; \quad \bar{v} = \frac{v}{v_0}; \quad \bar{\varphi} = \frac{\varphi}{\varphi_{\text{баз}}}; \quad \bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}; \quad \bar{F} = \frac{F}{F_0}; \quad \bar{J} = \frac{J}{J_0} \tag{2.5}$$

Параметри з нульовим індексом відповідають початковому або номінальному режиму.

Як базове значення кута повороту рулону прийнято кут повороту радіус-вектора при повному розмотуванні рулону:

$$\varphi_{\text{баз}} = 2\pi \frac{r_0}{\delta_{\text{п}}}, \tag{2.6}$$

де r_0 – початковий радіус;

$\delta_{\text{п}}$ – товщина плівки.

Система рівнянь, що описують рух рулону в процесі розмотування, може бути представлена у вигляді:

$$\begin{cases} \bar{r} = 1 - \bar{\varphi} + f_r(t), \\ T_0 \cdot \frac{d\bar{\varphi}}{dt} = \bar{\omega} = \frac{\bar{v}}{\bar{r}}, \\ \tau_0 \frac{d\bar{\omega}}{dt} + \frac{1}{\bar{r}^4}\rho_0\bar{\omega} = \frac{\bar{F}}{\bar{r}^3}, \\ \bar{F} = \bar{F}_{\text{н}} - \bar{F}_{\text{з}}. \end{cases} \tag{2.7}$$

У цих рівняннях постійні коефіцієнти:

$T_0 = \varphi_{\text{баз}}/\omega_0$ – умовний (при постійній кутовій швидкості ω_0) час розмотування рулону;

$\tau_0 = J_0\omega_0/F_0r_0$ – умовний (при постійному моменті імпульсу і постійному моменті зовнішніх сил F_0r_0) час розгону рулону;

$\rho_0 = b\omega_0/F_0r_0$ – відносне значення моменту в'язкого тертя (b – коефіцієнт тертя).

Періодична функція:

$$f_r(t) = \frac{e}{r_0} \approx \text{const} \tag{2.8}$$

Формула характеризує биття рулону внаслідок наявності ексцентриситету осі обертання e.

Математична модель рулону, побудована відповідно до рівнянь 2.7 (рис. 2.7, б), характеризує зміну параметрів рулону в процесі його розмотування, тобто протягом досить великого проміжку часу (умовний час розмотування становить кілька десятків хвилин). Разом з тим у стрічкоживильному пристрої протікають і більш швидкі процеси. Частота биття рулону, наприклад, становить 1 – 10 Гц; час проходження стрічки від рулону до друкарського апарату не перевищує кількох секунд.

Для вивчення цих процесів можна скористатися моделлю рулону, в якій радіус залишається практично незмінним протягом розглянутих малих проміжків часу.

У цьому випадку система рівнянь перетворюється до вигляду:

$$\begin{cases} \Delta\bar{r} = f_r(t), \\ \Delta\bar{v} = \Delta(\bar{\omega}\bar{r}) = \bar{r}\Delta\bar{\omega} + \frac{1}{\bar{r}}\Delta\bar{r}, \\ \left(\tau_0 p + \frac{\rho_0}{\bar{r}^4}\right)\Delta\bar{\omega} = \frac{\bar{F}}{\bar{r}^3}. \end{cases} \tag{2.9}$$

Тут враховується зміна радіуса $\Delta\bar{r}$, викликана биттям рулону, проте поточний середній радіус $\bar{r}$ для розглянутих малих проміжків часу вважається незмінним. Вирішуючи систему рівнянь відносно приросту швидкості

$$\Delta\bar{v} = \frac{1}{\bar{r}^2\tau_0 p + \rho_0/\bar{r}^2}\Delta\bar{F} + \frac{1}{\bar{r}}f_r(t). \tag{2.10}$$

Запишемо рівняння 2.10 в операторній формі:

$$V(p) = W_p(p,\bar{r})F(p) + \frac{1}{\bar{r}}F_r(p), \tag{2.11}$$

де V(p), F(p), F_r(p) – зображення за Лапласом функцій $\Delta\bar{v}(t)$, $\Delta\bar{F}(t)$і $f_r(t)$.

Передавальна функція рулону, що залежить від радіуса $\bar{r}$:

$$W_p(p,\bar{r}) = \frac{1}{\bar{r}^2\tau_0 p + \rho_0/\bar{r}^2} \tag{2.12}$$

Вплив члена $\rho_0/\overline{r^2}$ у знаменнику передавальної функції помітно позначається лише при малих радіусах $\bar{r}$ (оскільки $\rho_0 \ll 1$). Нехтуючи цим членом, отримуємо передавальну функцію рулону в наступному вигляді:

$$W_p(p,\bar{r}) = \frac{1}{\tau_r p}, \tag{2.13}$$

Щоб з'ясувати вплив биття на зміну швидкості в точці розмотування, наведемо збурюючий $f_e(t)$ вплив до входу рулону:

$$f_r(t) = r_0\varphi(t), \quad |t| = a_1 \sin\omega t. \tag{2.14}$$

де $a_l = J_0\omega_0^2/F_0 r_0^2 e -$ амплітуда періодичного збурення на вході в рулон.

Рулон можна розглядати і як окремий випадок стрічкопровідника, що приводиться в рух натягом стрічки (2.1).

Розглянемо і-й провідник (напрямний валик), до якого прикладено натяг F_{i-1} з боку матеріалу, що набігає, та натяг F_i з боку матеріалу, що збігає, і колова швидкість якого v_i (рис. 2.9).

Валик має незмінний момент інерції J_i і радіус r_i. Момент опору обертанню валика від сил тертя в цапфах пропорційний першому ступеню швидкості і характеризується коефіцієнтом b_i.

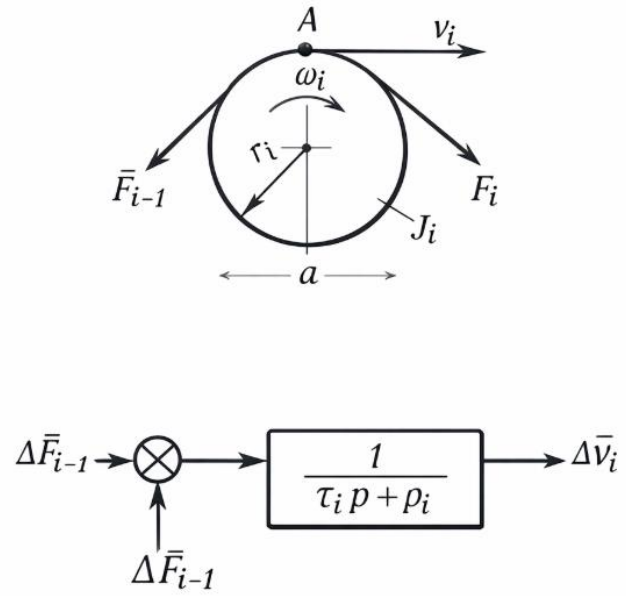


Рисунок 2.9 – Напрямний валик і його математична модель

Запишемо рівняння валика у відносних координатах:

$$(\tau_i p + \rho_i)\Delta\bar{v}_i = \Delta\bar{F}_i - \Delta\bar{F}_{i-1}, \tag{2.15}$$

де $\tau_i = J_i\omega_i/F_i r_i$– час розгону валика;

$\rho_i = b_i\omega_i/F_0 r_i$ – коефіцієнт самовирівнювання.

Здійснюючи перетворення Лапласа, знаходимо:

$$V_i(p) = W_i(p)[F_i(p) - F_{i-1}(p)], \tag{2.16}$$

де Wi(p) = $1/\tau_i\rho + \rho_i$ – передавальна функція валика.

Зазвичай самовирівнювання мале ($\rho_i \ll 1$) і ним можна знехтувати.

Зв'язок між натягом стрічки і швидкістю стрічкопровідника встановлюється за допомогою рівняння ділянки стрічки. У стрічці паперу або іншого деформівного матеріалу (плівці, тканині тощо), що рухається, протікають

процеси утворення і розвитку в часі деформацій і напружень. З одного боку, натягнута стрічка являє собою пружно-пластичне середовище, в якій розвиваються такі реологічні процеси, як релаксація і післядія. З іншого боку, під час руху стрічки в ротаційній машині відбувається процес безперервного заміщення стрічки в проміжках між провідниками або секціями машини; при цьому в стрічці змінюються деформації і натяг, пов'язані вже не з реологічними властивостями, а з умовами масообміну (рис. 2.10).

Крім того, процеси деформації стрічки, що рухається, істотно залежать від руху стрічкопровідників, з якими стрічка пов'язана силою тертя. Якщо тягове зусилля передається від провідника до стрічки, то провідник є ведучою ланкою, а стрічка – веденою, а якщо тягове зусилля передається від стрічки до провідника, стрічка є ведучою ланкою, а провідник – веденою.

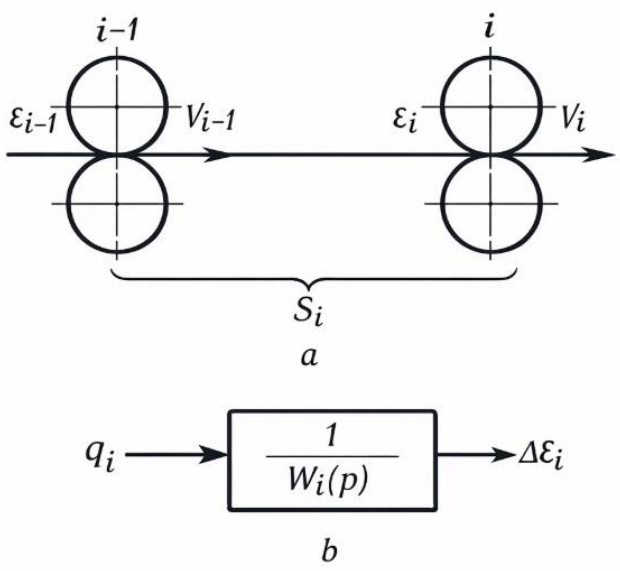


Рисунок 2.10 – Дільниця стрічки і її математична модель

Окремим випадком веденого провідника є рулон, швидкість розмотування якого залежить від натягу стрічки.

Для вивчення всіх цих складних процесів необхідно насамперед розглянути явища, що протікають на деякій ділянці стрічки, укладеній між двома провідниками, відносно яких стрічка не може проковзувати.

Вважається, що проковзування відсутнє при:

1) розмотуванні стрічки з рулону або при намотуванні на рулон;

2) наявності достатнього тиску в зоні контакту пари провідних циліндрів (валів);

3) дії радіальної складової сили натягу в разі охоплення вала стрічкою.

Фактично в зоні контакту стрічки з провідником відбувається більш складне явище: з боку гілки, що набігає, стрічка не деформується, зберігаючи свій первісний натяг, а з боку тієї, що збігає – виникає дуга ковзання у межах якої змінюється натяг стрічки і вона проковзує по провіднику внаслідок пружної деформації. Однак при малій довжині контактної зони порівняно з довжиною шляху стрічки, можна вважати, що зміна деформації (натягу) відбувається практично миттєво в точці сходження з попереднього провідника в зону розтягування між провідниками.

Далі можна вважати, що деформація стрічки та її зміни миттєво поширюються по всій довжині ділянки. І, нарешті, можна припустити, що розтяг одновимірний, тобто знехтувати зменшенням площі поперечного перерізу стрічки в результаті її розтягування.

Враховуючи зазначені припущення, розглянемо довільну ділянку стрічки, що рухається, яка безперервно заміщується по довжині між двома ведучими парами (i-1) – й і i-й колові швидкості яких v_{i-1} і v_i (рис. 2.9, а). Якщо масові надходження і витрата стрічки на розглянутій ділянці рівні, отримуємо рівноважний режим, який характеризується співвідношенням:

$$\frac{v_i - v_{i-1}}{v_i} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}}{1 + \varepsilon_{i-1}}, \tag{2.17}$$

де ε_{i-1}, ε_i – відносна деформація стрічки відповідно на вході та всередині ділянки.

Вважаючи, що відношення швидкостей стрічковедучих пар близьке до одиниці ($\upsilon_i \approx (\upsilon_{i-1} \approx \upsilon_0)$, на рівноважному режимі маємо:

$$\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1} \approx \frac{v_i - v_{i-1}}{v_i}. \tag{2.18}$$

Відхилення від рівноважного режиму може бути викликано зовнішнім впливом на стрічку, який узагальнено можна представити у вигляді функції:

$$q_i(t) = \Delta\varepsilon_{i-1} + \Delta\bar{v}_i - \Delta\bar{v}_{i-1} + T_i p \Delta\bar{s}_i, \tag{2.19}$$

де $\Delta\varepsilon_{i-1}$ – зміна відносної деформації стрічки на вході в ділянку;

$\Delta\bar{v}_i = \Delta v_i / v_0; \Delta v_{i-1}/v_0$ – відносне змінення швидкостей стрічковедучих пар;

$\Delta\bar{s}_i = \Delta s_i / s_i$ – відносне змінення шляху стрічки;

$T_i = s_i / v_0$– стала часу ділянки стрічки (час заміщення).

Зміна пружного стану ділянки стрічки (перехідний процес) описується операторним рівнянням:

$$E_i(p) = W_i(p) Q_i(p), \tag{2.20}$$

де $E_i(p)$ і $Q_i(p)$, – зображення функцій $\Delta\varepsilon_i$ (t) і q_i (t) за Лапласом;

Wi(p) – передавальна функція моделі руху (заміщення) стрічки на розглянутій ділянці.

У найпростішому випадку, коли стрічка здійснює вільний шлях від початку до кінця ділянки, модель руху відповідає аперіодичній ланці першого порядку [2.3 – 2.11]

$$W_i(p) = \frac{1}{T_i p + 1}. \tag{2.21}$$

Однак часто стрічка на своєму шляху огинає напрямні валики, які, маючи власний момент інерції, ускладнюють структуру динамічної моделі. Введення між стрічковедучими парами тільки одного напрямного валика підвищує порядок моделі до третього (утворюються дві ділянки стрічки, з'єднані через інерційний валик). За наявності кількох напрямних валиків ділянка стрічки являє собою багатоємнісний об'єкт.

Наступним важливим моментом конструювання математичної моделі є встановлення залежності між деформацією і натягом. Ця залежність випливає з розгляду реологічних властивостей паперової стрічки. В узагальненій операторній формі вона може бути представлена у вигляді:

$$F_i(p) = \frac{1}{\varepsilon_0} K_n(p) E_i(p). \tag{2.22}$$

де $F_{i(p)}$ – перетворення за Лапласом функції, що характеризує відносне змінення натягу стрічки:

$$\Delta F_i(t) = \sigma_i(t) = \Delta F_i / F_0 . K_n(p) \tag{2.23}$$

де $K_{n(p)}$ – оператор середовища (передавальна функція реологічної моделі стрічки).

Поява узгоджувального множника l/ε_0 у рівнянні 2.23 обумовлена використанням відносної координати натягу; при цьому виконується умова:

$$\frac{F_0}{\varepsilon_0} = f_0 E_д, \tag{2.24}$$

де f_0 – площа поперечного перерізу стрічки;

Е– статичний модуль пружності стрічки.

Для опису реологічних властивостей стрічки запропоновані (2.8) різні моделі, основними елементами яких є два ідеальних середовища: пружне (середовище Гука) і в'язке (середовище Ньютона). З вельми грубим наближенням реологічні властивості паперу можуть бути описані моделлю Максвелла, що являє собою паралельне з'єднання пружного і в'язкого середовища. Однак після зняття напруги в цій моделі залишається деформація, залежна від часу прикладання навантаження, що практично не спостерігається в папері. Більш точною моделлю пружно-пластичних властивостей паперової стрічки є модель, утворена паралельним з'єднанням моделі Гука і моделі Максвелла. Ця неузгоджена модель отримала назву моделі Пойнтінга – Томсона.

Схеми цих моделей та їхні динамічні характеристики K(p), ε(t) і $\overline{\sigma}(t)$ представлені в табл. 2.2. Характеристика $\Delta\bar{F}(t) = \bar{\sigma}(t)$ показує зміну деформації при незмінному навантаженні (випробування на післядію). Характеристика показує зміну натягу при незмінній деформації (випробування на релаксацію).

При випробуваннях за короткий проміжок часу, коли експериментальна шкала часу набагато менша часу моделі ($t \ll T$), модель Пойнтінга – Томсона поводиться як ідеально пружне тіло з оператором:

$$K_s(p) = 1 + \beta, \tag{2.25}$$

де β – динамічний коефіцієнт.

Таким чином, за досить малого часу проходження паперової стрічки в ротаційній машині (в процесі її руху) ділянку стрічки можна розглядати як пружне тіло із введенням поправочного динамічного коефіцієнта β.

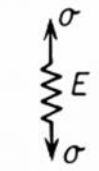
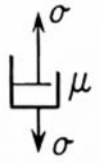
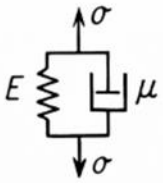
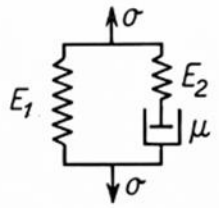
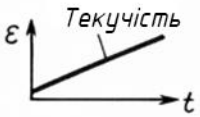
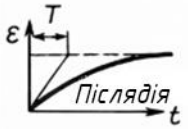
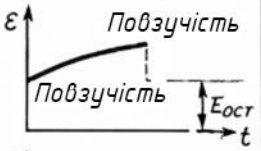
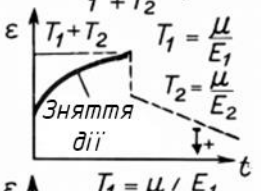
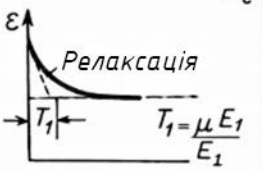
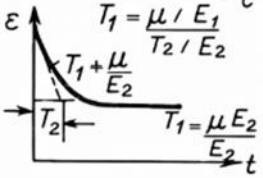
Об'єднуючи модель руху і модель середовища, отримуємо повну динамічну модель ділянки, що описується операторним рівнянням:

$$F_i(p) = \frac{1}{\varepsilon_0} K_s(p) W_i(p) Q_i(p). \tag{2.26}$$

Передавальна функція ділянки стрічки має вигляд

$$W_c(p) = \frac{1}{\varepsilon_0} K_s(p) W_i(p). \tag{2.27}$$

Таблиця 2.2 – Механічні моделі паперового полотна

Прості моделі		Складні моделі		
Пружна	В'язка	Паралельне З'єднання	Послідовне З'єднання	Комбіноване З'єднання
				
$\bar{\sigma} = \varepsilon$	$\bar{\sigma} = Tp\varepsilon$	$\sigma = (1+T_p)\,\varepsilon$	$\sigma = \frac{Tp}{Tp+1}\varepsilon$	$\bar{\sigma} = \frac{(1+T_1+T_2)\,\varepsilon}{Tp+T_1}\varepsilon$
	$\varepsilon = \frac{1}{Tp+}\bar{\sigma}$	$\varepsilon = \frac{1}{Tp+1}\bar{\sigma}$	$\varepsilon = (1+\frac{1}{Tp})\sigma$	$\varepsilon = \frac{1+T_1+T_2}{1+T_2})\sigma$
				
$T = \frac{\mu}{E}$		$T = \frac{\mu}{E}$		

За умови вільного (без напрямних валиків) руху стрічки і досить малого часу заміщення стрічки (цей час значно менший за час релаксації) її передавальна функція може мати вигляд:

$$W_c(p) = \frac{1+\beta}{\varepsilon_0} \frac{1}{T_i p + 1}. \tag{2.28}$$

На динамічні властивості ділянки стрічки великий вплив справляє плаваючий валик, який не має жорстко закріпленої опори і переміщується під дією натягу стрічки, що його охоплює (рис. 2.10, а).

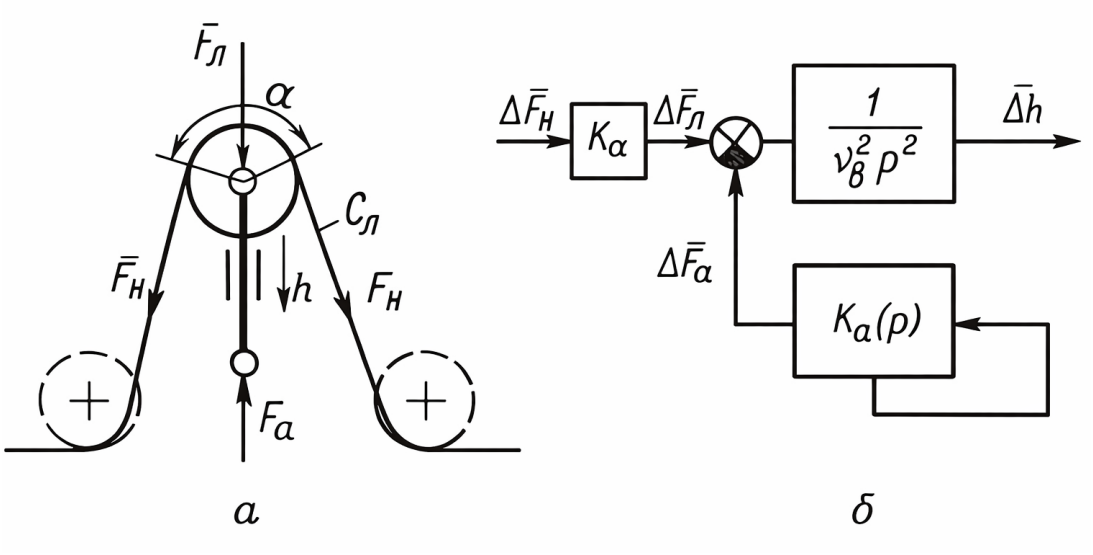


Рисунок 2.11 – Плаваючий валик і його математична модель

При рівноважному режимі зусилля стрічки врівноважується опором амортизатора $F_л = F_а$.

На перехідних режимах різниця сил визначає поступальне переміщення валика. Рівняння руху у відносних координатах має вигляд:

$$\Delta\ddot{\bar{h}} = \frac{1}{\nu_c^2 \tau_c^2}(\Delta\bar{F}_н - \Delta\bar{F}_з). \tag{2.29}$$

де

$$\Delta\bar{h} = \Delta h/\Delta l_{ст};\ \Delta F = \Delta F/F_0; \tag{2.30}$$

$\nu_в = \sqrt{\frac{c_л}{m_в}}$ – власна частота плаваючого валика;

$m_в$ – маса валика і рухомих частин підвіски;

$c_л = \frac{F_0}{\Delta t_0} = \frac{f_л E_л}{t_0}$ – умовна жорсткість стрічки.

Переходячи до перетворення Лапласа, знаходимо:

$$H(p) = \frac{1}{\nu_c^2 \tau_c^2}[F_{\text{н}}(p) - F_{\text{з}}(p)]. \tag{2.31}$$

Сила опору амортизатора ΔF_a або її зображення $F_a(p)$ визначається законом руху підвіски плаваючого валика:

$$F_{\text{а}}(p) = K_{\text{а}}(p) H(p), \tag{2.32}$$

де – оператор (передавальна функція) амортизатора.

Зусилля стрічки або її зображення залежить від натягу стрічки і кута охоплення валика стрічкою:

$$\Delta F_{\text{л}} = k_{\text{л}} \Delta F_{\text{н}}, \tag{2.33}$$

де $k_{\text{л}} = 2 \sin \frac{\alpha}{2}$ – коефіцієнт кута охоплення.

Плаваючий валик і амортизатор утворюють зустрічно-паралельне з'єднання, тобто систему зі зворотним зв'язком (рис. 2.11, б), передавальна функція якої має вигляд:

$$W_{\text{в}}(p) = \frac{k_{\text{л}}/(\nu_c^2 \tau_c^2)}{1 + K_{\text{а}}(p)/(\nu_c^2 \tau_c^2 p^2)} = \frac{k_{\text{л}}}{\nu_c^2 \tau_c^2 p^2 + K_{\text{а}}(p)}. \tag{2.34}$$

Таким чином, динаміка плаваючого валика визначається типом його підвіски (амортизатора). Основними елементами підвіски є упругий елемент (пружина) і в'язкий елемент (демпфер). Використовуючи різні способи з'єднання

цих елементів, можна отримати різноманітні динамічні моделі плаваючого валика. Ці способи наведені в рис. 2.12.

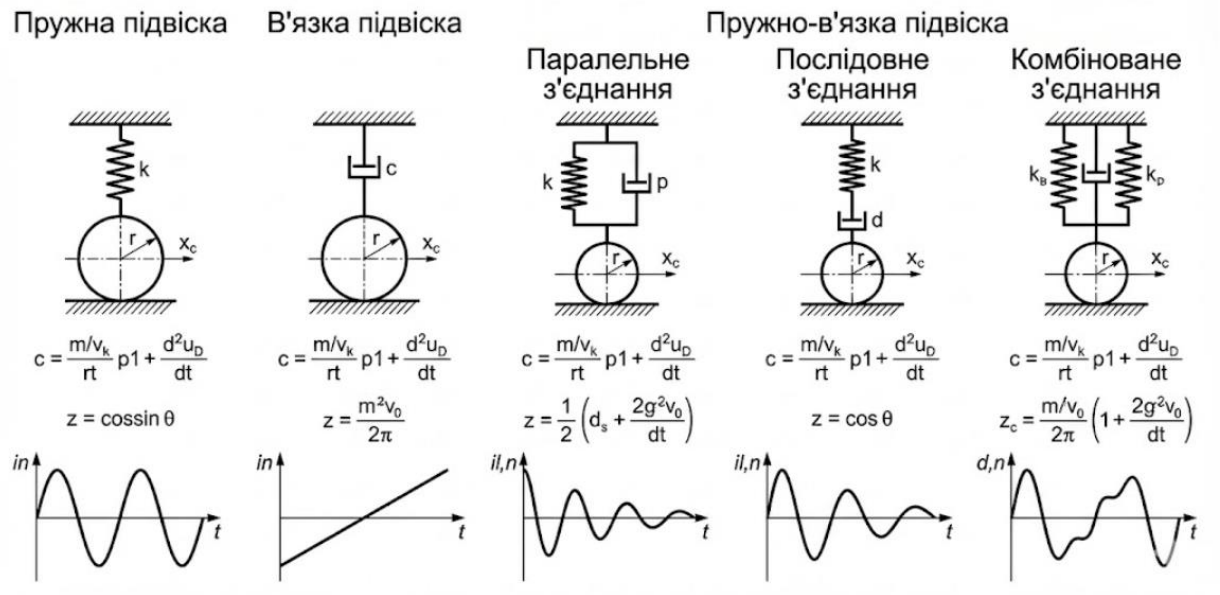


Рисунок 2.12 – Математичний опис плаваючого валика [21]

У разі ідеальної пружної підвіски (силами сухого і в'язкого тертя нехтуємо) валик являє собою коливальну ланку: під дією стрибкоподібної зміни натягу він здійснює коливання з постійною амплітудою. Валик із в'язкою підвіскою являє собою інерційну інтегруючу ланку; при дії на нього стрибкоподібної зміни натягу переміщення валика відбувається за інтегральним законом і супроводжується явищем перехідного запізнення.

Паралельне з'єднання пружини і демпфера утворює пружнов'язку підвіску з ПД-законом передачі сигналу. Плаваючий валик з амортизатором цього типу являє собою ланку 2-го порядку, характер руху якого залежить від відносної ступеня демпфірування $\xi_в$. В інтервалі значень $0 < \xi_в < 1$ мають місце згасаючі коливання валика; при $\xi_в > 1$ перехідний процес набуває аперіодичного характеру.

Послідовне з'єднання пружини і демпфера відповідає пасивній диференціюючій ланці, включення якої як зворотного зв'язку в систему «валик –

амортизатор» створює ПІ-закон руху валика. Комбіноване послідовно-паралельне з'єднання двох пружин і демпфера дасть можливість отримати ПІД-закон руху.

У системах прямого регулювання закон регулювання натягу стрічки фактично визначається законом переміщення плаваючого валика, що використовується як вимірювальна ланка. Тому реалізація типових законів регулювання шляхом вибору відповідної конструкції підвіски плаваючого валика має велике практичне значення.

На основі математичних моделей типових елементів (рулону, стрічки, напрямних валиків) може бути складена математична модель стрічкоживильного пристрою в цілому. Побудова такої моделі, що відображає основні риси реального технологічного процесу, має визначальне значення для вирішення завдань автоматизації: складання алгоритму керування і попереднього вибору параметрів керуючої системи.

Відповідно до структурної схеми СПП (стрічкопротяжного пристрою) і на основі математичного опису типових елементів, можна скласти схему математичної моделі СПП (рис. 2.13).

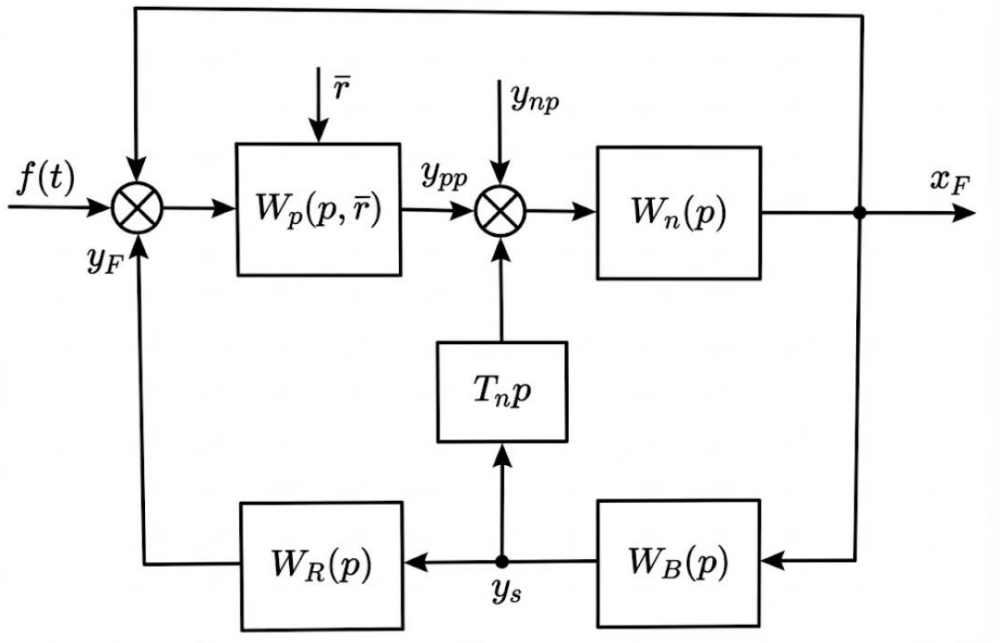


Рисунок 2.13 – Математична модель стрічкоживильного пристроя

Для зручності зв'язку між елементами використовуються нормовані відносні координати, які виражаються відношенням відхилень (від рівноважних значень) фізичних координат до деяких базових відхилень. Базові відхилення вибираються таким чином, щоб межі змін нормованих відносних координат не перевищували одиниці. При використанні цих координат можна отримати рівняння елементів системи в нормованому вигляді, а коефіцієнти цих рівнянь набувають ясного фізичного змісту і легко підраховуються за вихідними параметрами системи.

До складу математичної моделі входить регулюючий пристрій, в якому формується регулюючий гальмівний вплив на рулон за сигналом вимірювального (плаваючого) валика і відповідно до прийнятого закону регулювання, описуваного передавальною функцією $W_{р(р)}$.

З аналізу математичної моделі випливає, що система СПП-САР (система автоматичного регулювання) має досить складну динамічну структуру, яка містить ряд зворотних зв'язків (з урахуванням місцевих зворотних зв'язків всередині елементів).

Загальний порядок системи, що визначається сумою порядків структурних елементів, може досягати 10-15 (залежно від кількості напрямних валиків).

В окремих елементах системи (рулон, регулятор, амортизатор) можуть бути наявні нелінійності (наприклад, сухе тертя, люфти), які ускладнюють динаміку системи й можуть відігравати роль дестабілізуючих факторів.

Робота системи відбувається в умовах зміни радіуса рулону $\bar{r}$, биття рулону f_e та дії на стрічку й друкарський апарат різного роду збурень.

Незважаючи на зазначену складність, математична модель стрічкоживильного пристрою, будучи реалізованою у відповідних програмах на ЕОМ, дає можливість досліджувати динаміку процесів зміни натягу стрічки за будь-яких вхідних впливів, а також за різних значень параметрів рулону, провідників і стрічки, за різних законів регулювання натягу та різних типів підвісок плаваючого валика.

Можливе також і аналітичне дослідження моделі, яке може бути проведене за деяких її спрощень, але зі збереженням суттєвих особливостей динаміки системи.

Висновок. У другому розділі проведено всебічний аналіз методики моделювання стрічкопровідної системи, що дозволило детально розглянути принципи функціонування сучасних рулонних пакувальних машин. Встановлено, що стабільність натягу полотна є критичним фактором, який безпосередньо впливає на точність суміщення, відсутність механічних пошкоджень стрічки та загальну якість пакування на високих швидкостях. Розглянута механіка подачі матеріалу засвідчила складну залежність між динамічними параметрами рулону, що є тілом змінної маси, та роботою систем гальмування і стабілізації. Особливу увагу приділено функціональній ролі плаваючих валиків та амортизаційних пристроїв, які компенсують нерівномірність розмотування, спричинену ексцентриситетом або деформацією рулонів. Аналіз патентної документації підтвердив світову тенденцію до автоматизації процесів вирівнювання полотна за допомогою прецизійних сенсорів та вдосконалених пневматичних механізмів подачі. Сформована комплексна математична модель вузла, яка базується на передавальних функціях рулону, напрямних валиків та ділянок стрічки з урахуванням реологічних властивостей паперу за моделлю Пойнтінга-Томсона. Отримана модель дозволяє враховувати інерційні навантаження та перехідні процеси в системі, що створює необхідне теоретичне підґрунтя для розробки ефективних алгоритмів автоматичного керування натягом та оптимізації роботи стрічкопровідного тракту в умовах реального виробничого циклу.

3. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАТЯГУ ПАКУВАЛЬНОЇ ПЛІВКИ

3.1 Алгоритм роботи системи системи

При повному розмотуванні рулону поточний радіус досягає свого мінімального значення (радіуса гільзи/втулки):

$$r_{min} = r_0 - \frac{L \cdot \delta_{\text{п}}}{2\pi \cdot r_{avg}}, \quad (3.1)$$

де r_0 – початковий радіус рулону;

$\delta_{\text{п}}$ – товщина плівки;

L – повна довжина матеріалу в рулоні.

Для стабілізації натягу пакувальної плівки в сучасних машинах використовується двоконтурна або комбінована система:

1. Головний контур (за замкнутим принципом): зворотний зв'язок від плаваючого валика (або тензодатчика натягу) надходить на ПІД-регулятор, який коригує гальмівний момент на розмотувачі.

2. Контур компенсації (за розімкнутим принципом): датчик діаметра (ультразвуковий або розрахунковий за швидкостями) безпосередньо змінює базовий гальмівний момент пропорційно поточному радіусу рулону r_t.

Реалізація алгоритму в мікропроцесорному контролері виконується в циклічному перериванні часу (зазвичай Δt = 10 - 50 мс).

3.2 Алгоритм управління пакувальної машини

Аналізуючи блок-схему, можна з’ясувати, як різні вхідні дані впливатимуть на кінцевий результат та яким чином буде здійснюватися процес

регулювання.

Блок-схему алгоритму регулювання пакувальної машини представлено на рисунку 3.1.

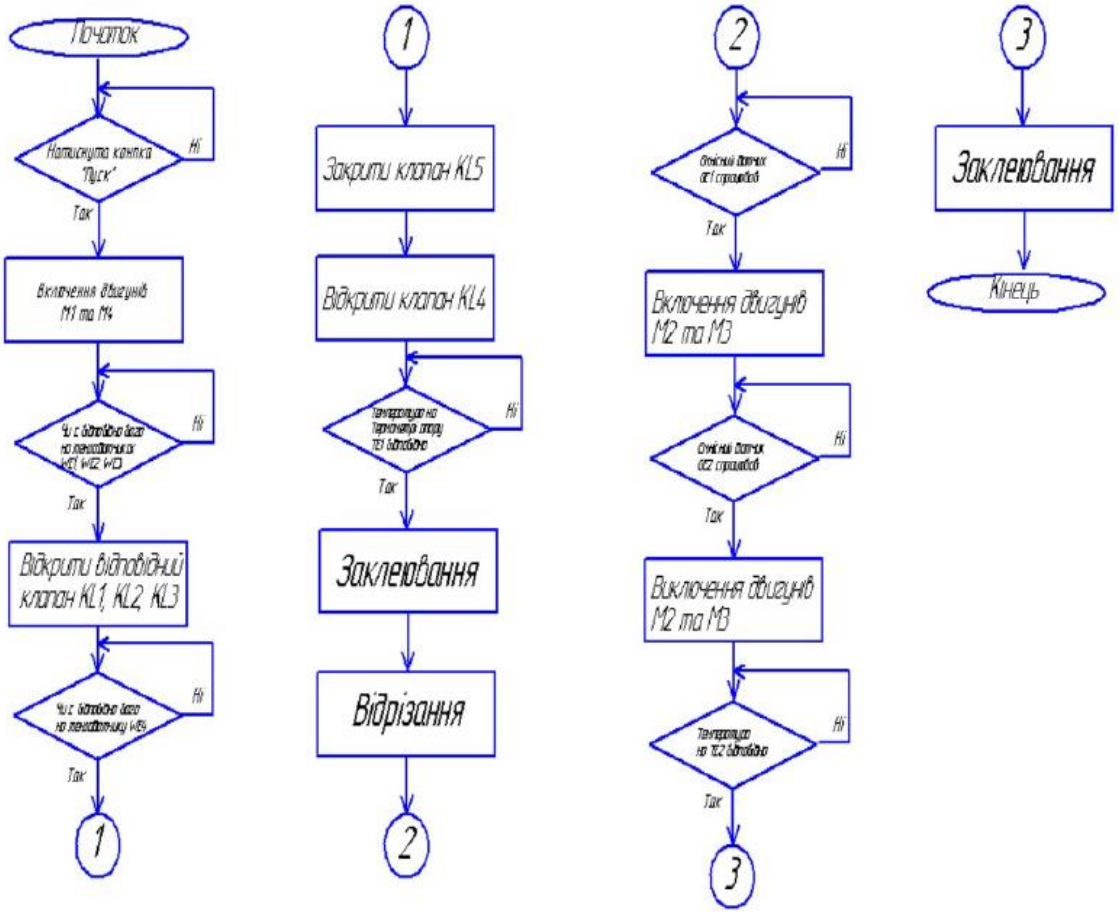


Рисунок 3.1 – Блок-схему алгоритму регулювання пакувальної машини

3.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ

У даному розділі наведено датчики і виконавчі засоби для автоматизованої системи пакування. Посилаючись на інформацію з попереднього розділу обрано технічні засоби, які за своїми характеристиками конкурентними особливостями найкраще відповідають до даного процесу.

Для вимірювання температури обрано термоперетворювач опору типу ТСМУ-276 через технічні параметри та вимірювання температури від 0°С до

+300°С. Зовнішній вигляд ТСМУ-276 зображений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Термоперетворювач опору ТСМУ-276

Термоперетворювачі ТСМУ Метран-276 можуть застосовуватися у вибухонебезпечних зонах, в яких можливе утворення вибухонебезпечних сумішей газів, парів, горючих рідин з повітрям категорій IIA, IIB і IIC, по Т1, Т6 груп ГОСТ Р 51330.11-99. Призначені для вимірювання температури нейтральних і агресивних середовищ, по відношенню до яких матеріал захисної арматури є корозійностійким. Чутливий елемент первинного перетворювача і вбудований в головку датчика вимірювальний перетворювач перетворять вимірювану температуру в уніфікований вихідний сигнал від 0мА до 5 мА або від 4мА до 20 мА, що дає можливість побудови АСУТП без застосування додаткових нормуючих перетворювачів.

Технічні характеристики ТСМУ Метран-276:

– НСХ Pt100;

– межа основної зведеної похибки: плюс-мінус 0,25%; плюс-мінус 0,50%;

– вихідний сигнал: від 0 мА до 5 мА або 4мА до 20 мА;

– залежність вихідного сигналу від вимірюваної температури: лінійна;

– діапазон вимірюваних температур: від мінус 50°С до плюс 100°С, від мінус 50°С до плюс 150°С, від 0°С до плюс 150°С, від 0°С до плюс 50°С, від мінус 50°С до плюс 50°С, від 0°С до плюс 100°С, від 0°С до плюс 200°С, від 0°С до плюс 300°С, від 0°С до плюс 400°С, від 0°С до плюс 500 °С;

– показник теплової інерції: не більше 20 секунд;

– матеріал захисної арматури: сталь 12Х18Н10Т (код виконання за матеріалами Н10);

– матеріал головки: поліамід технамід А-СВ30-Л;

– ступінь захисту від впливу пилу і води: IP65 по ГОСТ 14254.

Термоперетворювач ТСМУ-276 найкраще підходить для даної системи оскільки він повністю задовольняє умови нашої схеми.

Датчик натягу F7301 призначений для перетворення значення сили натягу плівки в уніфікований вихідний сигнал 4…20мА. Зовнішній вигляд F7301 зображено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд датчика натягу F7301

Основні характеристики:

– напруга живлення – від 9В до 36В;

– клас захисту – III;

– вихідний сигнал – від 4 мА до 20мА;

– діапазон вимірювання – від 0 Гц до 5 кГц або від 0 Гц до 10000 кГц;

– тип захисту – IP67;

– похибка – 0,25%.

Для визначення наявності плівки було обрано ємнісні датчики типу CSN EF89P5-863-20-L через їх технічні параметри, простоти монтажу та не впливає на середовище вимірювання. Зовнішній вигляд CSN EF89P5-863-20-L зображений на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд CSN EF89P5-863-20-L

Програмований ємнісний датчик CSN EF89P5-863-20-L призначений для контролю рівня заповнення годівниць комбікормом і управління приводом шнека. Датчик може застосовуватися в якості датчика рівня заповнення первинних і проміжних бункерів сипучої речовини, а так само для контролю наявності / відсутності діелектричних і електропровідних матеріалів (твердих, сипучих, рідких).

Технічні параметри ємнісного датчика CSN EF89P5-863-20-L:

- принцип вимірювання: ємнісний;
- розмір корпусу: М30 х 1,5мм х 130мм;
- спосіб установки в метал: не вбудований;
- номінальний зазор: 20 мм;
- діапазон робочих напруг, Uроб.: від 90 В до 250 В АС;
- матеріал корпусу: Полімер;
- тип контакту / структура виходу реле / перемикальний;
- частота перемикання, Fmax: 1 Гц;
- гістерезис: від плюс 5% до плюс 20%;
- діапазон робочих температур: від мінус 25 °С до плюс 75 °С;
- ступінь захисту по ГОСТ 14254-96 IP65;

– світлова індикація: є;

– комутований постійний струм: від 0,1А до 2 А;

– комутований змінний струм: від 0,1А до 4 А;

– максимально комутовану змінну напругу: 250 В;

– максимально комутовану постійна напруга: 200 В;

дискретність установки затримки: 1 с;

– приєднання / підключення кабель ПМВ: 5х0,75 кв. мм.

Тензодатчик типу Utilcell 104 призначений для перетворення значення ваги в дискретний вихідний сигнал. Зовнішній вигляд Utilcell 104 зображено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд Utilcell 104

Основні характеристики:

– номінальне навантаження – 0,3 кг, 0.6 кг, 1.2 кг, 3 кг;

– клас точності – 3000 n.OIML;

– напруга живлення – 10 В;

– степінь захисту – IP66;

– платформа – 200 мм х 200 мм.

Для регулювання швидкості двигуна обрано частотний перетворювач Lenze 8200 Vector через його технічні параметри, простоти монтажу та кількість входів/виходів. Зовнішній вигляд Lenze 8200 Vector зображений на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд Lenze 8200 Vector

Перетворювачі частоти Lenze 8200 Vector для системних рішень.

Універсальний діапазон продукції надає все, що необхідно для зручної роботи, діагностики і зв'язку.

Структура меню подібна до структури в мобільних телефонах. Користуючись новою ергономічною клавіатурою XT, Ви налаштовуєте перетворювач частоти дуже просто і швидко.

Швидка установка Lenze 8200 Vector.

Нова програма Global Drive Control зробить Ваше життя легше.

Зумовлені базові конфігурації дозволяють дуже легко, а найголовніше – швидко ввести в експлуатацію перетворювач. Це економить час – і тому витрати, що враховуються в собівартості продукції.

Функціональні модулі Lenze 8200 Vector з притискуються пружинами контактами дозволяють легко і просто підключати прилад. Природно, штепселі захищені проти зміни полярності.

Екранування силових кабелів і кабелів управління Lenze 8200 Vector дозволяю робити простіше електромонтаж відповідно до електромагнітної сумісності (EMC). Просте закріплення екранів кабелів забезпечує великий

контакт екранів кабелів для оптимальної EMC (клас фільтра придушення перешкод – ФПП - А і В відповідно до стандарту EN 55011).

Діапазон потужностей Lenze 8200 Vector: від 0.25 кВт до 7,5 кВт, 230 кВт або 240 В; від 0.55 кВт до 90 кВт, 400 В або 500 В.

Перевантажувальна здатність Lenze 8200 Vector: 180% від номінального моменту протягом 60 секунд від 15 кВт і додатково 210% – протягом 3 секунд.

Робочі режими Lenze 8200 Vector:

– закон управління: напруга або частота лінійне або квадратичне, векторне управління;

– управління моментом без датчика ОС моменту;

– глибина регулювання швидкості: 1: 50 (без датчика ОС);

– частота інвертора: 1кГц, 2кГц, 4кГц, 8кГц, 16 кГц;

– вихідна частота: до 650 Гц.

Для підключення двигуна обрано магнітний пускач ПМ 1-12-01 (LC1-D1201) через його технічні параметри, простоти монтажу та кількість входів/виходів. Зовнішній вигляд ПМ 1-12-01 (LC1-D1201) зображений на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд магнітного пускача ПМ 1-12-01 (LC1-D1201)

Контактор (механічний) – механічний комутаційний апарат з єдиним положенням спокою, оперований не вручну, здатний включати, проводити і відключати струми в нормальних умовах ланцюга, в тому числі при робочих перевантаженнях.

Електромагнітний контактор – контактор, в якому сила, необхідна для замикання замикаючих головних контактів або розмикання спорогенезів головних контактів, створюється електромагнітом.

Вакуумний контактор (пускач) – контактор (пускач), у якого головні контакти розмикаються і замикаються всередині оболонки з сильно розрідженою атмосферою.

Положення спокою контактора – положення, займане рухливими частинами контактора, коли його електромагніт або пневматичний пристрій не отримують споживання.

Головне коло контактора складається із силових струмопровідних елементів, які безпосередньо замикають та розмикають лінію живлення потужного навантаження, наприклад, електродвигуна чи нагрівача. На відміну від нього, коло керування містить лише ті деталі, які потрібні для ввімкнення та вимкнення самого апарата, зокрема котушку електромагніту, що реагує на зовнішній сигнал. Допоміжне коло служить для сторонніх завдань, тому підключається до систем, які не пов'язані з силовими лініями чи безпосереднім керуванням контактором, а використовуються для активації сигнальних ламп або передачі статусу пристрою в автоматику.

Надійність апарата визначається двома видами зносостійкості. Комутаційна зносостійкість показує, скільки разів контактор може увімкнути та вимкнути струм у реальних робочих умовах без підгоряння контактів та потреби в ремонті.

Механічна зносостійкість відображає міцність конструкції «вхолосту», тобто граничну кількість спрацьовувань механічних вузлів без електричного навантаження до моменту, коли деталі зносяться.

При цьому інтенсивність роботи пристрою обмежується частотою електричних перемикань, яка визначає допустиму кількість циклів комутації за одну годину.

Здатність апарата витримувати навантаження описується кількома ключовими параметрами.

Номінальна вмикальна здатність – це максимальний струм, який контакти можуть безпечно замкнути за встановлених виробником умов без ризику залипання.

У повторно-короткочасному режимі контакти залишаються замкнутими протягом періодів, які чергуються з паузами, причому обидва ці інтервали настільки короткі, що апарат не встигає досягти теплової рівноваги – він ні повністю нагрівається, ні повністю охолоджується.

Паспортні можливості пристрою для запуску обладнання визначає номінальна потужність у кіловатах, яка вказує на граничну потужність стандартного двигуна, яким можна керувати при певній напрузі. Крім того, важливим є струм термічної стійкості, який визначає максимальну силу струму, що її закритий контактор здатний безперервно пропускати крізь себе щонайменше 8 годин, не перегріваючись вище безпечної норми.

Магнітний або електромагнітний пускач є комплексним комутаційним апаратом, який об'єднує в собі всі пристрої, необхідні для безпечного розгону та зупинки електродвигуна, а також його захисту від критичних перевантажень. Сила, що змушує його головні контакти замкнутися, генерується вбудованим електромагнітом. Залежно від конструкції та способу підключення обмоток, пускачі поділяють на кілька основних типів. Найпростіший пускач прямої дії подає повну напругу мережі на виводи двигуна за один ступінь. Більш складний реверсивний пускач здатний змінювати напрямок обертання ротора шляхом перемикання фаз живлення на льоту, тобто без обов'язкової попередньої зупинки вала. На противагу йому, пускач з двома напрямками обертання виконує таке ж перемикання фаз виключно після повної зупинки двигуна, що запобігає важким динамічним ударам у механічних вузлах. Для зниження пускових струмів

трифазних асинхронних двигунів застосовують пускач зі схемою зірка-трикутник, який на етапі запуску з'єднує обмотки статора зіркою, а після досягнення робочих обертів автоматично перемикає їх у трикутник.

Для захисту двигунів від аварійних режимів у складі пускачів використовуються спеціальні захисні елементи та реле. Багатополюсні теплові реле, чутливі до обриву або випадання фази, реагують не лише на загальне струмове перевантаження, а й на небезпечний асиметричний режим роботи, що виникає, коли зникає одна з живильних ліній. Окрему функцію безпеки виконують мінімальні реле або розчеплювачі струму й напруги, які є вимірювальними органами та автоматично вимикають живлення, якщо контрольована величина опускається нижче критично встановленої межі, захищаючи обладнання від самовільного запуску після відновлення напруги.

Для роботи транспортерів обрано двигун ПК АИРЕ 90 LB2 через його технічні параметри, простоти монтажу та якості пристрою. Зовнішній вигляд ПК AIP 90 LB2 зображений на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд двигуна ПК AIP 90 LB2

Електродвигун AIP 90 LB2 , У2 IM1081 асинхронний. Його маркування розшифровується наступним чином:

AIP – це серія електродвигуна («А» – асинхронний, I – уніфікована серія по стандарту («Інтерелетро»);

E – однофазний;

90 – це розмір електродвигуна (висота осі обертання, відстань між центром валу електродвигуна і його підставою, станиною);

LB – настановний розмір по довжині станини (довжина пакета статора);

«2» – число пар полюсів (параметр впливає на швидкість обертання, «2» відповідає 3000 об / хв);

У2 – це кліматичне виконання електродвигуна.

Дана модель електродвигуна поставляється нашим підприємством в двох виконаннях:

IM1081 – виконання електродвигуна, на лапах;

IM2081 – комбіноване виконання електродвигуна лапи і

фланець. Електродвигун асинхронний у виконанні IM2081 матиме вартість і 5% до базової ціни електродвигуна на лапах у виконанні IM1081;

IP54 – степень захисту електродвигунів.

Технічна характеристика електродвигуна AIP 90 LB2:

– у стандартному виконанні: напруга 220 в, частота 50 гц.;

– висота осі обертання: 90 мм.;

– виконання станини: чавунне;

– маса електродвигуна: 19,3 кг.;

– потужність електродвигуна: 3 кВт;

– клас ізоляції: F;

– частота обертання електродвигуна - 3000 об./хв.;

– cos φ електродвигуна: 0,90;

– граничні відхилення напруги живлення від мінус 5% до 10%, частоти струму плюс-мінус 2,5% то номінальних значень;

– номінальний режим роботи: s1 по ГОСТ 183-74;

– умови експлуатації електродвигуна асинхронного AIP 90 LB2;

– температура навколишнього повітря: від мінус 45°С до 40 °С для кліматичного виконання У2;

– відносна вологість: 100% при 25 °С для виконання У.

Загальні відомості по електродвигуна АИРЕ 90 LB2 (рис. 3.9) – це асинхронний однофазний електродвигун застосовується переважно в якості приводів різного устаткування використовується в побутових цілях.



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд AIP 180 M2

Для обертання валу обрано електродвигун трифазний AIP 180 M2 30 кВт, 3000 об / хв.

В цій системі автоматизації пакування використовується ОВЕН ПЛК150 і нам потрібно: три аналоговий входа, сім дискретних входів, три аналогових виходи та вісім дискретних виходів.

На рисунку 3.10 зображений зовнішній вигляд ОВЕН ПЛК 150.

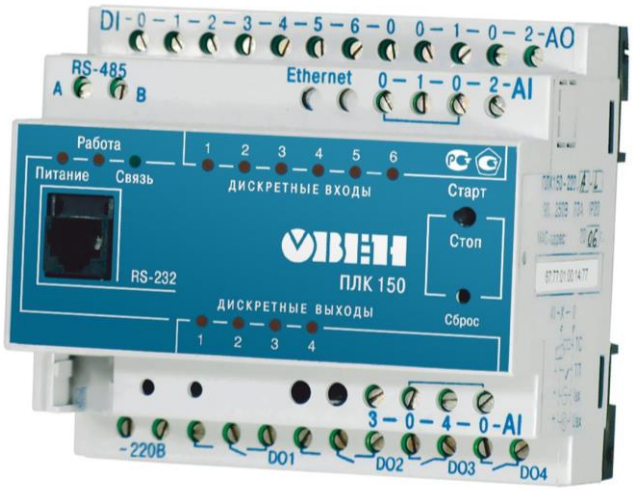


Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд ОВЕН ПЛК150

Логічний контролер ПЛК150 можна використовувати для створення систем управління малими та середніми об'єктами та побудови систем диспетчеризації.

Побудова системи управління і диспетчеризації на базі ОВЕН ПЛК можливо як з допомогою провідних засобів - вбудовані інтерфейси Ethernet, RS-232, RS-485, так і за допомогою бездротових засобів – використовуючи радіо-модем, GSM-модем або ADSL модеми.

Переваги програмованого контролера ПЛК 150:

− швидкість роботи дискретних входів - до 10кГц при використанні підмодулів лічильника;

− можливість створювати і зберігати архіви на Flash контролера;

− велика кількість інтерфейсів на борту: Ethernet, 3 послідовних порту, USB Device для програмування контролера, що працюють незалежно один від одного;

− відсутність ОС, що підвищує надійність роботи контролерів;

− широкі можливості самодіагностики контролера;

− вбудований акумулятор, що дозволяє «перечікувати» зникнення живлення – виконувати програму при зникненні живлення, і переводити вихідні елементи в »безпечний стан»;

− вбудований годинник реального часу;

− можливість роботи по будь-якому нестандартному протоколу по будь-якому з портів, що дозволяє підключати пристрої з нестандартним протоколом (електро-, газо-, водолічильники, зчитувачі штрих - кодів і т.д.);

− розширений температурний діапазон роботи: від -20 до +70 ° С;

− набір готових програмних модулів, що надаються безкоштовно.

Технічні характеристики приладу наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики ОВЕН ПЛК150

Параметр	Значення
Загальні відомості	
Конструктивне виконання	Уніфікований корпус для кріплення на DIN-рейку (ширина 35 мм), довжина 105 мм (6U), крок клем 7,5 мм
Ступінь захисту корпусу	IP20
Напруга живлення ПЛК150-24	18 ... 29 В постійного струму (номінальна напруга 24 В)
Напруга живлення ПЛК150-220	90 ... 264 В змінного струму (номінальна напруга 220 В) частотою 47 ... 63 Гц
Споживана потужність	6 Вт
Індикація передньої панелі	1 індикатор живлення 6 індикаторів станів дискретних входів 4 індикатори станів виходів 1 індикатор наявності зв'язку з CoDeSys 1 індикатор роботи програми користувача
Ресурси	
Центральний процесор	32-х розрядний RISC-процесор 200 МГц на базі ядра ARM9
Об'єм оперативної пам'яті	8 МБ
Обсяг енергонезалежної пам'яті	4 МБ (для зберігання ядра CoDeSys, програм і архівів)
Розмір Retain-пам'яті	4 КБ
Час виконання циклу ПЛК	Мінімальний – 250 мкс (нефіксований), типовий – від 1 мс
Дискретні входи	
Кількість дискретних входів	6
Гальванічна ізоляція	Є, групова
Електрична мічність ізоляції	1,5 кВ
Максимальна частота сигналу	1 кГц при програмній обробці 10 кГц при застосуванні апаратного лічильника та обробника енкодера

Дискретні виходи	
Кількість дискретних виходів	4 електромагнітних реле
Характеристики виходів	Струм комутації до 2 А при напрузі не більше 220 В (50 Гц) і cosφ>0,4
Гальванічна ізоляція	Є, індивідуальна
Електрична мічність ізоляції	1,5 кВ
Аналогові входи	
Кількість аналогових входів	4
Типи підтримуваних уніфікованих сигналів	Напруга: 0...1 В, 0...10 В, -50...+50 мВ Струм: 0...5 мА, 0(4)...20 мА Опір: 0...5 кОм
Типи підтримуваних датчиків температури	Термоопори: ТСМ50М, ТСП50П, ТСМ100М, ТСП100П, ТСН100Н, ТСМ500М, ТСП500П, ТСН500Н, ТСП1000П, ТСН1000Н Термопари: ТХК (L), ТЖК (J), ТНН (N), ТХА (K), ТПП (S), ТПП (R), ТПР (В), ТВР (А-1), ТВР (А-2)
Розрядність вбудованого АЦП	16 біт
Внутрішній опір в режимі струму	50 Ом
Внутрішній опір в режимі напруги (0...10 В)	близько 10 кОм
Час опитування одного входу	0,5 с
Межа основної зведеної похибки	0,50%
Гальванічна ізоляція	Відсутня
Аналогові виходи	
Кількість аналогових виходів	2
Розрядність ЦАП	10 біт
Тип вихідного сигналу ПЛК150-І	Струм 4 ... 20 мА
Тип вихідного сигналу ПЛК150-У	Напруга 0 ... 10 В

Тип вихідного сигналу ПЛК150-А	Струм 4 ... 20 мА або напруга 0 ... 10 В
Живлення аналогових виходів	Вбудоване, загальне на всі виходи
Гальванічна ізоляція	Є, групова
Інтерфейси зв'язку	
Фізичні інтерфейси	Ethernet 100 Base-T, RS-232, RS-485
Швидкість обміну по RS-232 / RS-485	Від 4800 до 115200 bps
Підтримувані протоколи	ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON, ModBus-TCP, GateWay (протокол CoDeSys)
Програмування	
Середовище програмування	CoDeSys 2.3.8.1 (і старше)
Інтерфейс для налагодження та завантаження	RS-232 або Ethernet

Висновки. У ході виконання роботи було розроблено покроковий алгоритм роботи системи регулювання натягу, який базується на принципах адаптивного керування із динамічною компенсацією зміни радіуса рулону в процесі його розмотування. Це дозволило створити гнучку структуру цифрового ПІД-регулятора, коефіцієнти якого автоматично перераховуються залежно від поточної маси та моменту інерції рулону, забезпечуючи стабільність натягу плівки як на сталих режимах роботи, так і під час швидких перехідних процесів розгону або зупинки лінії. У цьому розділі спроектовано комплексний алгоритм управління всією пакувальною машиною, який пов’язує в єдиний синхронізований цикл роботу дискретних та аналогових контурів. Розроблена логіка функціонування забезпечує сувору послідовність технологічних операцій, починаючи від точного зважування дози продукції тензометричною системою і відкриття відсічного клапана, до формування пакета за допомогою протяжних ременів, зварювання поздовжніх і поперечних швів термоножами та фінальної відрізки готової продукції з чітко визначеною часовою затримкою. Цей алгоритм

гарантує високу продуктивність автомата та мінімізує ймовірність виникнення браку через несинхронність дій виконавчих механізмів.

На основі розроблених алгоритмів було здійснено раціональний вибір та технічне обґрунтування комплексу апаратних засобів системи автоматичного керування. Як центральний обчислювальний пристрій обрано сучасний промисловий програмований логічний контролер ПЛК150, обсягу пам'яті, швидкодії процесора та інтегрованих каналів введення-виведення якого повністю достатньо для реалізації складних математичних моделей і обробки сигналів у реальному часі. Вибрана специфікація первинних перетворювачів, що включає високоточний тензодатчик Utilcell, швидкісний датчик натягу, ємнісні сенсори наявності матеріалу та термометр опору ТСМ 9203, формує надійне інформаційне поле системи. Застосування частотних перетворювачів Lenze 8200 Vector разом із перевіреними магнітними пускачами для комутації приводних двигунів забезпечує необхідну динаміку та точність виконання керуючих команд, що підтверджує технічну та економічну доцільність спроектованої системи автоматизації.

4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

4.1 Функціональна схема автоматизації управління

Функціональна схема автоматизації призначена для визначення основних контурів контролю, сигналізації та регулювання головних технологічних параметрів пакувального процесу. У цій системі вага матеріалу в трубопроводі, куди надходить продукція, безперервно вимірюється за допомогою тензодатчика Utilcell 104. Коли маса порції досягає заданого значення в 90 грамів, відповідний сигнал надходить до промислового контролера, де він обробляється згідно із закладеним алгоритмом програми. Сформований керуючий імпульс із контролера спрямовується на магнітний пускач, який безпосередньо відкриває відсічний клапан, змонтований усередині цього трубопроводу.

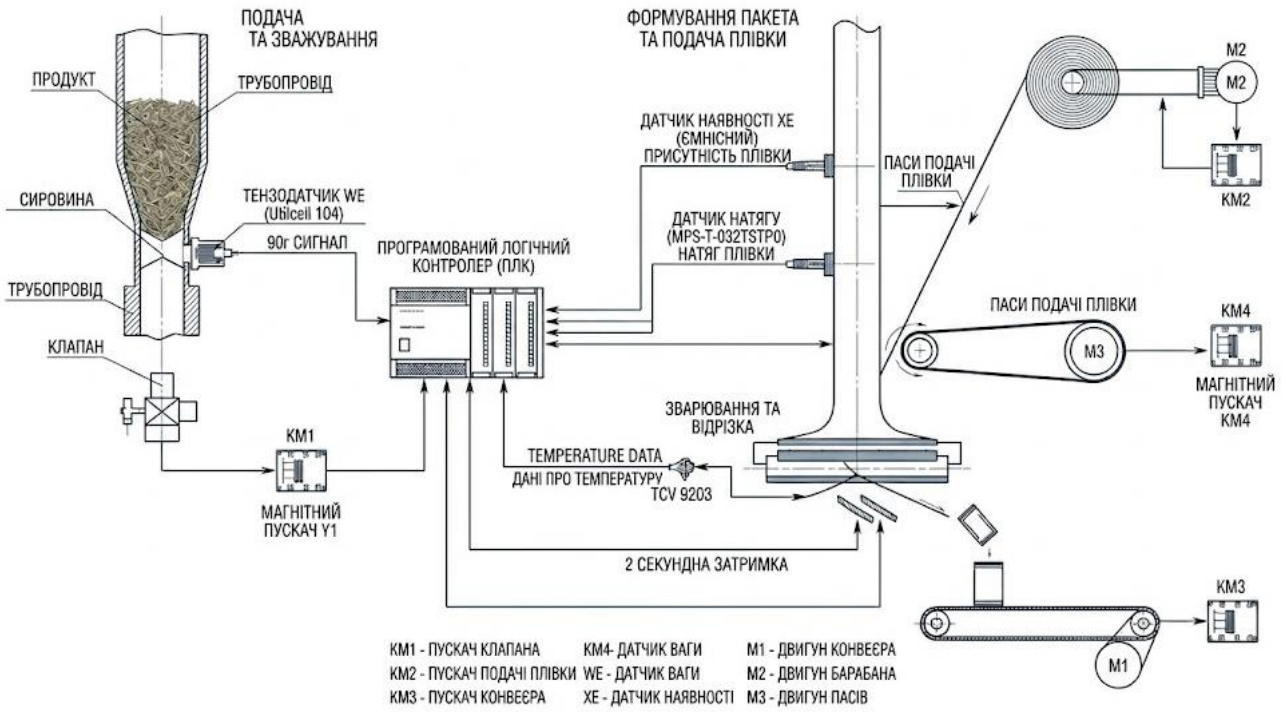


Рисунок 4.1 – Функціональна схема автоматизації

Після того як відмережена продукція успішно потрапляє у сформовану упаковку, центральний контролер видає команду на активацію механізму

термозварювання для заклейки швів пакета. Програмно реалізована витримка часу тривалістю у дві секунди забезпечує чітку паузу, після якої сигнал керування подається на відрізні ножі, що відокремлюють уже повністю готову і запечатану упаковку від загального полотна. Готова продукція скидається на відвідний транспортер, причому приводний двигун М1 цього конвеєра запускається через магнітний пускач КМ3 автоматично ще на самому початку старту пакувальної машини.

Синхронно із завершенням етапу термозварювання швів, контур контролю пакувального матеріалу перевіряє стан системи за допомогою ємнісного датчика CA18CLL12BP та спеціалізованого датчика натягу плівки MPS-T-032TSTP0. Сигнали з цих пристроїв підтверджують контролеру правильне положення, наявність та достатній рівень натягу рулонного матеріалу. Обробивши ці дані, контролер замикає контури живлення магнітних пускачів КМ2 і КМ4, які приводять у дію електродвигуни М2 та М3. При цьому двигун М2 забезпечує обертання розмотувального барабана з плівкою, а двигун М3 приводить у рух протяжні паси, які надійно фіксують та переміщують плівку вздовж формувального трубопроводу.

Паралельно з перевіркою наявності полотна ємнісним датчиком CA18CLL12BP, у контурі терморегулювання працює датчик температури TCM 9203, який точно вимірює поточний рівень нагріву зварювальних елементів. Отримавши інформацію про відповідність температурного режиму технологічній нормі та підтвердження готовності плівки, контролер знову видає черговий керуючий сигнал на виконання операції заклейки наступного пакета, зациклюючи автоматизований виробничий процес.

4.2 Схема підключення датчиків

На схемі підключення датчиків та ВМ до контролера ми підключаємо 2 ємнісних датчика, 4 тензодатчика, 2 термометри опору, датчик натягу,

2 частотних перетворювача, 5 заслонок, 4 двигуна, блок живлення, 2 тумблери, 3 модуля розширення. Загальна схема підключень зображено на рисунку 3.11.

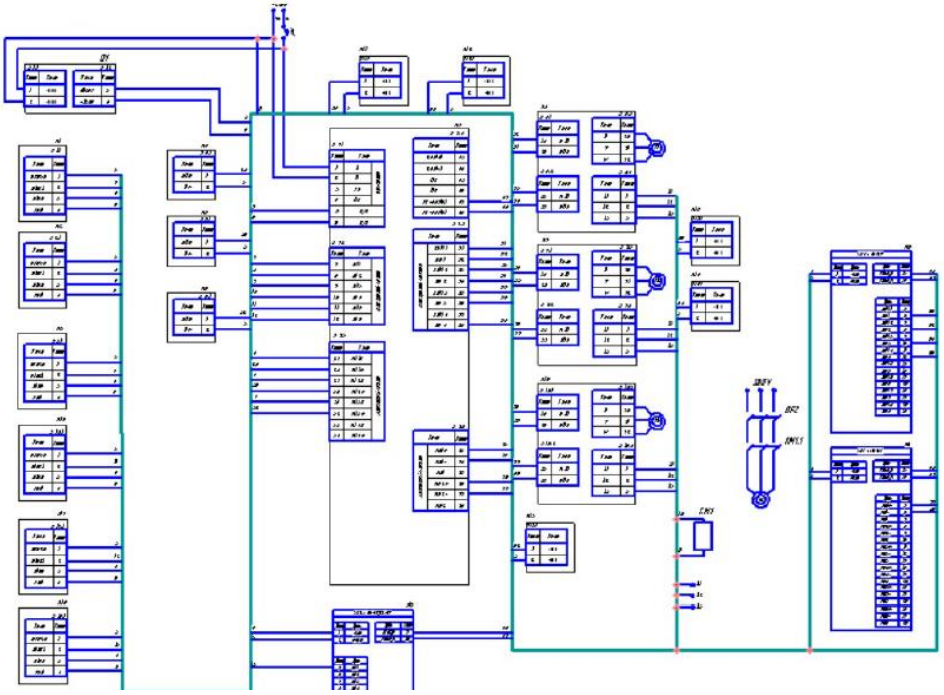


Рисунок 4.2 – Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК

4.3 Схеми підключення контурів управління

На рисунке 4.3 зображено схему підключення термометра опору.

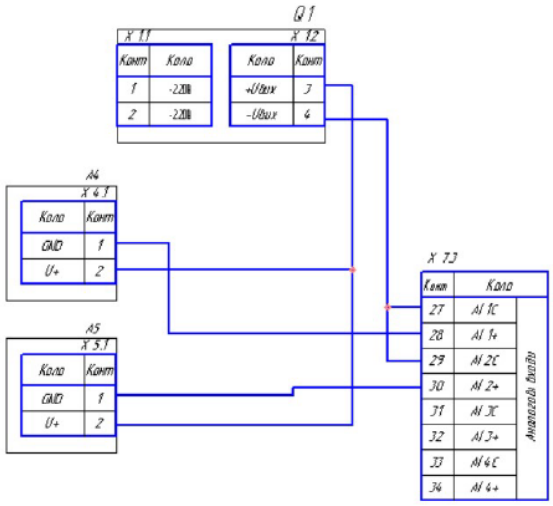


Рисунок 4.3 – Схема підключення термометра опору ТСМ 9203 до контролера ОВЕН ПЛК 150

На рисунку 4.4 зображено схему підключення двигунів та частотних перетворювачів.

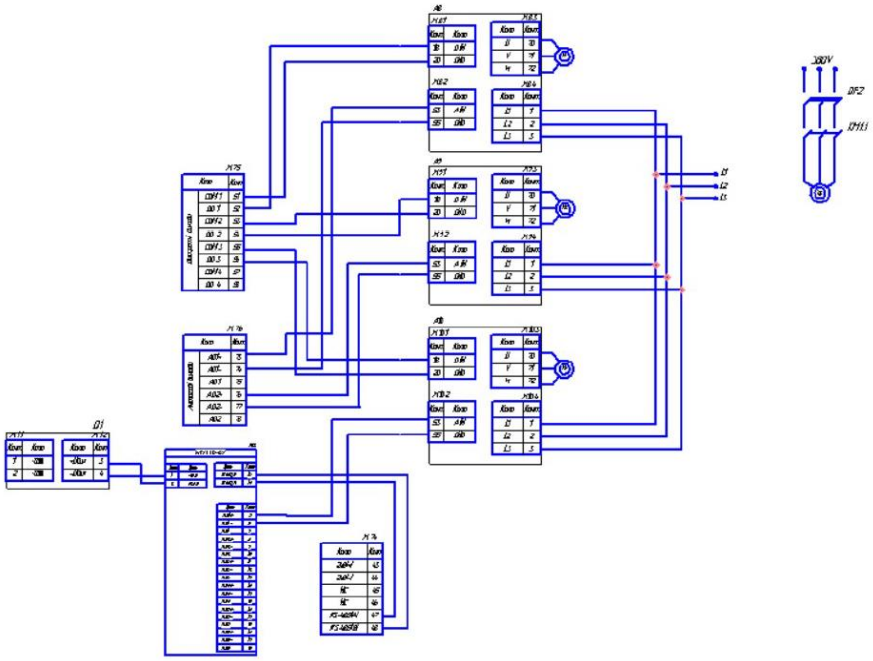


Рисунок 4.4 – Схема підключення двигунів AIP 180 M2 та частотних перетворювачів Lenze 8200 Vector до контролера ОВЕН ПЛК 150

Схема підключення ємнісних датчиків зображено на рисунку 4.5.

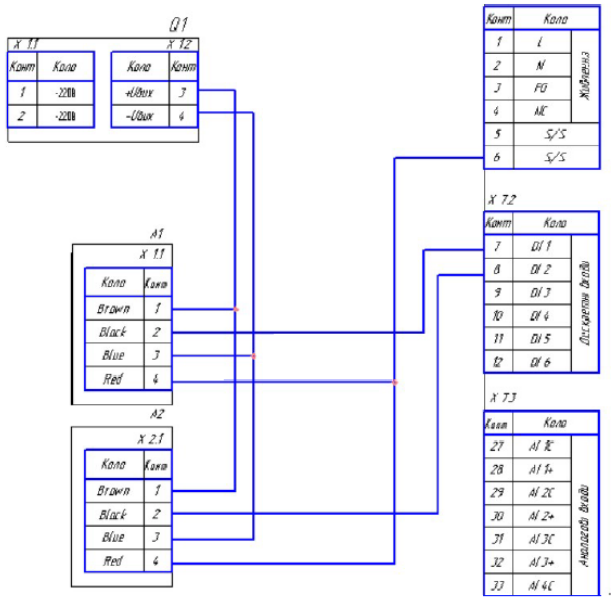


Рисунок 4.5 – Схема підключення ємнісних датчиків CSN EF89P5-863-20-L до контролера ОВЕН ПЛК 150

На рисунку 4.6 зображено схему підключення тензодатчиків.

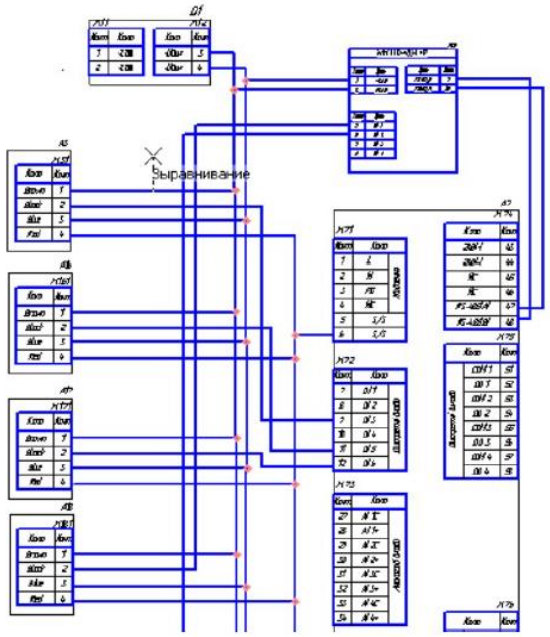


Рисунок 4.6 – Схема підключення тензодатчиків Utilcell до контролера ОВЕН ПЛК 150

На рисунку 4.7 зображена схема підключення заслонок.

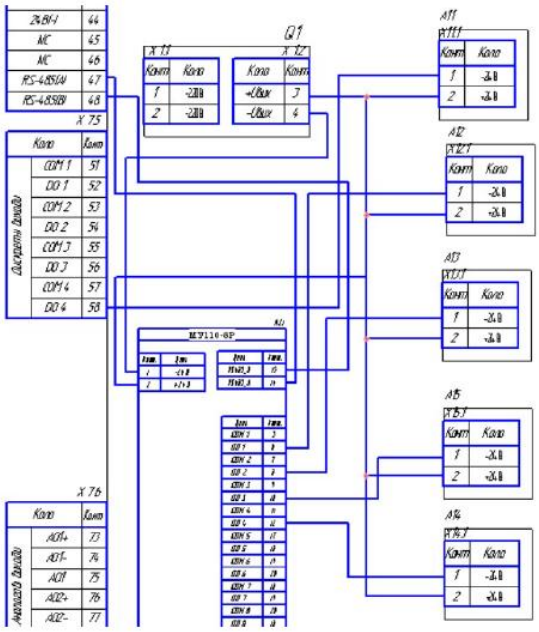


Рисунок 4.7 – Схема підключення заслонок Вентс КРВ 355 до контролера ОВЕН ПЛК 150

Вимірювання температури на заклейці реалізовано 2 термометрами опору ТСМ 9203 сигнал від 4 мА до 20 мА обробляються контролером та видають відповідну команду. Схема підключення зображена на рисунку 3.11.

Регулювання швидкості транспортера в нашій автоматизованій системі управління пакувальною машиною реалізовано двигуном AIP 180 M2 та частотним перетворювачем Lenze 8200 Vector, сигнали від 4 мА до 20 мА обробляються контролером та видають відповідну команду на зміну швидкості двигунів. Схема підключення зображена на рисунку 4.2.

Регулювання подачі плівки в нашій автоматизованій системі управління пакувальною машиною реалізовано двома ємнісними датчиками CSN EF89P5-863-20-L та двома двигунами AIP 180 M2,аналогові сигнали від 4 мА до 20 мА та дискретні сигнали обробляються контролером та видають відповідну команду на подачу плівки, або зупинку двигунів.

Регулювання процесу дозування реалізовано 4 тензодатчиками Utilcell 104 та 5 заслонками Вентс КРВ 355 дискретні сигнали обробляються контролером та видають відповідну команду на подачу продукції.

Висновки. У розділі виконано комплекс робіт із розробки технічної документації та графічних матеріалів, що складають основу інженерного забезпечення системи автоматизації пакувального автомата. На основі аналізу технологічного процесу було сформовано функціональну схему автоматизації, яка визначає структуру контурів контролю, логічного регулювання та сигналізації. Створена схема дозволяє повністю автоматизувати цикл фасування продукції, координуючи роботу вагового тензометричного вузла, відсічного клапана, протяжних пасів, механізмів зварювання швів плівки та відрізних ножів із забезпеченням необхідних часових затримок для формування якісного пакета. Графічне виконання схеми та супутньої документації адаптовано до вимог сучасних систем автоматизованого проектування, що спрощує подальше впровадження розроблених рішень на виробництві.

Особливу увагу в розділі приділено деталізації схем підключення первинних перетворювачів, модулів розширення та виконавчих механізмів до

базового програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК150. Розроблено загальну схему підключень, яка раціонально розподіляє дискретні та аналогові сигнали від чотирьох тензодатчиків Utilcell, датчика натягу, двох ємнісних датчиків положення та двох термометрів опору ТСМ 9203. Наявність у структурі інтерфейсних блоків, тумблерів керування та блоків живлення забезпечує високу завадостійкість інформаційних шин і надійність збору первинних даних про стан обладнання та пакувального матеріалу.

У результаті проектування окремих контурів управління було детально опрацьовано схеми підключення силового обладнання та чутливих елементів автоматики. Контур терморегулювання зон заклейки, побудований на базі термометрів опору із уніфікованим вихідним сигналом від 4 мА до 20 мА, гарантує точне дотримання теплового режиму зварювання плівки.

Контури керування приводами на основі двигунів AIP 180 M2 та частотних перетворювачів Lenze 8200 Vector забезпечують плавну зміну швидкості відвідного транспортера та синхронну подачу рулонного матеріалу за сигналами від ємнісних сенсорів. Спроектована система дискретного керування заслонками Вентс КРВ 355 у поєднанні з групою тензодатчиків дозволяє реалізувати точне вагове дозування продукту, що підтверджує повноту та технічну завершеність розробленого комплекту технічної документації.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

5.1 Охорона праці

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і посадових обов'язків оператора АСУТП у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ сформовані заходи по забезпеченню безпеки праці.

Приміщення, у якому здійснюються заходи пов'язані з виконанням посадових обов'язків та проведенням досліджень та розрахунків (розробкою, модернізацією, удосконаленням, тощо), є спеціалізованим, яке обладнане ПК з ВДТ.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ»), ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» та буде використовуватися згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі – «ПБЕЕ»), НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі – «ПБЕЕС») та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Згідно «ПУЕ», за ступенем небезпеки ураження електрострумом, робоче місце оператора АСУТП приміщення належить до 1-го класу, тобто є приміщенням без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену та особливу небезпеку.

Згідно глави 1.7 – «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ», обладнання має основну ізоляцію струмовідних частин, яка

забезпечує захист від прямого дотику та подвійну, яка складається з основної та додаткової ізоляції, для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження основної ізоляції.

Відповідно до вимог п. 6.7.4. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні з ПК, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Оскільки робоче місце оператора АСУТП за ступенем небезпеки ураження електрострумом належить до 1-го класу, тому відповідно до вимог п. 6.7.6 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» та додатку №1 до НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають І групу з електробезпеки.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними, яка відповідає нормованим значення (площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 м^2, а об'єм не менше ніж 20,0 м^3). Поверхня підлоги є рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями.

У зв'язку із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально-невротичного характеру.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» для робітників із

застосування ЕОМ, передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години, а також обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження передбачені пристрої для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою

Для оптимізації відносин у колективі проводяться тренінги з залучанням психологів на теми: «Адаптація у новому колективі», «Поведінка в суспільстві».

Для запобігання кістково-м'язових порушень робочі місця користувачів ПК оператора АСУТП відповідають ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою 600 мм, шириною – 500 мм, глибиною (на рівні колін) – 450 мм, на відстані витягнутої ноги – 650 мм.

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для робочого місця оператора, обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Основними причинами недостатньої або надмірної освітленості робочих місць є несправність або хибний вибір освітлювальних приладів, неправильне розташування робочих місць по відношенню до джерел освітлення.

Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє або надмірне освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

Робоче місце оператора АСУТП обладнаному ПК з екранним пристроєм (далі – «ЕП»), згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Метеорологічні умови для приміщенні з комп’ютеризованими робочими місцями – температура, відносна вологість та швидкість переміщення повітря цілком відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Роботи у приміщенні з ПК, належать до категорії Іб – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 21-23°С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

– у теплий період року: температура 22-24°С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Охорона праці роботи з пакувальними машинами:

1. До обслуговування і управління установкою допускаються особи, які пройшли відповідний інструктаж по техніці безпеки на робочому місці, які

усвоїли безпечні прийоми і методи роботи на установці.

2. Для забезпечення безпеки при роботі з установкою необхідно перед початком роботи оглянути установку, видалити сторонні предмети з установки.

3. Забороняється виконувати заміну комплектуючих на працюючій установці.

4. Забороняється продовжувати роботу установки при виявленні несправностей.

5. Не допускається залишати установку у вімкнутому стані без нагляду.

6. Не дозволяється брати руками нагріті ТЕНи, ножі для обрізання плівки.

7. Забороняється нажимати кінцевий вмикач на ввімкненій машині.

8. Забороняється залишати кришку в закритому положенні в процесі нагрівання – охолодження ТЕНа, а також в процесі роботи на час, який перевищує 10 с.

9. Забороняється упаковувати легкозаймисті і вибухонезбечні вироби.

10. Обов’зково встановлювати в термокамері тільки рекомендовану температуру для плівок, що використовують.

5.2 Вимоги до обладнання

Сучасне технологічне обладнання вертикальних пакувальних машин повинно задовольняти комплексу жорстких вимог, що забезпечують безперебійність виробничого циклу, високу точність дозування та збереження цілісності пакувального матеріалу. Основним критерієм до механічної підсистеми протяжки є плавність ходу та постійність лінійної швидкості руху плівки вздовж формувального трубопроводу. Протяжні паси та приводи розмотування рулону повинні працювати синхронно, мінімізуючи динамічні ривки, які можуть призвести до деформації, зміщення малюнка або критичного розриву полотна. Поверхня формувального воротника та самого трубопроводу має володіти низьким коефіцієнтом тертя та високою якістю обробки для

запобігання пошкодженню полімерної структури плівки під час її згортання в рукав.

Вузол дозування та подачі продукту вимагає високої швидкодії та точності відсікання порцій. Конструкція дозувальних заслонок повинна виключати заклинювання або нерівномірне проходження продукту через внутрішні канали. Час спрацьовування виконавчих механізмів відсічних клапанів має бути мінімальним і стабільним, щоб забезпечити чітку відповідність маси кожної порції заданому технологічному номіналу. Ваговий бункер, оснащений тензометричними датчиками, повинен бути ізольованим від зовнішніх вібрацій пакувального автомата, оскільки механічні завади від роботи приводів можуть суттєво викривити результати вимірювань і призвести до похибок у процесі формування дози.

Окремі прецизійні вимоги висуваються до термозварювальних елементів, які формують поздовжні та поперечні шви пакета. Нагрівальні губки (термоножі) повинні забезпечувати рівномірне поле температур по всій довжині контактної зони, що є критично важливим для герметичності пакування. Контур терморегулювання має підтримувати задану температуру з точністю до кількох градусів, оскільки перегрів призводить до пропалювання плівки, а недогрів — до непровару швів і розгерметизації готового пакета. Механічний привід ножів відрізки та зварювальних губок повинен створювати стабільне зусилля притискання та працювати із чіткою часовою затримкою відносно моменту скидання продукту.

З точки зору загальносистемних вимог, усе обладнання пакувального автомата має відповідати нормам промислової безпеки, електромагнітної сумісності та мати високий ступінь захисту від пилу та вологи, зважаючи на специфіку роботи з харчовими чи сипучими продуктами. Конструктивні матеріали, які безпосередньо контактують із сировиною, повинні виконуватися виключно з хімічно нейтральної нержавіючої сталі. Електричні виконавчі пристрої, такі як магнітні пускачі, частотні перетворювачі та асинхронні двигуни, мають бути підібрані з достатнім запасом за потужністю та

комутаційною зносостійкістю, щоб гарантувати надійну роботу системи в умовах тривалого повторно-короткочасного режиму експлуатації.

5.3 Заходи з електробезпеки

Забезпечення безпечної експлуатації електрообладнання пакувальної машини є критично важливим завданням, оскільки система автоматизації об'єднує силове трифазне живлення напругою 380 В частотою 50 Гц та низьковольтні кола керування і збору даних ПЛК. Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції та переходу напруги на струмонепровідні металеві частини конструкції передбачено комплекс технічних та організаційних заходів. Основним способом захисту в системі з глухозаземленою нейтраллю є захисне занулення, яке реалізується шляхом надійного металевого з'єднання корпусу пакувального автомата, шафи управління, станин електродвигунів М1, М2, М3 та корпусів частотних перетворювачів із нульовим захисним провідником (PE) живильної мережі. При цьому повний опір петлі «фаза-нуль» має бути достатньо малим, щоб у разі замикання на корпус виник струм короткого замикання, здатний викликати миттєве спрацьовування апаратів захисту.

Для захисту силових ланцюгів та кіл керування від струмів короткого замикання та тривалих теплових перевантажень у шафі автоматизації встановлюються автоматичні вимикачі та теплові реле, підібрані відповідно до номінальних параметрів виконавчих механізмів. Додатковим ефективним засобом захисту людей від ураження струмом при прямому або непрямому дотику є встановлення пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) або диференційних автоматів на лініях живлення, які реагують на малі струми витоку та знеструмлюють аварійну ділянку за час, що не перевищує кількох мілісекунд. Усі органи керування, металеві лотки, трубопроводи та елементи кріплення

датчиків охоплюються загальним контуром вирівнювання потенціалів для усунення небезпечної різниці напруг між різними частинами пакувальної лінії.

Конструктивне виконання елементів системи автоматизації підібрано із врахуванням умов навколишнього середовища промислового цеху. Програмований логічний контролер ПЛК150, модулі розширення та блоки живлення розміщуються всередині герметичної силової шафи керування із ступенем захисту корпусу не нижче IP54, що унеможливлює потрапляння пилу, вологи та випадковий доступ персоналу до струмопровідних шин і клемників. Самі первинні датчики, включаючи ємнісні сенсори та тензодатчики Utilcell, мають високий власний ступінь захисту корпусу (до IP67), що дозволяє їм надійно функціонувати в умовах можливого пиловиділення чи санітарної обробки обладнання. Кабельні траси прокладаються у захисних металевих гофрованих рукавах або закритих коробах, які виконують роль екранів від електромагнітних завад та захищають ізоляцію провідників від механічних пошкоджень.

Організаційний контур безпеки передбачає обов'язкове розміщення на лицьовій панелі шафи керування та поблизу небезпечних зон яскравих попереджувальних знаків високої напруги та заземлення. Система управління пакувальною машиною обов'язково оснащується кнопкою аварійної зупинки загальної дії типу «Гриб», яка підключається безпосередньо в ланцюг розмикання котушок головних магнітних пускачів в обхід програмної логіки ПЛК, забезпечуючи гарантоване зняття силової напруги з усіх приводів та нагрівальних елементів у разі виникнення позаштатної ситуації. До обслуговування, налагодження та ремонту електрообладнання пакувального комплексу допускаються лише кваліфіковані спеціалісти, які пройшли відповідне навчання, інструктажі з техніки безпеки та мають належну групу допуску з електробезпеки.

5.4 Пожежна безпека

Пожежа – ситуація, що найбільш часто зустрічається на підприємстві. Цехи оснащуються всіма необхідними засобами пожежогасіння та протипожежною сигналізацією. Категорія приміщень за пожежною небезпекою (СП 12.13130-2009) – А. Цех теплової обробки матеріалів відноситься до II ступеня вогнестійкості. Систему протипожежного захисту становить комплекс організаційних і технічних засобів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальних збитків від неї.

Протипожежний захист забезпечується:

– максимально можливим застосуванням негорючих і важкогорючих речовин і матеріалів замість пожежонебезпечних;

– обмеженням кількості горючих речовин і їх розміщення;

– ізоляцією горючого середовища;

– запобіганням поширенню пожежі за межі вогнища;

– застосуванням засобів пожежогасіння;

– застосуванням конструкції об'єкта з регламентованими межами вогнестійкості та горючістю;

– евакуацією людей;

– системами протидимного захисту;

– застосуванням засобів пожежної сигналізації та засобів сповіщення про пожежу;

– організацією пожежної охорони промислових об'єктів.

Систему запобігання пожежі становить комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на виключення можливості виникнення пожежі.

Запобігання пожежі досягається:

– усуненням утворення горючого середовища;

– усуненням утворення горючого (або внесення до неї) запалювання;

– підтриманням температури горючого середовища нижче максимально допустимої і іншими заходами.

В цехах і підрозділах всі машини і механізми укомплектовані вогнегасниками і ящиками з піском, в приміщеннях, на робочих місцях укомплектовані пожежні щити, організовані в кожному підрозділі куточок по пожежній безпеці з інструкціями по пожежній безпеці.

Блискавко-захисні пристрої знаходяться в справному стані, електричні лінії та електричне обладнання заземлено. Вогнегасники термін використання яких скінчився своєчасно заправляються. Досліджуване підприємство повністю відповідає встановленим вимогам пожежної безпеки відповідно до визначеної категорії.

Висновки. У даному розділі на основі чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про охорону праці», Кодексу цивільного захисту України та профільних нормативно-правових актів, було розроблено та всебічно обґрунтовано комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на створення безпечних і нешкідних умов праці під час експлуатації та обслуговування автоматизованої пакувальної машини. Проведений аналіз потенційних небезпечних і шкідливих виробничих факторів дозволив точно ідентифікувати ризики, пов'язані з наявністю трифазної напруги промислової частоти, рухомих механічних вузлів, високотемпературних поверхонь термоножів заклейки, а також підвищеного рівня шуму та пиловиділення в зоні фасування продукту.

Запроектовані інженерні рішення з електробезпеки, які базуються на влаштуванні надійного захисного занулення, вирівнювання потенціалів та встановленні пристроїв захисного вимкнення, гарантують швидке знеструмлення аварійних ділянок у разі пробою ізоляції силових ланцюгів приводів АІР або частотних перетворювачів. Крім того, передбачена система механічного екранування, встановлення герметичних шаф керування зі ступенем захисту не нижче IP54 та винесення кнопки аварійної зупинки безпосередньо на пульт оператора дозволяє звести до мінімуму ймовірність виробничого

травматизму під час виконання як основних технологічних операцій, так і сервісних чи налагоджувальних робіт.

У частині пожежної безпеки обґрунтовано відповідність виробничого приміщення вимогам нормативних документів за категорією вибухопожежної небезпеки та класом зон, визначено необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння, а також схеми евакуації персоналу на випадок виникнення надзвичайної ситуації. Запропоновані заходи з автоматичного контролю температурних режимів нагрівачів за допомогою термометрів опору ТСМ 9203 відіграють додаткову профілактичну роль, унеможливлюючи критичний перегрів і займання полімерної пакувальної плівки. Реалізація розроблених рекомендацій у повному обсязі забезпечує зниження рівнів професійних ризиків до нормативно допустимих меж, підвищує загальну культуру безпеки на підприємстві та підтверджує соціальну і техніко-економічну доцільність проекту автоматизації пакувального комплексу.

6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Впровадження сучасної системи автоматичного керування пакувальною машиною потребує детального техніко-економічного аналізу, який дозволяє оцінити доцільність капітальних інвестицій та визначити терміни їх повернення. Економічний ефект від модернізації вузла дозування та стабілізації натягу пакувальної плівки формується за рахунок кількох ключових факторів, серед яких головними є підвищення загальної продуктивності автомата, суттєве зниження технологічного браку сировини та пакувальних матеріалів, а також зменшення витрат на сервісне обслуговування. Заміна застарілих релейно-контактних схем та механічних регуляторів на прецизійний мікропроцесорний контролер ПЛК150 із сучасною датчиковою апаратурою дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, забезпечуючи високу стабільність роботи лінії в тривалих повторно-короткочасних режимах експлуатації.

На першому етапі розрахунків визначається кошторисна вартість проектування та монтажу системи автоматизації, що включає витрати на придбання серійного обладнання, такого як тензодатчики Utilcell, ємнісні сенсори, частотні перетворювачі Lenze 8200 Vector, а також витрати на розробку програмного забезпечення в середовищі CoDeSys, монтажні та пусконалагоджувальні роботи. До складу капітальних вкладень також відносяться витрати на демонтаж старого обладнання та навчання обслуговуючого персоналу роботі з новою мікропроцесорною технікою. Отримані сумарні капіталовкладення виступають базовою точкою для подальшого визначення показників ефективності проекту та порівнюються з річною економією, отриманою після модернізації.

Розрахунок експлуатаційних витрат після впровадження проекту демонструє зміну структури собівартості пакування продукції. Завдяки високій точності вагового дозування, що реалізоване за допомогою чотирьох тензодатчиків та швидкісних заслонок, практично ліквідуються перевитрати продукту в кожному пакеті, що дає вагомий прямий економічний ефект при

великих обсягах виробництва. Додатково, стабілізація натягу плівки адаптивним ПІД-регулятором зменшує кількість розривів і деформацій полотна, що мінімізує витрати на пакувальний матеріал та скорочує час вимушених простоїв лінії. Зниження динамічних навантажень на механічні вузли завдяки частотному регулюванню двигунів АІР призводить до зменшення витрат на поточні ремонти, хоча при цьому дещо збільшуються витрати на амортизаційні відрахування через зростання балансової вартості основних фондів.

Капітальні витрати на автоматизацію складаються з вартості обладнання, специфікація якого була затверджена у розділі 2, а також витрат на монтажні та пусконалагоджувальні роботи, які зазвичай приймаються обсягом 20% від вартості апаратури.

Таблиця 6.1 – Кошторис витрат на придбання засобів автоматизації та монтаж

Найменування обладнання та робіт	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК150	1	18500	18500
Модулі розширення ПЛК	3	4200	12600
Тензодатчик Utilcell 104	4	3800	15200
Датчик натягу плівки типу F7301 / MPS	1	6400	6400
Ємнісний датчик CSN CF89P5	2	2100	4200
Термометр опору ТСМ 9203	2	1350	2700
Частотний перетворювач Lenze 8200 Vector	3	11500	34500
Магнітний пускач ПМ 1-12-01 та заслонки	10	950	9500
Допоміжні матеріали (кабелі, кабель-канали, блоки живлення)	1	8000	8000
Всього вартість обладнання ($Ц_{обл}$)			111600
Монтажні та пусконалагоджувальні роботи (20% від $Ц_{обл}$)			22320
Загальні капітальні вкладення (К)			133920

Основний ефект від автоматизації пакувального автомата досягається за рахунок прецизійного дозування (зменшення перевитрати продукту) та стабілізації натягу плівки (зменшення браку пакувального матеріалу та ліквідація простоїв лінії).

Припустимо, що пакувальна машина працює у 2 зміни (16 годин на добу) протягом 250 робочих днів на рік, а її продуктивність становить 30 пакетів за хвилину. Загальний річний випуск складає 7,2 мільйона упаковок. Завдяки чотирьом тензодатчикам Utilcell похибка дозування зменшується в середньому на 0,4 грама на один пакет вагою 90 грамів. При вартості сировини (продукту) у 60 гривень за кілограм (0,06 грн/г), річна економія на матеріалі продукту становить 172800 гривень.

Додатково, впровадження адаптивного ПІД-регулятора натягу плівки знижує відсоток розривів та технологічного браку полімерного полотна на 0,5%. При вартості пакувального матеріалу на один пакет обсягом 0,50 гривні, річна економія на плівці становить 18000 гривень. Зниження аварійних простоїв лінії та витрат на ремонт механічних вузлів завдяки плавному пуску частотниками Lenze забезпечує додаткове заощадження у розмірі 15000 гривень на рік.

Для визначення чистого прибутку від впровадження проекту необхідно врахувати додаткові амортизаційні відрахування на нове обладнання, які за норми 10% складають 11160 гривень на рік, та податок на прибуток підприємства.

Таблиця 6.2 – Підсумкові техніко-економічні показники проекту

Найменування показника	Одиниця виміру	Значення показника
Загальні капітальні вкладення в автоматизацію	грн.	133920
Річна економія на сировині та матеріалах продукту	грн.	172800
Річна економія на пакувальному матеріалі (плівці)	грн.	18000
Економія на експлуатаційних та ремонтних витратах	грн.	15000
Сумарний річний економічний ефект (заощадження)	грн.	205800
Додаткові річні амортизаційні відрахування	грн.	11160

Річний прибуток до оподаткування	грн.	194640
Податок на прибуток (18%)	грн.	35035
Чистий річний економічний ефект ($Е_{річ}$)	грн.	159605
Ток окупності капітальних вкладень ($Т_{ок}=К/Е_{річ}$)	роки	0,84

Висновки. Проведені інженерні розрахунки свідчать, що капітальні вкладення у модернізацію пакувального автомата обсягом 133920 грн. повністю окупляться за рахунок отриманого чистого економічного ефекту вже через 0,84 року, що еквівалентно приблизно 10 місяцям експлуатації. Короткий термін повернення інвестицій підтверджує високу фінансову стабільність, технічну доцільність та безумовну практичну привабливість розробленого проекту автоматизації.

ВИСНОВКИ

Розроблений варіант системи керування пакувальною машиною направлений на вдосконалення існуючої системи автоматизації.

Внаслідок вдосконалення системи керування пакувальною машиною рівень автоматизації підвищиться за рахунок застосування мікропроцесорного контролера ОВЕН ПЛК 150 для автоматичної обробки технологічних параметрів, персональної ЕОМ для відображення і контролювання технологічного процесу та за рахунок застосування перетворювачів частоти для керування швидкістю обертання двигунів на конвеєрі, що значно зменшує витрати електроенергії, та запобігає зносу самих двигунів. Використання сучасних датчиків значно збільшує якісну, та безперебійну роботу процесу, що є позитивним в безперервному пакуванні соломки.

Вдосконалена система керування відповідає вимогам якості, надійності, сучасності. Проєкт автоматизації парувальної машини є ефективним і доцільним для впровадження. Впровадження даного варіанту розраховане на те, що в майбутньому підприємство отримає додатковий прибуток за рахунок впровадження нової і надійної системи автоматизації, яка зменшить витрати підприємства на її утримання та ремонт.

Проведені інженерні розрахунки свідчать, що капітальні вкладення у модернізацію пакувального автомата обсягом 133920 грн. повністю окупляться за рахунок отриманого чистого економічного ефекту вже через 0,84 року, що еквівалентно приблизно 10 місяцям експлуатації. Короткий термін повернення інвестицій підтверджує високу фінансову стабільність, технічну доцільність та безумовну практичну привабливість розробленого проекту автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О. Пакувальне обладнання; Підручник – К.: ІАЦ «Упаковка».2010. 744 с.

2. Коваленко І.В., Малиновський В.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник – К.:Інрес : Воля, 2006. 264 с.: іл.

3. Пакувальне обладнання. Метод. вказівки до викон. лабораторних робіт з дисципліни «Пакувальне обладнання» , для студ. спец7.05050206 «Машини і технології паковання» / Уклад.: І.В.Коваленко – К.: НТУУ «КПІ», 2013. 47 с.

4. Шилович Т.Б. Основи конструювання упаковок: конспект лекцій, р.2, з «Навчальної дисципліни з основ конструювання упаковок»; для студ. інженерно-хімічного факультету денної форми навчання [Електронний ресурс]: конспект лекцій. – К. : «КПІ ім. І. Сікорського», 2017. 54 с.

5. Кишенько В. Д. Інтелектуальні системи [Текст]: конспект лекцій для студ. спец. 6.092500 «Автоматизовані системи управління технологічними», 6.092500 «Комп'ютерно-інтегровані процеси та виробництва» напряму 0925 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. Форм навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2018. 133 с.

6. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи. Практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник / В. Д. Кишенько, Ю. О. Самойленко, Я. В. Смітюх. – Київ : НУХТ, 2017. 67 с.

7. Кишенько В.Д. Моделювання систем [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. освіт. ступ. "Магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології" спеціал. "Автоматизація та інтелектуальні системи керування технологічними комплексами" ден. форми навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2016. 205 с.

8. Романов М.С. Синергетичні основи сталого інноваційного розвитку харчової промисловості [Текст]: концептуальний підхід, наукове видання / М.С.

9. Романов. – К.: НУХТ, 2019. – 71 с.Шостачу Ю. О. Техніка і технологія сучасного поліграфічного виробництва : навч. посіб. / Ю. О. Шостачук. – Київ : НТУУ «КПІ», 2019. 244 с.

10. Ярема С. М. Видавничі поліграфічні технології та обладнання / С. М. Ярема. – Київ : Університет «Україна», 2020. 320 с.

11. Хмілярчук О. І. Роз'ємні конструкції паперово-білової продукції: сфера поширення, види, класифікація / О. І. Хмілярчук, М. О. Клішина // Технологія і техніка друкарства. – 2020. – № 4(70). – С. 15–24.

12. Маїк, Л.Я. (2001). Аналіз тенденцій розвитку технологій, устаткування і матеріалів CtP. Комп’ютерні технології друкарства, (6), 322-327.

13. Маїк, В.З., Дудок, Т.Г., & Опотяк, Ю.В. (2012). Дослідження якості флексографічних друкарських форм з використанням розробленого програмно-апаратного комплексу. Поліграфія і видавнича справа, 4(60), 108-116.

14. Маїк, В.З., Дудок, Т.Г., & Опотяк, Ю.В. (2012). Новітні засоби оцінки якості параметрів друкованої продукції. Квалілогія книги, 1(21), 114-122.

15. Шевчук, А.В., Пінчук, М.В. (2005). Цифрові технології – подальший напрям розвитку формних процесів флексографічного друку. Технологія і техніка друкарства, 3-4(9-10), 4-13.

16. Шибанов, В.В. (2011). Флексографічні фотополімерні форми. Львів: УАД.

17. Никируй, В.Е., & Маїк, В.З. (2012). Технологічні можливості CtP-пристроїв при виготовленні флексографічних друкарських форм. Комп’ютерні технології друкарства, (28), 311-317.

18. Обладнання видавничо-поліграфічного виробництва [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" першого (бакалаврського) рівня / уклад. А. С. Гордєєв. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022. 53 с.

19. Шостачук О. П. Особливості експлуатації пневматичних систем у флексографічних друкарських машинах // Чернігів, Журнал «Технічні науки та технології», 2019, С.27.

20. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11–12 грудн. 2013.) / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2013. 376 с.

21. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. X Міжнар. наук.-техн. конф. (14-17 травня 2025, м. Харків) / редкол.: І.Б. Чеботарьова, О.В. Вовк, Ж.В. Дейнеко. Київ: ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2025. Т. 1. 306 с.

22. Ткаченко В. П. Оперативні та спеціальні види друку. Технологія, обладнання / В. П. Ткаченко, В. П. Манаков, О. В. Шевчук. – Х. : ХНУРЕ, 2005. – С. 42–82.

23. Apparatus for feeding sheets to a sheet fed printing press : pat. 1200037 Great Britain : C07C 17/00. / Maclean A. F., Stautzenberger A. L. ; applicant British Petroleum Co Ltd. № 10793/68 ; filed 05.03.1968 ; publ. 22.07.1970.

24. Обладнання видавничо-поліграфічного виробництва. Навчально-методичне забезпечення навчальної дисципліни на сайті ПНС [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://pns.hneu.edu.ua/course/view.php?id=2020 (дата звернення 18.12.2025).

25. Компанія Zhuxin. Лідируючі виробники флексографських друкарських машин. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.zhuxinpapermachine.com/uk/application/flexographic-printer-manufacturers (дата звернення 18.12.2025).

26. Day, B.P.F. Consumer Acceptability of Active and Intelligent Packaging // Proceeding of the «Active and Intelligent Packaging». Conference, 2000, 18 April. Zeist, The Netherlands: TNO, 2000.

27. Braun, D. Polymer synthesis: theory and practice. Fundamentals, methods, experiments / D. Braun, H. Cherdon, M. Rehahn, H. Ritter, B. Voit. - Springer, 2004.400 p.

28. John R. Wagner Jr. Multilayer Flexible Packaging. - Oxford, UK: Elsevier Science & Technology, 2010. 300 p.

29. Aaron L. Brody. Active packaging for food application/ Aaron L. Brady, Eugene R. Strupinsky, Lauri R. Kline. - Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. 224 p.

30. Massey, Liesl K. Permeability properties of plastics and elastomers : a guide to packaging and barrier materials / Liesl K. Massey. - Norwich: Plastics Design Library, 2003. 592 p.

31. Pizzi, A. Handbook of Adhesive Technology, Revised and Expanded / A. Pizzi, K.L. Mittal. - New York: Basel, 2003. 998 p.

32. Fink D., Transport Processes in Ion Irradiated Polymers and Applications, Springer Series in Materials Science, Vol. 65, Springer-Verlag, 2004.

33. Kang, H., Jang, B., Jeong, Y., & Song, Y. (2020). Mechanical Reliability of Printed Electronics Under Repeated Bending Conditions. Materials, 13(21), 4860. https://doi.org/10.3390/ma13214860.