

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

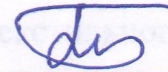
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

І. С. Білюк

« 15 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизація системи керування
конвеєра текстильних матеріалів

Виконав: студент групи

Пристайко Тетяна Ігорівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

к.т.н., асистент кафедри автоматики

Іванов А. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

доцент кафедри СЕЕС,

к.т.н., доцент С. М. Новогорецький

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

м. Миколаїв – 2025 року

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається із 133 сторінок: 124 сторінок пояснювальної записки, 5 розділів, 2 таблиці, 26 рисунків, 27 літературних джерела, 1 додатку на 9.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто розробку автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром для транспортування текстильних матеріалів у складі сучасної виробничої лінії. Метою роботи є підвищення стабільності технологічного процесу, якості обробки текстильного полотна та надійності функціонування обладнання шляхом впровадження замкнених контурів керування швидкістю, натягом і положенням матеріалу.

У роботі проаналізовано особливості технологічних процесів транспортування текстильних матеріалів та наведено огляд основних типів конвеєрних систем, що застосовуються у текстильній промисловості. Досліджено вплив параметрів транспортування на якість фарбування, сушіння й термообробки полотна. Обґрунтовано доцільність використання стрічкового конвеєра як найбільш придатного рішення для делікатних текстильних матеріалів з підвищеними вимогами до рівномірності руху та стабільності натягу.

У магістерській роботі виконано вибір структурної схеми автоматизованої системи керування та елементної бази. Детально розглянуто програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200, електропривід на базі асинхронного двигуна з частотним перетворювачем, а також засоби вимірювання та контролю, зокрема інкрементальний енкодер, оптичні датчики контролю положення полотна та тензометричні датчики натягу. Особливу увагу приділено організації зворотного зв'язку та застосуванню ПІД-регулювання для стабілізації технологічних параметрів у режимі реального часу.

Основну частину роботи присвячено розробці алгоритмів керування конвеєром, які забезпечують плавний пуск і зупинку, підтримання заданої швидкості руху стрічки, стабілізацію натягу полотна та автоматичну корекцію його положення. Запропоновані алгоритмічні рішення дозволяють зменшити вплив людського фа-

ктора, підвищити повторюваність технологічних режимів і мінімізувати кількість дефектів готової продукції.

Результати магістерської кваліфікаційної роботи підтверджують доцільність впровадження сучасної автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром у текстильному виробництві та демонструють можливість її подальшої модернізації й масштабування відповідно до вимог цифрового виробництва та концепції Industry 4.0.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, текстильне полотно, автоматизація, програмований логічний контролер, ПД-регулювання, контроль натягу, електропривід, датчики, зворотний зв'язок.

ABSTRACT

This master's qualification thesis deals with the development of an automated control system for a belt conveyor used for transporting textile materials within a modern production line. The aim of the work is to improve the stability of the technological process, the quality of textile fabric processing, and the reliability of equipment operation through the implementation of closed-loop control of speed, tension, and material position.

The thesis analyzes the technological features of textile material transportation and reviews the main types of conveyor systems used in the textile industry. The influence of transportation parameters on dyeing, drying, and heat treatment quality is investigated, and the belt conveyor is justified as the most suitable solution for handling delicate textile materials.

The master's thesis presents a justified selection of the control system structure and hardware components. Particular attention is given to the programmable logic controller Siemens SIMATIC S7-1200, an electric drive based on an induction motor with a frequency converter, and measurement and control devices such as an incremental encoder, optical web guiding sensors, and load cell-based tension sensors. The implementation of feedback loops and PID control for real-time stabilization of technological parameters is described in detail.

The main part of the work focuses on the development of control algorithms that ensure smooth start-up and stopping, precise speed regulation, stable fabric tension control, and automatic correction of web position. The proposed solutions reduce the influence of the human factor, minimize product defects, and increase overall production efficiency.

The results of the master's qualification thesis confirm the feasibility of implementing a modern automated belt conveyor control system in textile manufacturing and demonstrate its potential for further modernization and scalability in accordance with Industry 4.0 concepts.

Keywords: belt conveyor, textile fabric, automation, programmable logic controller, PID control, tension control, electric drive, sensors, feedback.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	9
1.1. Загальна характеристика конвеєрних систем у текстильній промисловості...	9
1.1.1 Стрічкові конвеєри.....	10
1.1.2 Роликові конвеєри.....	12
1.1.3 Пластинчасті конвеєри.....	13
1.1.4 Конвеєри сушильних установок.....	15
1.2. Технологічний процес транспортування текстильних матеріалів.....	18
1.3. Вимоги до автоматизованої системи керування конвеєром.....	22
1.4. Основні елементи, що використовуються у системах керування конвеєрами.....	24
1.5. Існуючі системи керування конвеєрами та їх основні недоліки.....	27
Висновки за розділом.....	29
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
1.6. Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження.....	31
1.7. Структурно-логічна схема магістерського дослідження.....	37
1.8. Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження.....	38
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	43
1.9. Вибір ПЛК та його технічні характеристики.....	43
1.10. Опис конвеєра та його механічної частини.....	47
1.11. Підбір електроприводу для стрічкового конвеєра.....	49
1.12. Вибір датчиків для системи керування.....	57
Висновки за розділом.....	62
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ.....	64
1.13. Структурно-функціональна схема системи керування.....	64
1.14. Принципова електрична схема підключення компонентів.....	66
1.15. Розробка алгоритмів до системи керування стрічковим конвеєром.....	69
1.16. Розробка програми керування конвеєром.....	82
1.16.1. Програмна реалізація алгоритмів у середовищі TIA Portal.....	84
1.16.2. Відображення результатів роботи системи на циклограмах.....	96

Висновки за розділом.....	103
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	105
1.17. Безпека використання роботизованих та автоматизованих систем.....	105
1.18. Захист від дотику до об'єктів під напругою.....	107
1.19. Забезпечення безпеки виробничого обладнання.....	109
1.20. Пожежна безпека.....	111
1.21. Віброзахист.....	113
1.22. Виробничий пил як шкідливий фактор.....	115
1.23. Виробничий шум та його вплив.....	116
Висновки за розділом.....	118
ВИСНОВКИ.....	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	122
ДОДАТОК А МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ.....	125

ВСТУП

Сучасний етап розвитку промислового виробництва характеризується активним упровадженням автоматизованих систем керування, спрямованих на підвищення ефективності технологічних процесів, стабільності їх параметрів і якості готової продукції. Особливої актуальності ці процеси набувають у текстильній промисловості, де значна частина операцій пов'язана з безперервним транспортуванням гнучких і чутливих до механічних впливів матеріалів. Коливання швидкості руху, нестабільність натягу або перекіс полотна можуть призводити до появи дефектів фарбування, нерівномірного сушіння, механічних пошкоджень та збільшення відсотка браку.

На багатьох діючих текстильних підприємствах системи транспортування полотна базуються на застарілих схемах керування, які не забезпечують необхідного рівня точності, адаптивності та синхронізації з іншими технологічними ділянками. Відсутність замкнених контурів регулювання швидкості, натягу та положення матеріалу ускладнює стабільну роботу ліній за змінних умов виробництва та знижує ефективність використання обладнання. У зв'язку з цим виникає потреба у впровадженні сучасних автоматизованих систем керування стрічковими конвеєрами з використанням програмованих логічних контролерів, частотних перетворювачів і промислових датчиків.

Магістерська робота присвячена розробці автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром для транспортування текстильних матеріалів, яка забезпечує стабільне підтримання технологічних параметрів, підвищення якості обробки полотна та відповідність вимогам промислової безпеки.

Метою магістерської роботи є розробка та технічне обґрунтування автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром текстильних матеріалів, здатної забезпечувати стабільний контроль швидкості руху, натягу та положення полотна з метою підвищення якості технологічних процесів і зменшення кількості дефектної продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**: провести аналіз особливостей використання конвеєрних систем у текстильній промисловості та дослідити існуючі підходи до керування транспортуванням полотна з виявленням їх основних недоліків; обґрунтувати вибір типу стрічкового конвеєра, електроприводу, програмованого логічного контролера та сенсорного обладнання; розробити структурну схему та алгоритми автоматизованої системи керування; реалізувати алгоритми регулювання швидкості руху, натягу та положення полотна із застосуванням ПД-регулювання; забезпечити взаємодію системи керування з технологічним обладнанням і засобами безпеки; виконати оцінку ефективності запропонованих технічних рішень з точки зору стабільності роботи системи та можливостей її подальшої модернізації.

Об'єктом дослідження у магістерській роботі є процес транспортування текстильних матеріалів у складі автоматизованих виробничих ліній текстильної промисловості.

Предметом дослідження є автоматизована система керування стрічковим конвеєром, що включає апаратні та програмні засоби регулювання швидкості руху, натягу та положення текстильного полотна.

РОЗДІЛ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1. Загальна характеристика конвеєрних систем у текстильній промисловості

Текстильна промисловість є однією з найбільш технологічно насичених галузей легкої індустрії, де значна частина виробничих операцій пов'язана з переміщенням різноманітних матеріалів — від первинної сировини до готових полотен. Особливість технологічних процесів полягає в їхній безперервності, високій швидкості виконання та потребі у точному узгодженні різних етапів обробки. Саме тому внутрішньо цехове транспортування відіграє ключову роль у забезпеченні стабільності та ритмічності виробництва.[1]

Сучасні текстильні підприємства працюють з широким спектром матеріалів: нитками, тканинами, трикотажними полотнами, нетканими структурами, технічними текстильними матеріалами. Кожен із цих видів має власні фізико-механічні характеристики — гнучкість, еластичність, міцність, чутливість до деформацій та розтягування — що висуває підвищені вимоги до систем транспортування. На відміну від важкої промисловості, де конвеєри часто виконують функції масового переміщення вантажів, у текстильній галузі критичним є делікатне, контрольоване та безпечне подання матеріалу без утворення складок, перекосів, розривів чи локального перерозтягування.

За результатами досліджень виробничих процесів на українських підприємствах, до 40–50 % загальної тривалості циклу може припадати на операції транспортування між технологічними ділянками.[2] Тобто ефективність транспортувальних систем безпосередньо визначає продуктивність, якість продукції та рівень браку. Нестабільність швидкості подачі, нерівномірний рух полотна, недостатній контроль натягу або температурні впливи можуть призвести до появи дефектів, що робить автоматизацію цих процесів особливо важливою.

Конвеєрні системи у текстильній промисловості виконують не лише транспортну функцію, але й технологічну: подають матеріал у зони фарбування, просочування, сушіння та термообробки з необхідною швидкістю та натягом.[3] Тому сучасні конвеєри проектується як частина єдиного автоматизованого комплексу, який взаємодіє з приводами, нагрівачами, вентиляційними установками та системами контролю параметрів полотна.

Залежно від характеристик матеріалу, умов транспортування та функціонального призначення, у текстильному виробництві використовують різні види конвеєрів. Найчастіше в експлуатації зустрічаються такі типи:

1.1.1 Стрічкові конвеєри

Стрічкові конвеєри є найбільш поширеним і універсальним видом транспортних систем у текстильній промисловості. Їх вибір обумовлений здатністю забезпечувати плавне, рівномірне та дбайливе транспортування текстильних полотен, які часто є тонкими, еластичними та чутливими до механічного впливу.

Конструктивно стрічковий конвеєр, представлений на рис. 1, складається з приводного та натяжного барабанів, замкненої транспортерної стрічки, опорних роликів та привідної установки. Для текстильних матеріалів стрічка зазвичай виготовляється з поліуретанів або ПВХ, оскільки такі матеріали мають гладку поверхню, не пошкоджують волокна, стійкі до стирання і не накопичують статичну електрику.[4]

Основними перевагами стрічкових конвеєрів у текстильному виробництві можна виділити наступне: рівномірний і безривковий рух полотна, що запобігає утворенню складок і хвиль; можливість точного регулювання натягу стрічки, що особливо важливо при роботі з делікатними тканинами; захист полотна від деформацій, оскільки контактна поверхня є максимально рівною і не має виступів; плавність пуску та зупинки, що знижує навантаження на матеріал і механізми; придатність для роботи з рулонами значної ширини та довжини, у тому числі в секційних лініях.



Рисунок 1.1 Стрічковий конвеєр з поворотною секцією у текстильному виробництві

У текстильній промисловості стрічкові конвеєри часто використовують у зонах розмотування полотна, перед установками просочення та фарбування, у сушильних та термообробних камерах, на ділянках контролю та різання полотна.

Більшість сучасних систем обладнуються частотним регулюванням швидкості, датчиками перекосу та контролю натягу, що робить стрічковий конвеєр ключовим елементом автоматизованої лінії.[5]

1.1.2 Роликові конвеєри

Роликові конвеєри застосовуються на текстильних підприємствах переважно для транспортування великих та важких рулонів тканини, а також інших циліндричних виробів. На відміну від стрічкових систем, вони не створюють суцільної опорної поверхні, а використовують ряд обертових роликів, рівномірно розташованих уздовж рами (див. рис. 1.2).

Основою конструкції є:

- металева рама,
- ряд роликів із підшипниковими вузлами,
- приводний механізм (у приводних моделях),
- або повна відсутність приводу (у вільноспрямуємих моделях).

У текстильній галузі роликові конвеєри використовують для таких задач як:

- переміщення важких рулонів тканини вагою 50–300 кг;
- подача сировини до розмотувачів;
- транспортування рулонів після намотувальних машин;
- формування палет із тканинною продукцією;
- сортування та переміщення пакувальних одиниць.

Переваги роликових конвеєрів у текстильному виробництві полягають у їхній здатності витримувати значні навантаження без деформацій, що робить їх придатними для транспортування важких рулонів тканини. Завдяки низькому опору руху такі конвеєри дозволяють переміщувати масивні рулони навіть вручну або з мінімальним приводним зусиллям. Їхня конструкція є простою та невибагливою в обслуговуванні, що забезпечує низькі експлуатаційні витрати. Крім того, роликові системи можуть формувати прямі, похилі та навіть криволінійні траси, що розширює можливості їх інтеграції у виробничі лінії. Вони добре працюють у запилених умовах текстильних цехів, оскільки ролики мало чутливі до забруднень і зберігають працездатність навіть при тривалому впливі пилу.



Рисунок 1.2 – Поворотний роликовий конвеєр для транспортування рулонів

Обмеження використання

Роликові конвеєри практично не підходять для переміщення м'яких, неструктурованих полотен, оскільки матеріал може провисати між роликами або зачіпатися за конструктивні елементи. Саме тому їх застосування зводиться до транспортування рулону як твердого циліндричного тіла, а не окремо полотна.

1.1.3 Пластинчасті конвеєри

Пластинчасті конвеєри у текстильній промисловості застосовуються рідше, однак відіграють важливу роль у випадках, коли необхідне транспортування міцних, упакованих або допоміжних матеріалів, які не потребують делікатного поводження. Основним елементом такої системи є ланцюг або пластинчасте полотно, що складається з окремих жорстких пластин, з'єднаних між собою шарнірними елементами.

Пластини пластинчастих конвеєрів зазвичай виготовляють із нержавіючої сталі, міцних полімерів або армованих композитів (див. рис. 1.3). Такі матеріали забезпечують високу механічну стійкість конструкції та дозволяють експлуатувати конвеєри в умовах значних навантажень, дії агресивних середовищ та інтенсивних механічних впливів.

У текстильній промисловості пластинчасті конвеєри застосовуються переважно на допоміжних та пакувальних ділянках виробництва. Вони використовуються для переміщення текстильних рулонів у упаковці, транспортування катушок ниток, бобін та шпуль, подачі хімічних реагентів, барвників і різноманітних ємностей. Крім того, їх часто застосовують для переміщення ливарних форм, контейнерів, тари, піддонів і коробок на етапах пакування та складування готової продукції, де важлива міцність, жорсткість і зносостійкість транспортної поверхні.

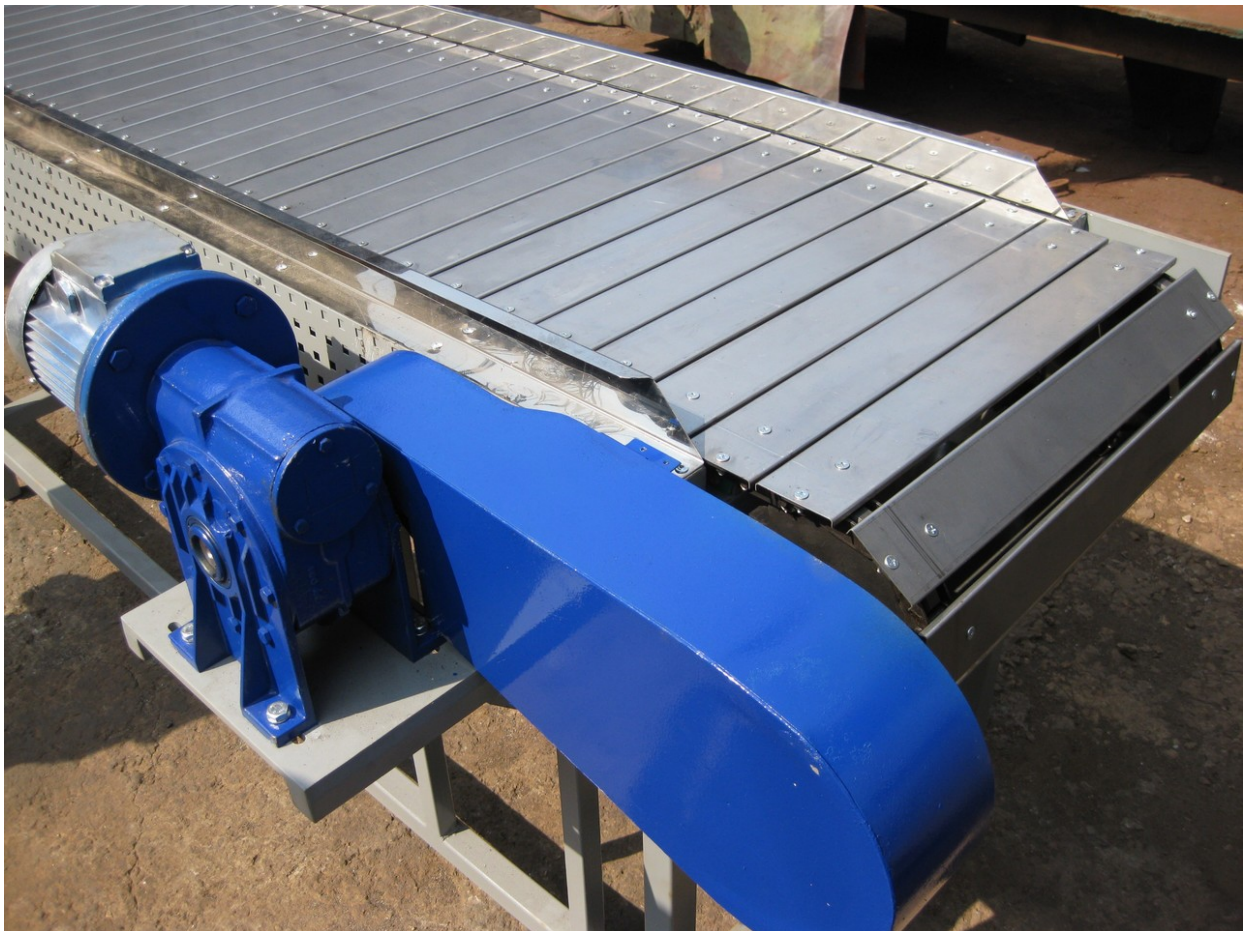


Рисунок 1.3 – Пластинчастий конвеєр з металевою стрічкою

У випадках, коли на виробництві використовуються хімічні компоненти або працює обладнання з високим рівнем забруднення, пластинчасті конвеєри демонструють значно кращу стійкість, ніж стрічкові аналоги.

Переваги пластинчастих конвеєрів:

- Висока міцність та жорсткість робочої поверхні — дозволяє транспортувати вантажі з масою до сотень кілограмів;
- Стійкість до зношування, хімії та температур, що важливо для допоміжних ділянок текстильного виробництва;
- Можливість роботи у середовищах з підвищеною вологістю, барвниками, пилом;
- Мала чутливість до механічних забруднень — пластини легко очищуються;

Недоліки та обмеження:

- Не підходять для переміщення м'якого текстильного полотна, яке може пошкодитися або зминатися;
- Мають вищий рівень шуму порівняно зі стрічковими конвеєрами;
- Потребують регулярного змащення і технічного обслуговування шарнірів;
- У випадку довгих ділянок — мають більшу масу та енергоспоживання.

З огляду на це, пластинчасті конвеєри зазвичай використовуються на допоміжних ділянках або у пакувально-логістичних частинах текстильних підприємств, а не в основному процесі транспортування полотна.

1.1.4 Конвеєри сушильних установок

Конвеєри сушильних установок займають особливе місце в текстильному виробництві, оскільки працюють у найскладніших умовах, пов'язаних із високою температурою, вологою та необхідністю тривалого безперервного режиму роботи. Після процесів фарбування, промивки або просочення тканини мають підвищений рівень вологості, тому для їх подальшої обробки застосовуються сушильні машини, в яких матеріал транспортується по конвеєру крізь зони контрольованого нагріву (див. рис. 1.4). Робоча температура таких камер часто досягає 120–150 °C, а

іноді й більше, тому важливою вимогою до конвеєрної системи є здатність стабільно функціонувати без втрати своїх механічних властивостей.[6]

На відміну від стандартних стрічкових конвеєрів, сушильні системи використовують спеціальні термостійкі стрічки. Найпоширенішими матеріалами є тефлонові (PTFE) покриття на склотканинній основі або металева сітка.[6] Такі стрічки не піддаються термічній деформації, не прилипають до вологого полотна і забезпечують рівномірний розподіл тепла по всій поверхні. Металеві стрічки використовують переважно для щільних або технічних текстильних матеріалів, тоді як тефлонові — для делікатних та легких полотен.



Рисунок 1.4 – Конвеєр тунельної сушильної установки для текстильних матеріалів

Важливою характерною рисою конвеєрів сушильних установок є можливість точної регуляції швидкості. Час перебування полотна в зоні нагріву безпосередньо впливає на якість сушіння: надто висока швидкість призведе до залишкової вологи, а надто низька — до пересушування, жорсткості та деформацій тканини. Саме тому привід конвеєра зазвичай працює через частотний перетворювач, що дозволяє регулювати швидкість у широкому діапазоні відповідно до характеристик матеріалу.[7]

У конструкцію таких конвеєрів також інтегрують системи корекції натягу, оскільки при високих температурах стрічка може незначно розширюватися. Механізми автоматичного натягу запобігають провисанню стрічки, забезпечують рівну опорну поверхню та підтримують стабільний рух полотна. Широко застосовуються й системи контролю положення полотна, оскільки у сушильних камерах навіть незначний перекид може призвести до його зачіпання за крайові елементи, утворення складок або механічного пошкодження.

Оскільки конвеєри сушильних установок працюють у середовищах із активною циркуляцією гарячого повітря, вони оснащуються датчиками температури, вологості та контролю швидкості руху. Взаємозв'язок між системою нагріву й конвеєрним приводом є критичним: у більшості установок нагрівачі блокуються автоматично при зупинці конвеєра, щоб уникнути локального перегріву полотна. Така міжблокіровка є стандартною вимогою безпеки.

У сучасних текстильних лініях конвеєри сушильних камер функціонують як частина комплексної автоматизованої системи. Через ПЛК здійснюється не лише контроль швидкості, а й синхронізація подачі матеріалу, підтримання необхідної температури, корекція натягу та контроль технологічного часу перебування матеріалу в сушильній зоні. Завдяки такому рівню автоматизації досягається висока якість висушування, зменшення енергоспоживання та мінімізація браку.

Оскільки текстильні матеріали є чутливими до механічних впливів, а технологічні процеси вимагають плавного, рівномірного та контрольованого їх транспортування, найбільш доцільним рішенням для даної системи є використання стрічкового конвеєра. Такий тип забезпечує делікатне переміщення полотна без

утворення складок чи деформацій, дозволяє точно регулювати швидкість руху та підтримувати стабільний натяг, що є критичним для якісної роботи сушильних, фарбувальних та просочувальних установок. Завдяки своїй універсальності, простоті інтеграції з автоматизованими системами та можливості застосування датчиків контролю, стрічковий конвеєр оптимально відповідає вимогам розробленої системи керування і забезпечує надійність та стабільність технологічного процесу.

1.2. Технологічний процес транспортування текстильних матеріалів

Технологічний процес транспортування текстильних матеріалів є невід'ємною складовою виробничого циклу й забезпечує безперервність обробки полотна між окремими технологічними стадіями. Подавання, передача та переміщення текстильного матеріалу виконують не лише транспортну, але й важливу технологічну функцію, оскільки швидкість руху, рівномірність натягу та стабільність положення полотна безпосередньо впливають на якість кінцевої продукції.[8] У сучасних виробництвах транспортування полотна розглядається як інтегрований процес, що взаємодіє з операціями розмотування, просочення, фарбування, сушіння та термообробки, утворюючи єдину синхронізовану лінію (див. рис. 1.5).

Процес починається з розмотування рулону на подаючому столі. На цьому етапі важливо забезпечити плавне зняття полотна з первинного рулону без ривків, перекосів чи локального розтягування. Оператор або автоматизована система контролю повинні слідкувати за тим, щоб рулон розмотувався рівномірно, а матеріал не зміщувався відносно центральної осі. Традиційні системи подачі нерідко виконуються у вигляді механічних гальм, що забезпечують базовий натяг полотна; однак такі системи часто не компенсують нерівномірності внутрішнього намотування або різницю діаметра рулону, що стає помітним особливо при переході від початкових витків до майже повністю розмотаного рулону. Використання автоматичних регуляторів натягу на основі тензодатчиків дозволяє уникати цих

недоліків і підтримувати постійний натяг незалежно від залишкового діаметра рулону.[9]



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд технологічної лінії транспортування та обробки текстильного полотна

Після розмотування полотна надходить на стрічковий конвеєр, де відбувається вирівнювання руху та формування необхідного натягу перед подачею в технологічні зони. Стрічка повинна рухатися плавно, без пульсацій та коливань швидкості, оскільки будь-які порушення рівномірності можуть передаватися на полотно і викликати локальні хвилі. Традиційні механічні приводи не завжди здатні забезпечити необхідний рівень точності, тому сучасні лінії дедалі частіше оснащуються частотними перетворювачами.[7] Вони дозволяють досягти високої стабільності швидкості та забезпечити плавне регулювання в широкому діапазоні.

Далі полотно переходить до технологічних зон: просочення, фарбування, сушіння та термообробки. У зоні просочення важливим є забезпечення постійної швидкості руху полотна через робочий розчин, оскільки час контакту матеріалу із середовищем визначає ступінь насичення та рівномірність обробки. Якщо швидкість конвеєра змінюється або натяг полотна коливається, окремі ділянки полотна отримують різний час експозиції, що призводить до нерівномірності просочення. Подібні ефекти виникають і на етапі фарбування. У цьому випадку найменша нестабільність подачі може проявитись у вигляді відмінностей у тоні забарвлення чи появі смуг, особливо у зонах зміни швидкості.

Після фарбування матеріал надходить у сушильні або термічні камери. Тут транспортна система повинна забезпечувати точний час перебування полотна в зоні нагріву. Якщо полотно рухається занадто швидко, волога не встигає повністю випаруватися, що призводить до зміни характеристик тканини та може ускладнювати подальшу обробку. Якщо ж швидкість є надто низькою, полотно може пересушуватися, деформуватися або втрачати еластичність. Важливим є й контроль положення полотна: при сушінні у зоні нагріву перекид полотна або його зміщення навіть на кілька міліметрів може спричинити зачіпання за стінки камери та утворення дефектів.

Після виходу з сушильної зони матеріал потребує стабілізації, оскільки під дією температури та вологи тканина змінює свої геометричні параметри. На цій стадії важливо відновити правильний натяг полотна, скоригувати його центральне положення та забезпечити вирівнювання структури. У традиційних системах ці операції виконуються частково вручну або на основі простих механізмів центрування. Проте такі способи не гарантують необхідної точності, особливо при високих швидкостях транспортування. Використання оптичних або лазерних датчиків перекосу дозволяє автоматично виявляти зміщення полотна та коригувати положення стрічки або напрямних роликів у режимі реального часу.[10]

Останнім етапом є передача полотна на наступну ділянку виробництва — розкрій, пакування або намотування. Ця операція також вимагає синхронізації швидкостей між вихідним транспортером та приймальним механізмом. Відсут-

ність узгодження може спричинити накопичення полотна, провисання, утворення складок або натяг, що перевищує допустимі межі та призводить до розриву полотна. У сучасних лініях синхронізація забезпечується через мережеву взаємодію приводів (наприклад, PROFINET), що дозволяє підтримувати точну відповідність швидкості між секціями.[11]

Аналіз існуючих технологічних систем показує, що значна частина проблем, пов'язаних із нерівномірністю обробки, дефектами кольору, механічними пошкодженнями та зміною геометрії полотна, спричинена саме нестабільністю транспортування. Вдосконалення процесу транспортування можливе за рахунок впровадження декількох ключових інженерних рішень.

Одним із найбільш ефективних напрямів є впровадження автоматичного контролю натягу полотна на всіх критичних ділянках лінії. Використання тензодатчиків у поєднанні з програмованими логічними контролерами дозволяє оперативно реагувати на будь-які коливання натягу та забезпечувати повністю автоматичну компенсацію. Це усуває фактор людської помилки та значно зменшує кількість дефектів полотна.

Другим важливим елементом є впровадження оптичних датчиків контролю перекосу. У традиційних виробництвах цю задачу часто виконує оператор, однак швидкість реакції людини є недостатньою при високопродуктивних лініях. Автоматичне виявлення зміщення полотна та миттєве коригування напрямних роликів гарантує стабільне положення полотна та запобігає аварійним ситуаціям.

Наступним напрямом модернізації є застосування частотних перетворювачів та ПІД-регулювання для керування швидкістю руху конвеєра. Такий підхід дає можливість встановлювати оптимальний режим руху відповідно до конкретної технологічної операції, забезпечує плавні переходи між швидкісними режимами та усуває ривки при запуску й зупинці обладнання. Застосування ПІД-регуляторів у поєднанні з енкодерами дозволяє підтримувати стабільну швидкість із високою точністю, що позитивно впливає на повторюваність результатів обробки.

Окрім цього, інтеграція систем збору даних (натягу, температури, швидкості, вологості) дає можливість відстежувати параметри виробництва в режимі

реального часу та створювати базу даних для подальшої оптимізації процесів. Використання таких систем є характерним для сучасних концепцій «розумної фабрики» та промисловості 4.0.[12]

Усі перераховані заходи спрямовані на формування стабільного, передбачуваного та автоматизованого транспортувального процесу, який здатний забезпечити високу якість текстильних матеріалів, зниження браку та підвищення загальної продуктивності виробництва.

1.3. Вимоги до автоматизованої системи керування конвеєром

З огляду на складність та багаторівневість технологічного процесу транспортування текстильних матеріалів, ефективна робота виробничої лінії значною мірою залежить від рівня автоматизації конвеєрної системи. Як було показано у попередньому підпункті, стабільність натягу полотна, рівномірність подачі, точність підтримання швидкості та синхронізація руху між технологічними зонами є критично важливими факторами, які визначають якість кінцевої продукції та знижують ризик виникнення дефектів. У традиційних системах значна частина цих задач виконувалася вручну або на основі спрощених механічних регуляторів, що не забезпечувало достатньої точності. Тому впровадження сучасних автоматизованих систем керування є необхідною умовою підвищення технологічної надійності та продуктивності.

Автоматизована система керування повинна забезпечувати плавний запуск і зупинку конвеєра, оскільки різкі ривки приводять до деформацій полотна, виникнення хвиль та нерівномірностей, які потім передаються в технологічні зони просочення, фарбування чи сушіння. Плавність керування досягається за рахунок використання частотних перетворювачів та відповідних алгоритмів у ПЛК, що дозволяють формувати оптимальні динамічні характеристики приводу.[7]

Контроль швидкості є ще одним ключовим аспектом, адже саме швидкість визначає час перебування матеріалу в технологічних камерах та інтенсивність взаємодії з робочими середовищами. У високоточних процесах навіть незначні

відхилення можуть призвести до нерівномірності фарбування, недостатнього просочення або пересушування полотна. Тому система повинна забезпечувати точне вимірювання і стабілізацію швидкості за допомогою енкодерів та алгоритмів регулювання.[13]

Важливою функцією є своєчасне виявлення обриву полотна. У випадку розриву матеріалу робота лінії повинна негайно припинятися, а нагрівачі та інше обладнання — переходити в безпечний режим. Це запобігає перегріву стрічки, пошкодженню сушильної камери та аварійному зупиненню інших секцій.

Система контролю натягу також є невід’ємною частиною автоматизації. Текстильні матеріали мають різний рівень еластичності та чутливості до розтягання, тому натяг повинен бути стабільним незалежно від зміни швидкості руху, маси рулону або умов середовища. Автоматичний контроль натягу дозволяє уникати провисання та хвиль, що виникають при нерівномірній подачі, а також захищає матеріал від надмірних механічних навантажень.

Крім того, необхідний контроль положення полотна відносно центру. У зонах сушіння та термообробки навіть невеликі відхилення в бік можуть призвести до контакту полотна зі стінками обладнання, утворення складок або механічних пошкоджень. Оптичні датчики перекосу дозволяють коригувати положення матеріалу в режимі реального часу та забезпечують стабільність технологічного процесу.

Автоматична система повинна мати вбудовані засоби аварійного реагування. У разі спрацювання аварійної кнопки, перегріву, обриву полотна або виходу параметрів за допустимі межі, конвеєр має бути негайно зупинений, а технологічні установки — переведені у безпечний режим роботи. Така міжблокіровка мінімізує ризики як для обладнання, так і для персоналу.[14]

Нарешті, система керування конвеєром повинна взаємодіяти з обладнанням сушіння та вентиляції, оскільки ці елементи утворюють єдине технологічне середовище. У сучасних лініях робота вентиляторів, нагрівачів і транспортера синхронізується засобами ПЛК: у разі зупинки конвеєра нагрівачі автоматично вимикаються, а вентиляція продовжує працювати певний час для охолодження

камери. Така інтеграція підвищує технологічну безпеку та стабільність результатів обробки.

Таким чином, вимоги до автоматизованої системи керування конвеєром безпосередньо впливають із потреб технологічного процесу. Реалізація сучасних засобів автоматизації дозволяє зробити транспортування полотна точним, стабільним та передбачуваним, забезпечивши високу якість продукції та підвищення ефективності виробництва.

1.4. Основні елементи, що використовуються у системах керування конвеєрами

Сучасні конвеєрні системи текстильного виробництва базуються на поєднанні механічних компонентів та електронних засобів автоматизації, які забезпечують стабільну подачу полотна та контроль усіх основних параметрів процесу. У типовому виконанні, що широко зустрічається на українських підприємствах, використовуються переважно недорогі, надійні та прості в обслуговуванні сенсори, призначені для роботи у запилених, вологих та динамічних умовах текстильного цеху. У поточній конфігурації виробничих ліній застосовуються базові датчики натягу, оптичні сенсори перекосу, інкрементальні енкодери та фотоелектричні датчики наявності полотна. Вони забезпечують мінімально необхідний функціонал, але мають суттєвий потенціал для заміни на більш точні та інтегровані рішення у майбутніх модернізаціях.

Датчики натягу полотна

У більшості робочих ліній контроль натягу здійснюється за допомогою тензодатчиків, вмонтованих у ролики або підвіси.[9] Такі датчики забезпечують виявлення провисання полотна та нерівномірності подачі, що є важливим для стабільної роботи сушильних та фарбувальних установок. Як правило, ці елементи мають середню точність і виконують лише базовий контроль механі-

чних навантажень. Їх використання виправдане простотою інтеграції, однак у перспективі доцільним є перехід на системи з більш високою чутливістю та можливістю цифрового обміну даними для точнішої стабілізації технологічного процесу.

Оптичні датчики положення полотна

Для відстеження центру полотна та контролю його положення щодо осі транспортування застосовуються прості оптичні датчики відбиття або “розрив променя”. Їхнє основне завдання — своєчасно виявляти зміщення полотна та надавати сигнал для корекції положення стрічки або напрямних роликів. Такі датчики вирізняються низькою вартістю, швидкою реакцією та простим монтажем, однак вони чутливі до пилу та коливань освітлення. У разі модернізації можливий перехід на камерні системи аналізу краю полотна, які значно точніше фіксують перекося при високих швидкостях руху.

Датчики швидкості (енкодери)

Для вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки та реалізації ПІД-регуляції швидкості приводу на валі двигуна встановлюються інкрементальні енкодери. У наявних системах вони забезпечують стабілізацію швидкісного режиму, контроль рівномірності транспортування та розрахунок пройденої довжини полотна. Енкодери є достатньо точними та надійними елементами, проте більшість ліній використовує моделі з аналоговим або імпульсним виходом без підтримки цифрових інтерфейсів. У майбутніх модернізаціях можливий перехід на абсолютні енкодери з інтерфейсами SSI або PROFINET, що значно розширить можливості цифрової діагностики та синхронізації приводів.[11]

Датчики наявності полотна

У більшості текстильних конвеєрів використовуються прості фотоелектричні сенсори, які визначають факт проходження полотна через певну ділянку транспортера. Їхнє основне завдання — виявляти обрив полотна або його відсутність у ключових точках технологічного ланцюга. Такі датчики ефективні у стандартних умовах, але вони формують лише дискретну інформацію (“є”/“немає”), без можливості оцінювати форму або стан полотна. У вдосконалених системах можуть бути використані лазерні сканери, що дають змогу фіксувати не тільки наявність полотна, а й його геометричні параметри.

Привід конвеєра

Привідна частина конвеєра відіграє ключову роль у забезпеченні стабільного руху текстильного полотна, тому її конструкція повинна поєднувати надійність, плавність роботи та можливість точного регулювання швидкості. У типових виробничих системах для приводу конвеєра використовуються асинхронні двигуни потужністю від 0,37 до 1,5 кВт, які завдяки своїй простоті та довговічності залишаються найпоширенішим рішенням. Як правило, ці двигуни поєднуються з черв’ячними або циліндричними редукторами, що забезпечують необхідний крутний момент та узгодження швидкості двигуна зі швидкістю руху стрічки.

Для регулювання швидкості приводу застосовуються частотні перетворювачі, які дозволяють плавно змінювати частоту обертання та забезпечувати стабільність руху незалежно від зовнішніх навантажень. У наявних системах керування перетворювачі найчастіше отримують команди “Пуск/Стоп” та аварійні сигнали через дискретні входи, а завдання швидкості формується через аналоговий сигнал 0–10 В або 4–20 мА. Така конфігурація є простою та універсальною,

проте має обмежені діагностичні можливості та потребує періодичної ручної корекції параметрів.[7]

У модернізованих системах доцільним може бути перехід до цифрових інтерфейсів керування, що дозволить реалізувати точне налаштування параметрів приводу, моніторинг стану двигуна, аналіз навантаження, температури та аварійних подій у режимі реального часу. Також перспективним є впровадження сервоприводів у тих ділянках, де важлива висока динаміка та точність підтримання швидкості або синхронізація кількох конвеєрів.

1.5. Існуючі системи керування конвеєрами та їх основні недоліки

На багатьох текстильних підприємствах України досі функціонують системи керування конвеєрними установками, створені на основі застарілих технологічних рішень. Такі системи формувалися поступово — шляхом часткових модернізацій, заміни окремих елементів або інтеграції нових вузлів у стару інфраструктуру. Унаслідок цього керування обладнанням часто базується на схемах, які лише умовно відповідають сучасним вимогам до точності, синхронізації та автоматизації процесів транспортування текстильних матеріалів.

Переважно у використанні знаходяться прості релейно-контакторні схеми або малопотужні контролери з мінімальним набором функцій. Такі системи здатні виконувати базові операції — запуск, зупинку, увімкнення окремих виконавчих механізмів, реагування на дискретні аварійні сигнали. Однак вони практично не забезпечують можливості точного регулювання швидкості, стабілізації натягу та контролю положення полотна. Більшість традиційних рішень працює у дискретному режимі «вмикання–вимикання», що не дозволяє підтримувати постійні технологічні параметри при змінних умовах роботи (зміна маси рулону, вплив температури, зношення механізмів тощо).

Ще однією характерною рисою старих систем є відсутність або недостатній рівень інтеграції з частотними перетворювачами. Регулювання швидкості часто здійснюється вручну або за примітивним аналоговим сигналом без зворотного

зв'язку. Це створює труднощі у підтриманні рівномірної подачі полотна, особливо у випадках, коли технологічний процес потребує precise швидкісної синхронізації — наприклад, у сушильних або фарбувальних лініях, де час перебування матеріалу в зоні нагріву чи хімічної обробки є критично важливим.[8]

Суттєвим недоліком існуючих рішень є слабкі можливості діагностики. У більшості випадків система не забезпечує накопичення даних про режими роботи, не фіксує показники навантаження, температури чи швидкості приводу. Оператор бачить лише факт аварії, але не її причину, що призводить до тривалого пошуку несправностей та простоїв обладнання. Відсутність комплексного моніторингу також унеможливорює прогнозування зношення вузлів, своєчасне технічне обслуговування та зменшення непродуктивних зупинок.[12]

Багато наявних систем не здатні працювати в режимі реального часу, що є необхідною умовою для стабілізації натягу полотна. Коливання натягу, які виникають через нерівномірність руху, зміни швидкості або провисання матеріалу, не компенсуються одразу, а накопичуються, викликаючи утворення складок, хвиль чи розтягувань тканини. Такі дефекти особливо критичні на ділянках, де полотно контактує з термічними або хімічними середовищами.

Окремо варто зазначити, що більшість систем не має якісного контролю положення полотна відносно центру. Наявні датчики перекосу часто є лише сигналізаторами, а не елементами активної стабілізації. У результаті корекція положення виконується з запізненням або й узагалі вручну, що призводить до нерівномірного проходження полотна через валки, зминання країв або механічного пошкодження.

Важливим недоліком застарілих систем є також відсутність інтеграції між окремими секціями технологічної лінії. Кожен конвеєр або вузол працює автономно, без синхронізації часу, швидкості та навантаження з іншими елементами. Це створює неузгодженість у роботі транспортних ділянок, що у свою чергу стає причиною провисання полотна, неконтрольованого розтягнення або накопичення тканини між секціями.

Крім технічних аспектів, існують і експлуатаційні недоліки. Значна частина таких систем не передбачає можливості простого налаштування або зміни технологічних параметрів. Для корекції швидкості чи алгоритмів роботи необхідно втручатися у апаратну схему або перепаявати елементи, що унеможливорює гнучке реагування на зміну умов виробництва або впровадження нових технологічних режимів.

Узагальнюючи, сучасний стан керування конвеєрними системами на багатьох підприємствах характеризується обмеженими можливостями регулювання, недостатньою точністю контролю, слабкою інтеграцією з технологічним обладнанням та практичною відсутністю механізмів діагностики й аналітики. Це створює об'єктивну потребу у впровадженні більш продуктивних засобів керування, здатних забезпечити стабільне транспортування полотна, синхронізацію технологічних процесів та підвищення якості кінцевої продукції.

Висновки за розділом

У цьому розділі було проведено комплексний аналіз конструкції, принципів роботи та функціонального призначення конвеєрних систем, що застосовуються в текстильній промисловості. Розглянуто основні типи конвеєрів — стрічкові, роликові, пластинчасті та конвеєри сушильних установок — кожен із яких має власні експлуатаційні переваги та сферу застосування. Показано, що через специфічні властивості текстильних матеріалів, зокрема їхню гнучкість, еластичність і чутливість до механічних впливів, найбільш придатним для транспортування полотна є стрічковий конвеєр із можливістю плавного регулювання швидкості та стабільного контролю натягу.

Детально проаналізовано технологічний процес транспортування, який включає розмотування, подачу, проходження матеріалу через технологічні зони та його стабілізацію перед передачею на наступні етапи виробництва. Встановлено, що якість транспортування безпосередньо впливає на результат процесів просочення, фарбування, сушіння й термообробки. Дисбаланс натягу, нестабільність шви-

дкості або перекіс полотна здатні спричинити появу браку, тому автоматизація цих етапів є критично важливою.

У розділі також сформульовано вимоги до сучасної системи автоматизованого керування конвеєром, яка має забезпечувати плавні пуски та зупинки, точне підтримання швидкості, контроль натягу та положення полотна, а також безпечну взаємодію з нагрівачами й вентиляційними системами. Проаналізовано склад сенсорного та виконавчого обладнання, що використовується в існуючих конвеєрних системах, включно з датчиками натягу, оптичними сенсорами, енкодерами та приводами з частотним регулюванням. Наведено оцінку їхніх можливостей і виявлено обмеження, які обмежують ефективність роботи транспортних ліній.

Окрему увагу приділено дослідженню наявних систем керування, де встановлено, що більшість з них базується на застарілих технічних рішеннях: релейно-контакторних схемах або малопродуктивних контролерах без засобів точного регулювання, діагностики та синхронізації. Виявлені недоліки — відсутність сучасних комунікацій, недостатня швидкодія, обмежені можливості збирання даних і нестача адаптивних алгоритмів — обґрунтовують необхідність переходу до більш сучасних платформ.

Таким чином, проведений аналіз засвідчує, що для підвищення якості транспортування текстильних матеріалів, стабілізації технологічних параметрів та зменшення кількості браку доцільним є впровадження сучасної автоматизованої системи керування на базі продуктивного програмованого логічного контролера. Виявлені недоліки існуючих рішень створюють чітке технічне обґрунтування для модернізації, яка буде розглянута у подальших розділах роботи.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження

Метод (від грецького *methodos* – шлях до чого-небудь) – в найбільш загальному випадку означає засіб досягнення мети, спосіб дослідження явища, який визначає планомірний підхід до їх наукового пізнання та встановлення істини. Науковий метод – це спосіб пізнання явищ дійсності в їх взаємозв'язку та розвитку, спосіб досягнення поставленої мети і завдань дослідження і відповідає на запитання: «Як пізнавати?». Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь-якого дослідження. Свідоме застосування науково обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань. Дослідник, який добре знає методи дослідження і можливості їх застосування, витрачає менше зусиль і працює успішніше, ніж той, хто у своєму дослідженні спирається лише на інтуїцію або діє за принципом «спроб і помилок». Звісно, що точні і правильні методи – не єдині компоненти, що забезпечують успішність наукового дослідження. Методи не можуть, наприклад, замінити творчу думку дослідника, його здібність аналізувати, робити висновки і передбачення. Але застосування правильних методів спрямовує хід думок дослідника, відкриває перед ним найкоротший шлях для досягнення мети і забезпечує таким чином можливість раціонально витрачати енергію і час науковця. Кожний метод наукового пізнання слід розглядати як систему регулятивних принципів практичної і теоретичної діяльності людини. Методів пізнання об'єктивної дійсності відомо дуже багато. Правильний вибір методів дослідження потребує знання їх класифікації.

Розрізняють методи теоретичних та емпіричних досліджень. Такий розподіл методів завжди умовний, оскільки з розвитком пізнання один науковий метод може переходити з однієї категорії в іншу.

Методи наукових досліджень теоретичного рівня. На теоретичному рівні дослідження одним з найпоширеніших наукових методів є абстрагування 26 (таблиця 2.1). В цілому дієслово «абстрагувати» означає відокремлювати в думках одні властивості, зв'язки та відношення явища або об'єкта від інших. Відповідно зміст даного методу полягає у відверненні від неістотних ознак предмета дослідження й одночасному виділенні тих, які мають найбільший ін-терес. Використання методу абстрагування на початковому етапі дослідження дає змогу превентивно вирішити наукову проблему, акцентуючи увагу на її основних аспектах.

Таблиця 2.1 – Наукові методи теоретичних досліджень

Методи	Характеристики
Абстрагування	Уявне відвернення від неістотних, другорядних ознак явища або об'єкта, зв'язків і відношень між ними та виокремлення кількох сторін, які цікавлять дослідника
Аналіз	Метод пізнання, який дає змогу гіпотетично поділити явище або об'єкт на окремі складові частини та досліджувати їх відокремлено одна від одної
Синтез	Метод, який є результатом об'єднання окремих складових частин явища або об'єкта в єдине ціле, досліджуючи загальні ознаки і властивості
Моделювання	Опосередкований метод дослідження явища або об'єкта, який ґрунтується на застосуванні моделі як засобу дослідження, коли вивчити явище або об'єкт не можливо
Аксіоматичний метод	Метод побудови наукової теорії, за яким деякі твердження приймаються без доведень, а всі інші знання виводяться з них відповідно до певних логічних правил
Ідеалізація	Гіпотетичне конструювання явища або об'єкта, яких немає в дійсності або які за суб'єктивних причин практично нездійсненні

Методи	Характеристики
Формалізація	Метод вивчення явища або об'єкта через відображення їх структури в знаковій формі за допомогою штучних мов, наприклад, математики, фізики, хімії тощо
Дедукція	Умовивід, у якому висновок про той чи той елемент множини робиться на підставі знання про загальні властивості усієї множини
Індукція	Умовивід від часткового до загального, від окремих фактів до узагальнень, коли на основі знань про частини предметів певного класу робиться висновок про клас загалом

Вибір конкретних методів дослідження диктується характером фактичного матеріалу, умовами і метою конкретного дослідження.

В науковій сфері методи аналізу і синтезу зіставляються між собою.

Якщо вивчити явище або об'єкт складно та недоцільно, використовується метод моделювання. Незважаючи на те, що даний метод пов'язаний з ризиковістю, він дає змогу ґрунтовно дослідити закономірності виникнення й існування того чи іншого явища або об'єкта, реально оцінити їх взаємозалежність. При порівнянні альтернативних моделей кращою вважають ту з них, якій відповідає мінімальне значення середнього ризику. Величина похибки відображає залежність між предметом дослідження та впливом низки екзогенних чинників.

Емпіричні методи наукових досліджень

На емпіричному рівні використовується широкий спектр методів наукового дослідження, які можна об'єднати в наступну групу (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 - Емпіричні методи наукових досліджень

Методи	Характеристики
Вимірювання	Визначення кількісних характеристик явища або об'єкта за

Методи	Характеристики
	допомогою спеціальних технічних пристроїв та одиниць виміру
Порівняння	Процес зіставлення явища або об'єкта з метою з'ясування подібності та відмінності між ними, а також знаходження загального, що може бути властивим двом чи кільком явищам або об'єктам дослідження
Спостереження	Системне, цілеспрямоване, спеціально організоване візуальне сприймання явища або об'єкта, опосередковане раціональним знанням
Експеримент	Метод вивчення явища або об'єкта, коли дослідник активно та цілеспрямовано впливає на нього для створення штучних чи використання природних умов, необхідних для виявлення його ознак і властивостей

Найскладнішою є методика експериментальних досліджень, як лабораторних, так і польових.

Натомість на теоретичному рівні використовується пізнавальна діяльність, в якій структура реального експерименту відтворюється в уяві, тобто розумовий експеримент.

Модель (лат. *modus* — міра, франц. — *modele* — зразок) — штучно створений об'єкт у вигляді схеми, креслення, логіко-математичних знакових формул, фізичної конструкції й т.п., що, будучи аналогічним (подібний, подібний) досліджуваному об'єкту, процесу відображає й відтворює в більше простому, зменшеному виді структуру, властивості, взаємозв'язки й відносини між елементами досліджуваного об'єкта, процесу, безпосереднє вивчення якого зв'язано якими-небудь труднощами, більшими витратами коштів або просто не-доступно, і тим самим полегшує процес одержання інформації про предмет, що цікавить нас, явищі, процеси

Пізніше були осмислені модельні властивості креслень, малюнків, карт — реальних об'єктів штучного походження, які дозволили втілити абстракцію більш

високого рівня. Тобто наступний крок заключався в визнанні того, що моделями можуть служити не тільки реальні об'єкти, а і абстрактні, ідеальні побудови, типовим прикладом яких є математичні моделі.

Коротко кажучи – Модель це системне відображення оригіналу.

Термін "модель" використовується в різних областях діяльності людини і як правило означає спрощену картину реальності або прообраз майбутнього.

У дослідженнях модель заміняє оригінал так, що її вивчення дає нові знання про об'єкт дослідження.

Термін "модель" в науці являє собою штучно створену систему, яка відображає або здатна відтворити основні сторони реальної системи, яка називається оригіналом.

Моделювання – це дослідження оригіналу не безпосередньо, а непрямим шляхом з допомогою штучно побудованої системи, яка називається моделлю.

Моделювання включає процес побудови, вивчення та примінення моделей.

Виникає запитання : для чого необхідне моделювання , у яких випадках необхідно розробляти модель, а коли проводити пряме дослідження оригіналу?

При цьому слід відмітити, що оригінал може бути недоступним для безпосереднього дослідження з причини відсутності часу і засобів, або відсутності самого оригіналу (розробка проекту, тощо). Крім того, модель завжди простіша оригіналу і дослідження на ній обходиться дешевше і потребує менше часу. Модель дозволяє оперативно міняти умови досліду (що не завжди можливо із оригіналом), дозволяє багаторазово повторити експеримент до пізнання суті.

При цьому не передбачається повна ідентичність оригіналу оскільки в такому разі втрачаються переваги моделі і всяка суть моделювання, та і вона перестає бути моделлю, а це вже буде копія-двійник, копія-дублер. Модель повинна замінити оригінал лише в принципі, по суті.

В моделі оригінал можна уявити в чистому вигляді без сторонніх впливів і непотрібних деталей.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів. Він базується на трьох теоремах аналізу подібності.

Практично необмежені можливості з виявлення ефективного функціонування складної електромеханічної системи має метод математичного моделювання. Він ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі та натури математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

Імітаційне моделювання використовується частіше за всього при дослідженні складних електромеханічних систем та представляють собою процес формування моделі реальної системи та проведення над нею численних експериментів з метою виявлення шляхів її створення, вдосконалення та (або) ефективного використання.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Статистичні моделі у порівнянні з аналітичними більш точні, але громіздкі та погано доступні для огляду.

При математичному моделюванні взаємозв'язки і закономірності оригіналу відображаються в математичній формі.

Моделювання починається із всестороннього вивчення об'єкту дослідження і постановки задач (проблеми). Проблема і задачі повинні бути чітко сформульовані.

Далі слід знайти в реальній формі чи розробити модель оригіналу, яка б відображала чи могла відобразити основні сторони оригіналу.

По розробленій моделі проводять власне експеримент. Змінюють в певних межах вхідні параметри і досліджують вихідні. В результаті таких експериментів перевіряють модель на адекватність відображення оригіналу, отримують нові дані про оригінал, визначають числові параметри позитивних і негативних змін.

Комп'ютерна модель (або чисельна)— комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, *Maple*, *Mathematica*, *Mathcad*, *MATLAB*, *VisSim* та інші. В даній роботі використовується програма *Simulink* пакету *MATLAB*.

2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Методологія - це система базисних принципів, методів, методик, способів і засобів їх реалізації в організації та побудові науково-практичної діяльності. Вона включає в себе методи теоретичного та емпіричного пізнання і являє собою алгоритм пошуку і досягнення мети.

Основне призначення методики дослідження полягає у тому, щоб на основі відповідних принципів (вимог, умов, обмежень тощо) забезпечити успішне вирішення визначених мети і завдань наукового дослідження.

Структурно-логічна схема є однією з форм планування роботи і візуалізації процесу, яка дозволяє з одного боку описувати процедуру (алгоритм) дослідження і досягнення мети тобто сформулювати робочу гіпотезу дослідження, а з другого –

установити логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи.

Спочатку вибирається тема дослідження та обґрунтовується її актуальність та складається індивідуальний календарний план роботи.

Ведеться пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії.

Розробляється перший варіант теоретичної частини:

- постановка мети і конкретних завдань дослідження;
- визначення об'єкту й предмета дослідження;
- вибір методів (методики) проведення дослідження.

Виконується опис процесу дослідження згідно з обраним методом. Моделювання процесів у електроприводі гвинтового конвеєра проводиться шляхом математичного моделювання з використанням пакету Simulink програми MATLAB.

Наводиться інтерпретація отриманих результатів дослідження.

На підставі виконаних розрахунків та отриманих характеристик проводиться узагальнення отриманих теоретичних результатів.

На заключному етапі роботи проводиться розробка заходів охорони праці, впровадження результатів магістерського дослідження у навчальний процес.

2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження

Дана магістерська робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Моделювання як метод наукового пізнання виникло в зв'язку з необхідністю вирішення завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути вирішені безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт або недосяжний для дослідника, або він ще не існує і потрібно обрати оптимальний варіант його створення, або дослідження реального об'єкта вимагає багато часу та економічно невигідне тощо. При моделюванні використовується принцип аналогії,

грунтуючись на якому в процесі наукового дослідження висувуються гіпотези, тобто передбачення, що будуються на невеликій кількості дослідних даних, спостережень, інтуїтивних припущень, перевірка правильності яких здійснюється шляхом експерименту.

Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубленням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Моделі поділяються на такі види:

- інтуїтивні (виражені на папері);
- фізичні (макети, муляжі, що дозволяють наочно ілюструвати, саме ті процеси, які мають місце у природі. За допомогою таких моделей можна вивчати вплив окремих параметрів на певний фізичний процес);
- математичні (дозволяють кількісно досліджувати явища, які важко піддаються вивченню за допомогою фізичних моделей);
- знакові (вираженні мовою, алгоритмами, графічно, математично);
- функціональні (описують залежності між входом і виходом системи);
- структурні (описують оргструктури систем).

Послідовність робіт при моделюванні виробничої системи.

- дослідження модельованої системи і постановка задачі - вивчення літературних джерел, проведення досліджень, тощо;
- формалізація задачі - виявлення особливостей системи, виділення головного, основного. На цьому етапі визначають, які параметри системи, яку ми моделюємо необхідно відобразити в моделі;
- розробка математичної моделі задачі і її запис в структурній формі.

Розробити математичну модель задачі це означає побудувати спеціальну таблицю чи схему, у якій усі економічні, технологічні та інші виробничі умови і

вимоги виражені у вигляді нерівностей і рівнянь і об'єднані цільовою функцією. Математична модель може бути подана у структурній, загальній символній чи числовій формі. Послідовність розробки моделі може бути різною, але зручніше спочатку скласти систему змінних величин, записати систему обмежень, а потім цільову функцію. В моделі виділяють змінні величини, константи і коефіцієнти. Змінні в моделі відображають невідомі величини;

- аналіз кількісних залежностей параметрів задачі;
- збір інформації і її обробка;
- побудова числової моделі;
- вибір математичного методу вирішення задачі;
- вирішення задачі на ЕОМ;
- аналіз результатів вирішення і коригування моделі;
- вирішення задачі на ЕОМ по скоригованій моделі.

Головними рівнями дослідження та моделювання систем є мікро- та макрорівень. Мікрорівневе моделювання системи пов'язане з детальним описом кожного компонента системи, дослідженням її структури, функцій, взаємозв'язків, тощо. Практична реалізація найважливішого етапу мікромоделювання – виявлення елементів системи та взаємозв'язків між ними – пов'язана з необхідністю подолання суперечності між бажанням повного дослідження кожної з підсистем та елементів системи, реальною можливістю дослідити при цьому структуру системи загалом і принципи її функціонування.

Макрорівневе моделювання полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні лише загальної поведінки системи як єдиного цілого.

У процесі дослідження реальних систем і побудови їх моделей використовуються різні методи моделювання, що залежать від характеристик об'єкта, рівня знань про нього, мети дослідження та вимог до моделі.

Аксіоматичне моделювання полягає у відповідній інтерпретації та переведенні змістовного опису системи на мову чітких математичних термінів і відношень, у процесі чого усуваються неясності, суперечності, неповнота або надлишковість, які властиві вербальному описові системи.

Емпірико-статистичне моделювання використовує широко відомий кібернетичний принцип “чорної скрині”, що не дозволяє отримати модуль структури системи, причинно-наслідкових зв’язків і механізмів її функціонування. В результаті моделювання отримують моделі типу “вхід - вихід”, які базуються на теоретичних гіпотезах про форми взаємозв’язку між входами і виходами системи.

Оптимізаційне моделювання передбачає включення у модель як взаємозв’язків між змінними та параметрами, так і критерії якості функціонування системи.

Імітаційні моделі складних систем надзвичайно поширені внаслідок своєї універсальності, можливості проведення чисельних експериментів, передбачення різноманітних змін.

За мірою повноти опису моделювання поділяють на повне, неповне та наближене. Повне моделювання передбачає побудову моделі, адекватної об’єкту дослідження у просторі та часі. Для неповного моделювання ця адекватність не зберігається. При наближеному моделюванні беруться до уваги лише найважливіші аспекти системи.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об’єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження.

Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

Розрахунок задач магістерського дослідження проводиться за допомогою електронної обчислювальної техніки за допомогою програми Mathcad. На базі складених диференціальних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів.

Слід зазначити, що метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростанню продуктивності комп’ютерної

техніки. Саме тому в цьому магістерському дослідженні як основа використаний метод моделювання.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Вибір ПЛК та його технічні характеристики

Для автоматизації стрічкового конвеєра текстильних матеріалів обрано програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200, який поєднує високу надійність, гнучкість конфігурації та широкий набір комунікаційних можливостей (див. рис. 3.1).[15,16] Контролер забезпечує стабільну роботу системи у режимі реального часу, підтримує підключення датчиків різних типів, частотних перетворювачів та панелей оператора HMI, що є необхідними умовами модернізації конвеєрного обладнання.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд ПЛК Siemens SIPLUS S7-1200 CPU 1214C

У рамках даної системи використовується модифікація CPU 1214C, оскільки вона має оптимальне співвідношення ціни та функціональності й дозволяє реалізувати пропоновану структуру керування конвеєром. Контролер підтримує модульне розширення, що дає можливість додавати додаткові входи, виходи або спеціалізовані модулі без зміни архітектури системи.

Основні технічні характеристики CPU 1214C:

- Архітектура та продуктивність:

Архітектура контролера базується на 32-бітному процесорі зі скороченим часом циклу, що дозволяє точно реагувати на зміну параметрів робочого процесу. Швидкодія контролера забезпечує виконання булевих операцій за 0.08 мкс, а арифметичних — за 2.3 мкс, що є достатнім для реалізації алгоритмів керування натягом, швидкістю та позиціонуванням полотна.[15]

- Вбудовані входи/виходи:

14 дискретних входів (24 В DC); 10 дискретних виходів (релейних або транзисторних залежно від модифікації); 2 аналогові входи 0–10 В або 4–20 мА (див. рис. 3.2). Цього достатньо для підключення більшості датчиків конвеєра без додаткових модулів.

Комунікаційні можливості – контролер має вбудований порт PROFINET, який забезпечує обмін даними з частотними перетворювачами, панелями HMI, сервоприводами та іншими пристроями промислової мережі. Підтримуються протоколи TCP/IP, Modbus TCP, S7-комунікація, що дозволяє легко інтегрувати конвеєр у загальну автоматизовану систему підприємства.[18]

Підтримка ПІД-регуляції – SIMATIC S7-1200 містить готові функціональні блоки ПІД-регуляторів, які без додаткового програмування дозволяють організувати автоматичну стабілізацію швидкості конвеєра, натягу полотна або інших параметрів технологічного процесу.[17]

Можливість розширення – CPU 1214C підтримує до восьми модулів розширення дискретних і аналогових I/O, додавання спеціалізованих модулів (пози-

ціонування, високошвидкісні лічильники, вимірювання), підключення комунікаційних модулів (CM) для Modbus RTU або RS-485.



Рисунок 3.2 – Клемна панель та роз’єми підключення ПЛК Siemens S7-1200

Така гнучкість дозволяє масштабувати систему у разі модернізації виробничої лінії та адаптувати її до розширення функціональних можливостей. Контролер забезпечує повну підтримку панелей оператора HMI, таких як Siemens KTP700, KTP900 та KTP1200. Це дає змогу створити зручний інтерфейс для оператора, у якому можуть відображатися значення натягу, швидкості конвеєра, аварійні повідомлення та історія подій, що значно полегшує експлуатацію та діагностику системи.

Пам’ять контролера включає 75 кБ оперативної пам’яті, 4 МБ пам’яті для зберігання програми та 10 кБ ретентивної області, що гарантує надійне збереження налаштувань у разі аварійного вимкнення живлення. Контролер підтримує ви-

користання SIMATIC Memory Card, яка забезпечує резервне копіювання проєкту, збереження архівів та оновлення прошивки.

Важливим елементом є наявність високошвидкісних лічильників (HSC), що підтримують частоти до 100 кГц.[15] Це дозволяє інтегрувати інкрементальні енкодери для контролю швидкості та переміщення стрічки з високою точністю. Контролер також підтримує технологічні інструкції для ПІД-регулювання, генерації імпульсних сигналів, роботи з приводами та реалізації алгоритмів Motion Control, що є необхідним для синхронізації роботи конвеєра з іншими компонентами лінії.

Комунікаційний порт PROFINET забезпечує інтеграцію контролера з частотними перетворювачами, панелями оператора HMI та іншими пристроями автоматизації. Підтримка протоколів TCP/IP, Modbus TCP, S7-комунікації та можливість встановлення додаткових комунікаційних модулів роблять систему гнучкою та адаптованою до умов підприємства.

Контролер має захист від коротких замикань, перевантажень, електромагнітних завад, а також працює в діапазоні температур від -20 до $+60$ °C, що забезпечує його стабільну роботу у виробничих умовах текстильної промисловості. Вбудовані засоби діагностики, у тому числі веб-сервер, дозволяють виконувати моніторинг параметрів системи, перегляд журналів подій та налаштування обладнання дистанційно.

Контролер працює від стандартного промислового джерела живлення 24 В DC, що гарантує безпечну експлуатацію та сумісність із більшістю допоміжних пристроїв. Висока надійність роботи забезпечується завдяки інтегрованим механізмам самодіагностики, а також захисту від перевантажень і коротких замикань. Ці функції є особливо важливими в умовах текстильного виробництва, де обладнання працює в режимі підвищених механічних та температурних навантажень.

Обраний контролер Siemens S7-1200 CPU 1214C повністю відповідає вимогам системи керування стрічковим конвеєром. Він забезпечує високу точність ре-

гулювання, підтримку сучасних промислових протоколів, інтеграцію з частотними перетворювачами та можливість підключення усіх необхідних датчиків. Завдяки цьому контролер дозволяє створити гнучку, масштабовану та надійну систему автоматизації, здатну значно покращити стабільність та ефективність транспортування текстильних матеріалів.

3.2 Опис конвеєра та його механічної частини

У системі модернізації транспортування текстильних матеріалів як базовий елемент обрано стрічковий конвеєр, який є найбільш оптимальним рішенням для роботи з рулонними і плоскими полотнами. Такий тип конвеєра забезпечує рівномірну опорну поверхню, мінімізує механічні деформації тканини та дозволяє підтримувати точний контроль швидкості руху і натягу матеріалу. Ці параметри було визначено в першому розділі як одні з ключових для забезпечення високої якості обробки на всіх етапах технологічного процесу. Стрічковий конвеєр у даній системі виконує роль транспортної ланки між операціями розмотування, просочення, фарбування, сушіння та стабілізації полотна, формуючи частину єдиної автоматизованої виробничої лінії.

Конструктивною основою є стрічковий конвеєр довжиною 2–5 метрів, що відповідає потребам текстильних виробництв середнього масштабу. Його механічна частина розроблена з урахуванням характерних властивостей текстильних матеріалів — гнучкості, можливості розтягування та схильності до зміщення під час руху. Саме тому особливу увагу приділено забезпеченню сталого натягу полотна та запобіганню його перекосу, оскільки ці фактори безпосередньо впливають на рівномірність нанесення хімічних розчинів, якість фарбування, ефективність сушіння та стабільність готової структури тканини.

Рама конвеєра виготовлена зі сталевого профілю, що надає конструкції необхідної жорсткості та довговічності. На рамі закріплено два основних барабани — приводний та натяжний. Приводний барабан з'єднаний з електро-

двигуном через редуктор і забезпечує рух стрічки з необхідною швидкістю. Натяжний барабан виконує функцію стабілізації та компенсує можливе видовження стрічки під час тривалої експлуатації. Регулювальний механізм натяжного барабана дозволяє точно налаштовувати рівень натягу, що є критично важливим для роботи з тонкими або еластичними тканинами.

Стрічка конвеєра виготовлена з полімерного матеріалу з текстильною основою, що дозволяє поєднувати міцність, гнучкість та антистатичні властивості. Така стрічка не створює локальних вигинів, не накопичує статичний заряд і забезпечує плавний рух полотна без пошкоджень, що є особливо важливим у текстильній промисловості. Залежно від умов експлуатації можливе застосування стрічок із додатковим антиковзним або термостійким покриттям.

Для забезпечення чіткої роботи системи конвеєр оснащено набором датчиків контролю. Оптичні датчики відстежують положення полотна і реагують на його зміщення від центральної осі. Тензометричні датчики контролюють натяг стрічки, передаючи дані до програмованого логічного контролера. Завдяки цьому система автоматично компенсує відхилення натягу та положення полотна, що суттєво підвищує рівномірність обробки матеріалу та зменшує кількість дефектів.

Електропривод конвеєра складається з асинхронного двигуна, редуктора та частотного перетворювача. Частотний перетворювач реалізує плавний запуск, регулювання швидкості у широкому діапазоні та синхронізацію руху з іншими технологічними ділянками. Використання такого типу приводу дозволяє уникнути стрибків швидкості, провисання полотна або надмірних ривків, що у свою чергу позитивно впливає на якість продукції.

На рисунку 3.3 наведено 3D-прототип стрічкового конвеєра, створений за допомогою комп'ютерного моделювання. Він відображає загальний вигляд конструкції, включаючи металеву раму, приводний вузол, стрічку та електричну шафу керування. Модель дозволяє візуально оцінити компоновку обладнання та попередньо розглянути можливі варіанти інтеграції додаткових елементів системи керування.



Рисунок 3.3 – 3D-прототип стрічкового конвеєра для системи транспортування текстильних матеріалів

Таким чином, обраний варіант конвеєра повністю відповідає вимогам модернізованої виробничої лінії. Він забезпечує стабільність транспортування полотна, підвищує точність контролю технологічних параметрів і дозволяє інтегрувати сучасні засоби автоматизації, що значно зменшує кількість дефектів та підвищує загальну ефективність виробництва.

3.3 Підбір електроприводу для стрічкового конвеєра

Електропривід стрічкового конвеєра є ключовим елементом системи транспортування текстильних матеріалів, оскільки саме він забезпечує створення необхідного крутного моменту, стабільну швидкість руху стрічки та можливість точного керування процесом. З урахуванням вибраної конструкції конвеєра,

довжини 3–4 м, ширини стрічки 600–800 мм та типових навантажень текстильного полотна, доцільним є використання асинхронного двигуна потужністю 0,75 кВт у поєднанні з редуктором і частотним перетворювачем. Така конфігурація забезпечує достатній запас потужності, плавність ходу та мінімальні енергетичні витрати.

Вибір конкретних компонентів електроприводу:

1. Асинхронний двигун – для приводу стрічкового конвеєра у створюваній системі обрано трифазний асинхронний електродвигун Siemens 1LE1001-1CB23, зображений на рисунку 3.4.[20] Цей двигун має номінальну потужність 0,75 кВт, частоту обертання 1500 об/хв, працює від стандартної трифазної мережі 380 В, відповідає ступеню захисту IP55 та належить до класу енергоефективності IE2. Вибір саме цієї моделі зумовлений її високою надійністю та стійкістю до умов текстильного виробництва, де присутній пил та волокнисті домішки, а також компактністю корпусу, що дозволяє зручно монтувати двигун на рамі конвеєра. Крім того, ця серія двигунів конструктивно сумісна з редукторами типу Flender та аналогічними мотор-редукторами, що спрощує інтеграцію приводу в механічну частину прототипу та забезпечує оптимальні параметри крутного моменту.



Рисунок 3.4 — Асинхронний двигун Siemens 1LE1001-1CB23

2. Редуктор – для узгодження швидкості приводу з робочими параметрами стрічкового конвеєра та забезпечення необхідного крутного моменту в системі застосовується черв'ячний мотор-редуктор SEW-Eurodrive S47 у виконанні S47 DRS71M4, зображений на рисунку 3.5.[21] Цей редуктор має передатне число $i = 40$, що відповідає оптимальному діапазону для нашої моделі конвеєра і дозволяє ефективно зменшувати частоту обертання двигуна до технологічно необхідної величини. Вихідний момент у межах 80–110 Н·м забезпечує стабільну роботу приводу навіть при змінних навантаженнях або різних властивостях текстильного полотна. Конструкція редуктора передбачає набортний монтаж безпосередньо на раму конвеєра, що значно спрощує його встановлення та подальше технічне обслуговування. Наявність вихідного вала діаметром 25 мм дозволяє легко інтегрувати редуктор із приводним барабаном. Черв'ячна передача забезпечує плавний рух стрічки без ривків, низький рівень шуму, важливий для умов текстильних цехів, та високий експлуатаційний ресурс, що підвищує загальну надійність системи приводу.



Рисунок 3.5 – Мотор-редуктор SEW S47

3. Частотний перетворювач (VFD) – для реалізації плавного та точного регулювання швидкості асинхронного двигуна в системі приводу конвеєра застосовується частотний перетворювач Siemens SINAMICS V20 у модифікації 6SL3210-5BB17-5BV1, зовнішній вигляд якого показано на рисунку 3.6.[19] Цей перетворювач підтримує роботу з двигунами потужністю до 1,1 кВт, що забезпечує повну сумісність із обраним електродвигуном потужністю 0,75 кВт. Живлення пристрою здійснюється від трифазної мережі 3×380 В, а керування швидкістю реалізується за допомогою аналогового входу 0–10 В, який формується програмованим логічним контролером Siemens S7-1200.[19] Така схема дозволяє плавно регулювати частоту та напругу на виході, забезпечуючи стабільність руху стрічки під час транспортування текстильного полотна.



Рисунок 3.6 – Частотний перетворювач SINAMICS V20 для керування приводу конвеєра

Перетворювач має вбудовані функції захисту, серед яких виділяються обмеження струму, тепловий захист двигуна, система плавного пуску та зупинки, а також інтегрований PID-регулятор, що дозволяє підтримувати необхідну швидкість і компенсувати вплив змінного навантаження. Завдяки цим можливостям SINAMICS V20 працює надійно навіть у запилених умовах текстильних виробництв. Крім того, пристрій легко інтегрується з контролерами серії S7-1200 через цифрові та аналогові сигнали та може бути оснащений локальною панеллю керування для переходу в ручний режим під час налаштування або обслуговування системи.

4. Енкодер для зворотного зв'язку – для забезпечення точного контролю швидкості руху стрічки та визначення довжини переміщення текстильного полотна в системі застосовується інкрементальний енкодер Autronics E40S6-1000-3-T-24, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3.7.[22] Обрана модель має роздільну здатність 1000 імпульсів на оберт, що дозволяє досягати високої точності вимірювання та забезпечує стабільність регулювання швидкості в системі приводу. Енкодер працює від джерела живлення 24 В DC, має типовий вихідний інтерфейс NPN або Push-Pull, а компактний корпус діаметром 40 мм з валом 6 мм робить його зручним для встановлення безпосередньо на приводний вал конвеєра або на допоміжний вимірювальний ролик.



Рисунок 3.7 – Енкодер Autonics E40S6-1000-3-T-24

Завдяки високій точності формування імпульсів енкодер забезпечує коректне зчитування фактичної швидкості та дозволяє програмованому логічному контролеру оперативно коригувати роботу частотного перетворювача у режимі реального часу. Це особливо важливо для текстильного виробництва, де від стабільності транспортування полотна залежить рівномірність просочення, фарбування та сушіння. Повна сумісність енкодера з високошвидкісними входами ПЛК Siemens S7-1200 спрощує інтеграцію пристрою у загальну систему керування та підвищує її надійність.

Схема електроприводу

На рисунку 3.6 представлено структурну схему електроприводу стрічкового конвеєра, побудовану на основі обраних компонентів: ПЛК Siemens S7-1200, частотного перетворювача SINAMICS V20, асинхронного двигуна 0.75 кВт, черв'ячного редуктора SEW S47 та інкрементального енкодера Autonics E40S.

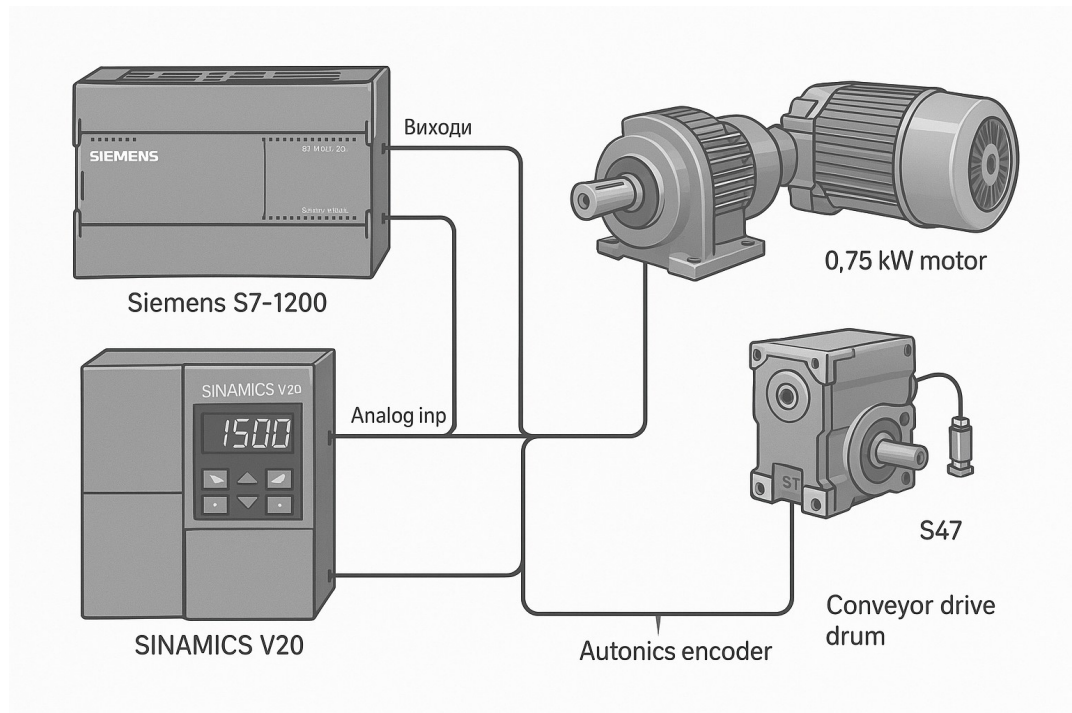


Рисунок 3.6 – Структурна схема електроприводу конвеєра з використанням S7-1200, SINAMICS V20, двигуна 0.75 кВт, редуктора S47 та енкодера Autonics

Система електроприводу побудована таким чином, щоб забезпечити плавний, керований та стабільний рух стрічки конвеєра з можливістю точного контролю швидкості та натягу полотна. ПЛК Siemens S7-1200 виступає центральним елементом управління — він формує сигнали керування для частотного перетворювача, обробляє дані від енкодера та виконує алгоритм ПІД-регулювання.

Підключення основних компонентів системи:

1. ПЛК Siemens S7-1200 → SINAMICS V20

ПЛК передає до частотного перетворювача аналоговий сигнал керування (0–10 В), що визначає задану швидкість обертання двигуна. Окрім аналогового каналу використовується дискретний вихід ПЛК для подачі команди «Пуск/Стоп».

2. SINAMICS V20 → Асинхронний двигун (0.75 кВт)

Частотний перетворювач формує трифазну напругу живлення з регульованою частотою, що дозволяє плавно змінювати швидкість обертання валу двигуна та уникати пускових перевантажень.

3. Двигун → Черв'ячний редуктор S47

Двигун механічно з'єднаний із редуктором, який зменшує швидкість до необхідної для приводного барабана та збільшує крутний момент, забезпечуючи стійку тягу стрічки.

4. Редуктор → Приводний барабан конвеєра

Вихідний вал редуктора приводить у рух приводний барабан, який переміщує стрічку з необхідною швидкістю.

5. Енкодер Autonics → ПЛК S7-1200

Енкодер встановлений на валу приводного барабана або редуктора і формує імпульсний сигнал із дискретністю 1000 імпульсів на оберт. Сигнал надходить на високошвидкісний вхід ПЛК (HSI), де використовується для:

- вимірювання реальної швидкості конвеєра,
- контролю проходження довжини полотна,
- реалізації ПД-регулювання.

ПЛК задає необхідну швидкість руху стрічки шляхом формування аналогового сигналу 0–10 В, який надходить на аналоговий вхід частотного перетворювача. Частотник перетворює цей сигнал у відповідну частоту та напругу живлення двигуна, що визначає його швидкість обертання. Двигун через редуктор приводить у рух приводний барабан, забезпечуючи переміщення полотна по конвеєру.

Енкодер у реальному часі вимірює фактичну швидкість обертання барабана, формуючи імпульсний сигнал, який надходить до ПЛК. На основі цієї інформації реалізується ПІД-корекція, що дозволяє підтримувати стабільну швидкість навіть при зміні навантаження, прослизанні стрічки чи зміні натягу полотна.

Завдяки раціональному вибору елементів електроприводу та їх збалансованій інтеграції в єдину систему вдалося суттєво підвищити ефективність роботи конвеєра. Передусім система забезпечує високу точність регулювання швидкості, оскільки ПІД-алгоритм у поєднанні зі зворотним зв'язком від енкодера дозволяє оперативно компенсувати зміни навантаження та коливання натягу полотна. Електропривод працює плавно, без ривків, що значно зменшує механічний знос стрічки, барабанів і редуктора, збільшуючи ресурс роботи всього конвеєра.

Повна сумісність частотного перетворювача та датчиків із ПЛК Siemens S7-1200 створила можливість реалізувати централізоване цифрове керування, включаючи дистанційний моніторинг параметрів, автоматичну діагностику та адаптивне регулювання режимів. Структура електроприводу залишає простір для подальшого вдосконалення: у майбутньому система може бути доповнена модулями контролю натягу полотна, синхронізацією декількох конвеєрів та інтеграцією у промислову мережу по PROFINET, що робить її гнучкою та масштабованою для виробничих потреб.

3.4 Вибір датчиків для системи керування

Для забезпечення стабільної роботи стрічкового конвеєра та реалізації замкнених контурів керування швидкістю, натягом і положенням полотна в системі використовуються недорогі, але промислово надійні датчики. При виборі

елементної бази враховувалися такі критерії: сумісність із ПЛК Siemens S7-1200, живлення від 24 В DC, наявність стандартних інтерфейсів підключення, достатня чутливість та захист від пилу й вологи, характерних для текстильних цехів.

У межах даної системи передбачається встановлення основних вимірювальних елементів у характерних точках конвеєра: оптичний датчик контролює положення краю полотна, тензодатчик забезпечує вимірювання натягу, енкодер реєструє швидкість руху стрічки, фотоелектричний датчик визначає наявність матеріалу, а кнопки «Пуск» і аварійної зупинки виконують функції локального керування та безпеки.

Оптичний датчик краю та наявності полотна

Для контролю перекосу полотна й утримання його в центрі стрічки застосовується оптичний датчик краю. Як базовий варіант обрано датчик серії Omron E3Z у дифузному виконанні, розрахований на живлення 12–24 В DC, з виходом типу PNP та дальністю спрацьовування до 1 м.[23] Такі датчики спеціально рекомендуються виробником для конвеєрних систем і промислових ліній, мають компактний «блочний» корпус, ступінь захисту до IP69K та швидкий час відгуку порядку 1 мс.

На рисунку 3.8 наведено зовнішній вигляд оптичного датчика краю полотна Omron E3Z, який встановлюється з боку стрічки таким чином, щоб світловий промінь проходив уздовж кромки тканини. При зміщенні полотна відносно центрального положення змінюється рівень відбитого сигналу, що фіксується датчиком і передається на дискретний вхід ПЛК. На основі цих даних алгоритм керування формує коригуючі дії (наприклад, зміну положення напрямних роликів), запобігаючи накопиченню перекосу та можливному сходженню полотна зі стрічки.[26]

Вибір саме такого типу датчика обумовлений:

- можливістю стабільного виявлення текстильних матеріалів різного кольору та фактури;
- невеликими габаритами, що дозволяє легко інтегрувати датчик у конструкцію конвеєра;
- невисокою вартістю (орієнтовно 200–350 грн у стандартному виконанні), що відповідає вимогам до економічності модернізації.



Рисунок 3.8 – Оптичний датчик Omron E3Z

Тензодатчик натягу полотна

Контроль натягу стрічки або текстильного полотна є критично важливим елементом стабільної роботи лінії обробки тканин. Від правильного натягу залежать відсутність хвилювання полотна, нерівномірного фарбування, ковзання, а також уникнення механічних дефектів у процесах сушіння, стабілізації та просочення. Для таких завдань у системах автоматизації застосовують роликові тензометричні датчики, призначені для безперервного вимірювання сили натягу рухомих матеріалів.

Для цієї роботи було обрано тензодатчик FMS DTL-Series, який широко використовується в текстильній, паперовій та поліграфічній промисловості. Це високоточний роликовий датчик, спеціально розрахований для встановлення на легкі та середньонавантажені полотна. На рисунку 3.9 наведено типовий зовнішній вигляд датчика даного класу.



Рисунок 3.9 – Тензодатчики натягу полотна FMS різних конструктивних виконань (роликового та фланцевого типу), що застосовуються для вимірювання натягу текстильних і полімерних матеріалів

Основні характеристики FMS DTL-Series:

- Тип: роликовий датчик натягу полотна
- Номінальні навантаження: від 50 до 1000 Н (підходить для текстильних тканин різної щільності)
- Матеріал ролика: анодований алюміній або нержавіюча сталь
- Живлення: 5–10 В (тензоміст) або 24 В DC (у версіях з інтегрованим підсилювачем FMS)
- Вихідний сигнал: 1–2.5 мВ/В або 0–10 В / 4–20 мА
- Ступінь захисту: IP65
- Температурний діапазон: –10...+70 °С
- Нелінійність: до 0.15 %

Такий датчик встановлюється як заміна одного з опорних роликів на ділянці, де необхідно регулювати натяг полотна — зазвичай між подаючим вузлом та першою технологічною секцією лінії. Датчик сприймає силу, яка виникає внаслідок

док натягування полотна на його ролик, і перетворює її в аналоговий сигнал. Отриманий сигнал надходить у ПЛК Siemens S7-1200 через тензометричний підсилювач або вбудований перетворювач.

Цей сигнал далі використовується в контурі ПД-регулювання для підтримання стабільного натягу незалежно від зміни швидкості стрічки, діаметра рулону чи типу матеріалу. Використання тензодатчика FMS DTL-Series дозволяє суттєво підвищити рівномірність обробки й мінімізувати появу технологічних дефектів. [25,27]

Вибір тензодатчика FMS DTL-Series є оптимальним завдяки його високій точності та мінімальній нелінійності, що забезпечує надійне вимірювання навіть за змінних умов роботи. Конструкція датчика добре витримує динамічні навантаження, тому він ефективно працює на швидкісних текстильних і стрічкових лініях. Універсальність монтажу дозволяє легко інтегрувати його в різні типи обладнання, а сумісність із 24-вольтовими системами автоматизації спрощує підключення до сучасних ПЛК. Крім того, обладнання FMS доступне на європейському та українському ринку, що забезпечує зручність у закупівлі та сервісному обслуговуванні.

Органи керування: кнопка «Пуск» та аварійна зупинка

Для локального керування конвеєром і забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу передбачені окремі елементи панелі керування:

- Кнопка «Пуск» виконана у вигляді зеленої промислової кнопки серії Schneider Electric Harmony XB4, призначеної для монтажу в отвір діаметром 22 мм. Вона оснащена одним нормально відкритим контактом (1NO) і повертається у вихідне положення завдяки пружинному механізму. Завдяки високому ступеню захисту IP66 кнопка може надійно працювати у запиленних або вологих умовах, що робить її придатною для промислових пультів керування. На рисунку 3.10 наведено реальний зовнішній вигляд кнопки

серії XB4, яка вирізняється підвищеною механічною міцністю та великим ресурсом спрацювань.



Рисунок 3.10 — Зовнішній вигляд зеленої кнопки «Пуск» Schneider Electric Harmony XB4

- Кнопка аварійної зупинки («грибок») виконана у вигляді червоної фіксованої кнопки серії Schneider Electric Harmony XB4, обладнаної грибоподібною головкою діаметром 40 мм та нормально замкненим контактом (1NC).[24] Конструкція відповідає вимогам міжнародних стандартів до пристроїв аварійного зупинення, забезпечуючи надійне миттєве вимкнення приводу. На рисунку 3.11 наведено реальний зовнішній вигляд аварійної кнопки даної серії.



Рисунок 3.11 — Аварійна кнопка «Грибок» Schneider Electric Harmony XB4

Кнопка «Пуск» підключається до відповідного дискретного входу ПЛК і використовується для формування дозволу на запуск частотного перетворювача.

Кнопка аварійної зупинки, навпаки, вмикається послідовно в ланцюг живлення кола керування та при натисканні розриває його, гарантовано зупиняючи привід незалежно від стану програмного забезпечення. Сигнал з NC-контакту також подається на вхід ПЛК для реєстрації факту спрацювання аварійного захисту та формування відповідного повідомлення оператору.

Узагальнюючи, можна зазначити, що обраний набір датчиків забезпечує повноцінний контроль основних параметрів процесу транспортування текстильних матеріалів: положення полотна, натягу, швидкості та наявності матеріалу, а також реалізацію необхідних функцій безпеки. При цьому використано масові промислові компоненти з 24-вольтовим живленням, що значно спрощує інтеграцію з ПЛК Siemens S7-1200 та знижує загальну вартість модернізації системи.

Висновки за розділом

У цьому розділі було виконано комплексний вибір елементної бази системи керування стрічковим конвеєром для транспортування текстильних матеріалів. Проведений аналіз показав, що оптимальним рішенням для реалізації функцій автоматизації є використання програмованого логічного контролера Siemens S7-1200, який забезпечує високу швидкодію, гнучкість конфігурації, підтримку сучасних комунікаційних протоколів та надійну роботу в умовах виробництва.

На основі механічних характеристик конвеєра був підібраний енергоефективний і компактний електропривід, що складається з асинхронного двигуна потужністю 0,75 кВт, черв'ячного мотор-редуктора SEW S47 та частотного перетворювача Siemens SINAMICS V20. Така конфігурація забезпечує плавний запуск, стабільне регулювання швидкості та можливість адаптивного керування за допомогою ПД-алгоритму.

Для створення системи зворотного зв'язку обрано інкрементальний енкодер Autronics E40S6-1000-3-T-24, який забезпечує точне вимірювання фактичної швид-

кості стрічки та дозволяє підтримувати стабільність процесу транспортування полотна. Контроль натягу матеріалу реалізовано за допомогою роликового тензодатчика FMS DTL-Series, що гарантує високу точність вимірювання та надійну роботу за динамічних навантажень.

Для визначення наявності та положення полотна застосовано фотоелектричні датчики серії Omron E3Z, які характеризуються швидким відгуком, стійкістю до пилу та можливістю роботи з матеріалами різної фактури. Елементи локального керування — кнопка «Пуск» та аварійна кнопка «Грибок» серії Schneider Electric Harmony XB4 — забезпечують необхідний рівень безпеки та відповідають міжнародним стандартам захисту.

Загалом у межах розділу сформовано збалансований та технічно обґрунтований набір компонентів системи керування, що забезпечує:

- надійний і стабільний контроль швидкості, натягу та положення полотна;
- відповідність промисловим стандартам надійності та безпеки;
- повну сумісність обраних датчиків, приводних пристроїв і органів керування з ПЛК Siemens S7-1200;
- можливість подальшої модернізації та масштабування системи.

Таким чином, запропонована конфігурація обладнання дозволяє забезпечити ефективну, точну та енергозберігаючу роботу стрічкового конвеєра, що є необхідною умовою підвищення якості обробки текстильних матеріалів на виробничій лінії.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ

4.1 Структурно-функціональна схема системи керування

Структурно-функціональна схема системи керування стрічковим конвеєром (рис. 4.1) наочно демонструє взаємодію всіх ключових апаратних компонентів та програмно-логічних модулів, що забезпечують автоматизоване переміщення текстильного полотна. У межах цієї системи реалізовано узгоджену роботу програмованого логічного контролера, сенсорів контролю параметрів полотна, зворотних зв'язків, частотно-регульованого електроприводу та елементів локального керування й безпеки. Така інтеграція компонентів дозволяє підтримувати стабільні режими транспортування, забезпечує коректне регулювання швидкості, натягу та положення полотна, а також гарантує надійну й безпечну експлуатацію обладнання в умовах реального виробничого процесу.

Центральним елементом системи виступає ПЛК Siemens S7-1200, який виконує функції обробки сигналів, реалізації алгоритмів керування, діагностики та формування команд виконавчим механізмам. Контролер отримує дані від усіх вимірювальних елементів та забезпечує роботу замкнутих контурів керування. Через вбудований порт PROFINET ПЛК взаємодіє з частотним перетворювачем і може бути інтегрований у загальну мережу підприємства.

Для контролю натягу текстильного полотна застосовується тензодатчик FMS DTL-Series, який перетворює силу натягу в аналоговий сигнал. Цей сигнал через тензопідсилювач надходить на аналоговий вхід ПЛК, де використовується для реалізації ПІД-регулювання натягу чи стабілізації режимів руху стрічки. Таким чином, у контурі керування забезпечується своєчасна компенсація змін натягу, пов'язаних із варіаціями діаметра рулону, зміною властивостей матеріалу або сторонніми впливами.

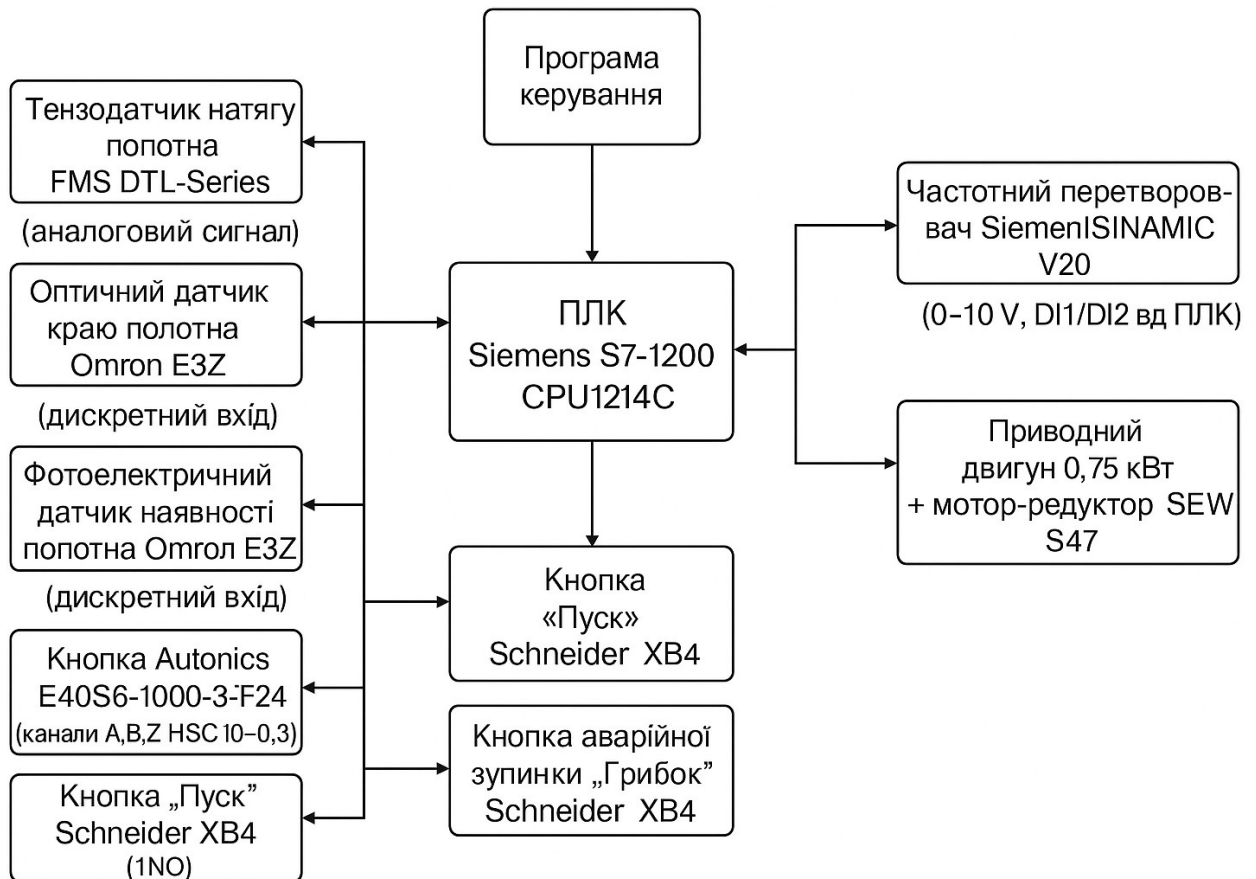


Рисунок 4.1 — Структурно-функціональна схема системи керування стрічковим конвеєром

Контроль швидкості та довжини переміщення полотна здійснюється за допомогою інкрементального енкодера Autonics E40S6-1000-3-T-24, встановленого на приводному барабані або редукторі. Енкодер формує імпульсний сигнал із частотою, пропорційною швидкості обертання, який подається на високошвидкісний лічильник ПЛК. Програма контролера використовує цю інформацію для підтримання заданої швидкості, визначення пройденої довжини полотна та корекції частоти обертання двигуна.

Наявність і положення полотна на стрічці контролюється фотоелектричним датчиком Omron E3Z, який формує дискретний сигнал про проходження матеріалу крізь зону контролю. Датчик використовується як для запобігання аварійним режимам (виявлення обриву або завершення рулону), так і для блокування запуску обладнання при відсутності полотна в робочій зоні. Додатково датчик може

застосовуватися для вирівнювання полотна або перевірки правильності його положення на конвеєрі.

Електропривод конвеєра включає асинхронний двигун 0,75 кВт, з'єднаний із черв'ячним мотор-редуктором SEW S47, та частотний перетворювач Siemens SINAMICS V20, який керує швидкістю двигуна на основі аналогового сигналу від ПЛК. Перетворювач реалізує плавний пуск, захист від перевантаження, стабілізацію швидкості та функції енергоефективного керування. Частотник працює у режимі підпорядкованого регулювання, отримуючи команду за швидкістю від ПЛК, і забезпечує стабільність руху стрічки на всьому діапазоні навантажень.

Для локального керування конвеєром використано кнопки серії Schneider Electric Harmony XB4: зелена кнопка «Пуск» (1NO) та аварійна кнопка «Грибок» (1NC). Кнопка «Пуск» формує дозвіл на запуск приводу, а аварійна кнопка, розриваючи коло керування, забезпечує негайне відключення електроприводу незалежно від стану програмного забезпечення. Стан цих кнопок додатково контролюється ПЛК для фіксації аварійних подій та відображення їх на панелі оператора.

Таким чином, структурно-функціональна схема системи керування об'єднує набір вимірювальних, виконавчих та захисних елементів у єдиний комплекс, який працює під керуванням ПЛК. Така архітектура дозволяє забезпечити точне та стабільне транспортування полотна, оперативне реагування на зміни технологічних параметрів і високий рівень безпеки оператора та обладнання.

4.2 Принципова електрична схема підключення компонентів

Принципова електрична схема системи керування стрічковим конвеєром (рис. 4.2) відображає побудову ланцюгів живлення та сигналів між програмованим логічним контролером, датчиками, кнопками, частотним перетворювачем та електроприводом. Усі елементи системи працюють від стабілізованої

напруги 24 В DC, яка формується окремим імпульсним джерелом живлення. Вихід 24 В подається на клеми живлення ПЛК Siemens S7-1200 CPU1214C, а також через клемні колодки розподіляється на датчики, енкодер та елементи локального керування. Для захисту ланцюгів постійного струму застосовуються автоматичні вимикачі або запобіжники малого струму.

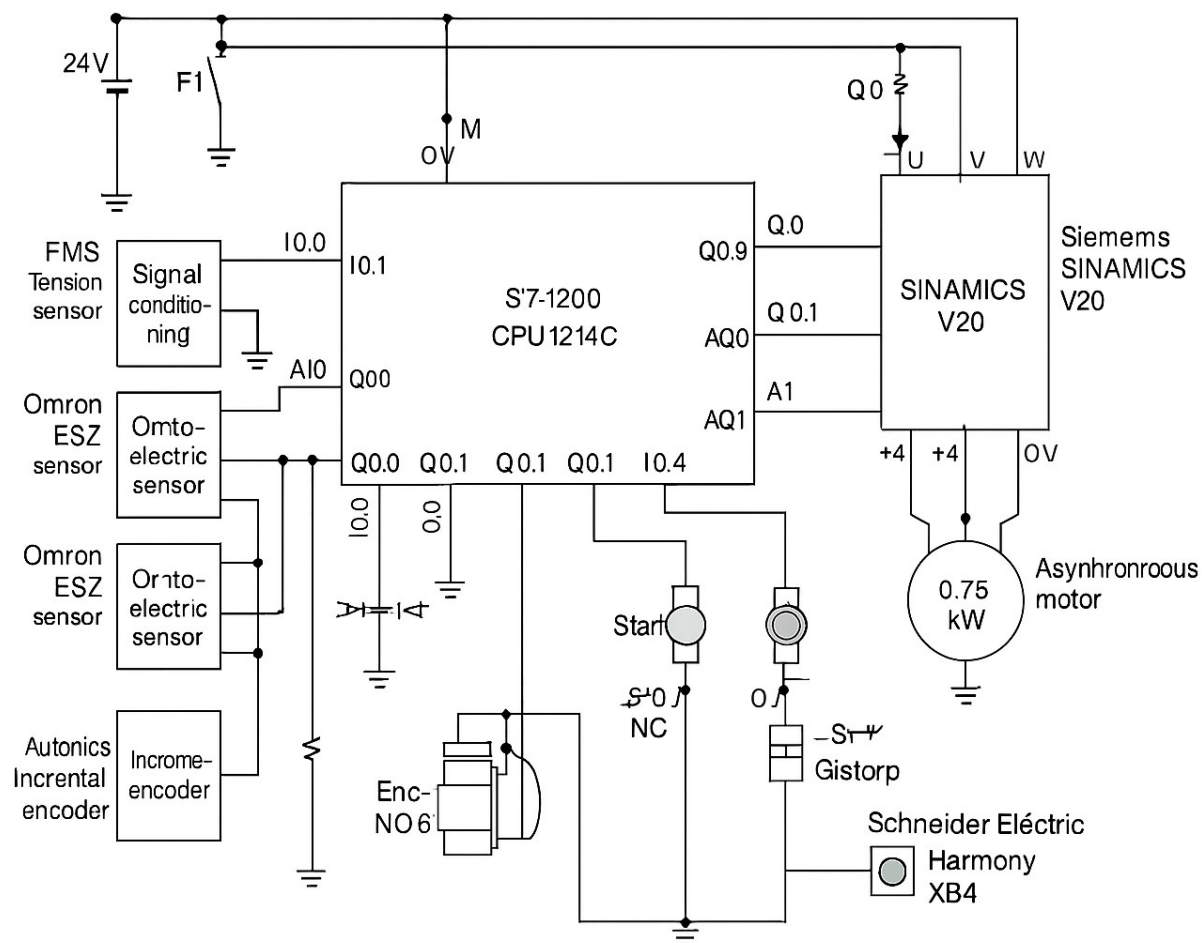


Рисунок 4.2 – Принципова електрична схема системи керування стрічковим конвеєром

Аналоговий вхід ПЛК використовується для підключення тензодатчика натягу полотна FMS DTL-Series. Вихідний сигнал тензомоста через тензопідсилювач подається на клеми AI0 контролера (плюсовий та мінусовий входи), а його «земля» приєднується до загальної шини M 24-вольтового кола. Це забезпечує

коректне перетворення аналогового сигналу натягу в цифровий код, який надалі використовується у ПД-контурі регулювання.

Два фотоелектричних датчики Omron E3Z підключаються до дискретних входів ПЛК. Датчик краю полотна живиться від 24 В DC, а його вихідний PNP-сигнал через клему надходить, наприклад, на вхід I0.1, що дозволяє контролювати відхилення полотна від заданого положення. Датчик наявності полотна підключається аналогічно до входу I0.2 і формує сигнал про проходження або відсутність матеріалу в контрольній зоні. Обидва датчики мають спільну шину 0 В, під'єднану до клеми М ПЛК, що забезпечує єдиний потенціал для всієї системи.

Інкrementальний енкодер Autonics E40S6-1000-3-T-24, встановлений на приводному валі, живиться також від 24 В DC. Його канали А, В, Z підключаються до високошвидкісних входів I0.0–I0.3 контролера, які налаштовано в режимі HSC. Це дає змогу точно вимірювати частоту обертання та кутове переміщення барабана, а отже – швидкість та довжину переміщення полотна. Екранований кабель енкодера заземлюється з боку шафи керування для зменшення впливу електромагнітних завад.

Елементи локального керування реалізовані на базі кнопок Schneider Electric Harmony XB4. Зелена кнопка «Пуск» з нормально відкритим контактом (1NO) підключається до вхідного кола 24 В і дискретного входу, наприклад I0.3, утворюючи логічний сигнал дозволу пуску. Аварійна кнопка «Грибок» із нормально замкненим контактом (1NC) виконує подвійну функцію: основний силовий контакт включено послідовно в ланцюг живлення 24 В, що подається на частотний перетворювач Siemens SINAMICS V20, а додатковий контакт підключається до входу I0.4 ПЛК для реєстрації факту аварійного спрацювання. У разі натискання «Грибка» живлення частотника знімається апаратно, а контролер фіксує аварію та блокує повторний пуск до скидання стану.

Керування частотним перетворювачем SINAMICS V20 здійснюється комбінацією аналогового та дискретних сигналів. Аналоговий вихід ПЛК AQ0 (0–10 В) з'єднується з аналоговим входом перетворювача, що визначає задану часто-

ту обертання двигуна. Цифрові виходи Q0.0 та Q0.1 використовуються для формування команд «Пуск» та «Стоп» на клеми DI1 та DI2 V20. Ланцюги керування частотника живляться від тієї ж 24-вольтової шини, що спрощує узгодження рівнів сигналів.

Силова частина електроприводу включає асинхронний двигун потужністю 0,75 кВт, з'єднаний із черв'ячним мотор-редуктором SEW S47. Вихідні клеми силового модуля частотного перетворювача підключаються до обмоток двигуна відповідно до інструкції виробника, забезпечуючи плавний пуск, регулювання швидкості та захист від перевантажень. Двигун і корпус мотор-редуктора приєднуються до контуру захисного заземлення, що підвищує електробезпеку.

Таким чином, принципова електрична схема підключення компонентів забезпечує логічно впорядковану структуру ланцюгів живлення та сигналів, що гарантує коректну взаємодію ПЛК, датчиків, частотного перетворювача та електроприводу, а також реалізацію необхідних функцій керування та захисту стрічкового конвеєра.

4.3 Розробка алгоритмів до системи керування стрічковим конвеєром

Алгоритми роботи системи керування є ключовою складовою програмного забезпечення ПЛК Siemens S7-1200 та визначають послідовність дій, які забезпечують надійне транспортування текстильного полотна, підтримання стабільної швидкості, контроль натягу та оперативне реагування на аварійні ситуації. Логіка функціонування програми побудована за модульним принципом, де основний алгоритм координує послідовність виконання всіх підпрограм та забезпечує коректну взаємодію між апаратними й програмними компонентами системи.

На рисунку 4.3 представлено алгоритм основної роботи програми, який визначає загальну послідовність дій системи від моменту увімкнення до завершення транспортування полотна.

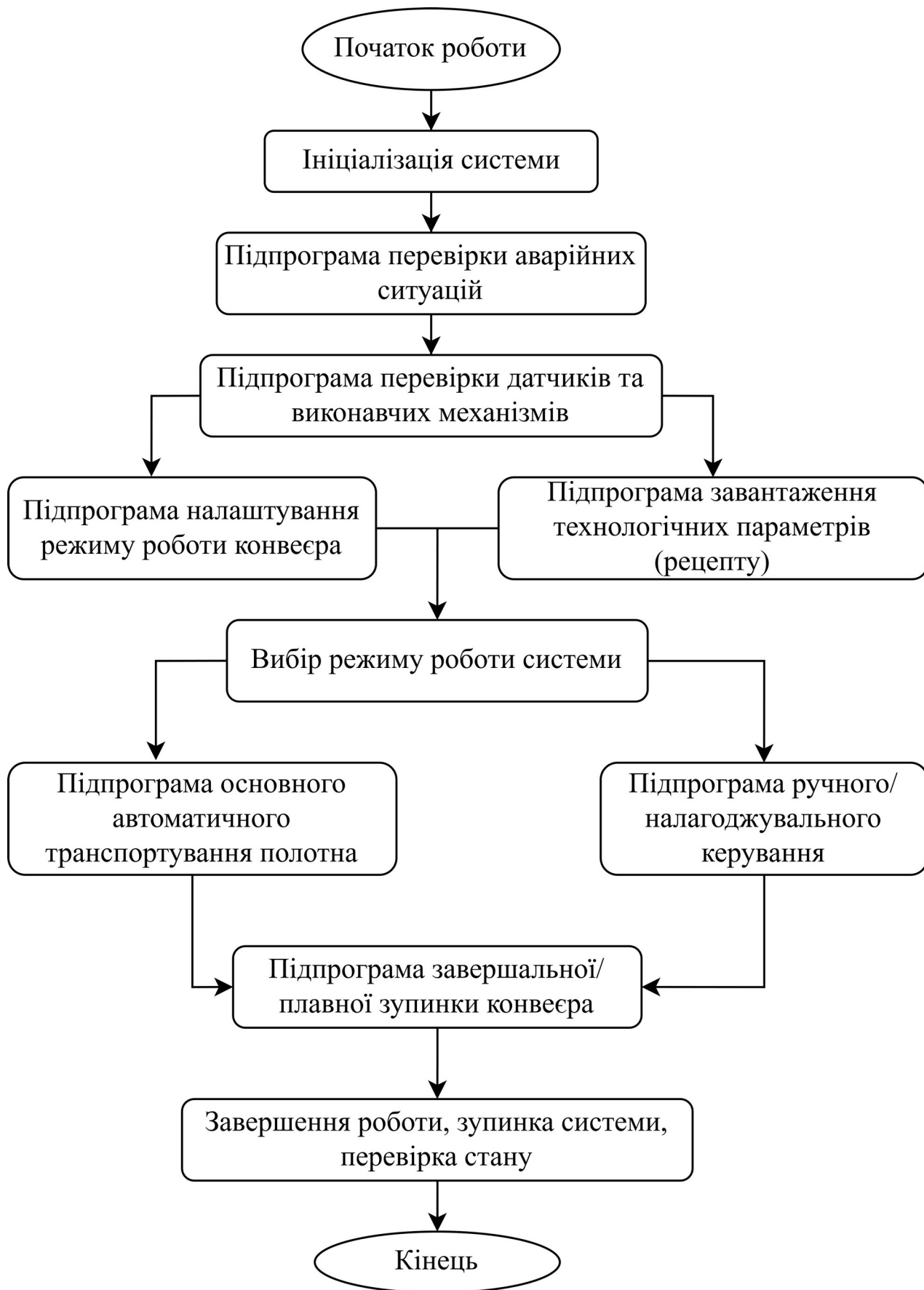


Рисунок 4.3 — Алгоритм основної роботи програми системи керування стрічковим конвеєром

Основний алгоритм керування стрічковим конвеєром починається з етапу ініціалізації системи, який включає завантаження конфігурації ПЛК, перевірку доступності живлення 24 В, коректності з'єднання з частотним перетворювачем SINAMICS V20 та перевірку стану внутрішніх змінних. На цьому етапі система встановлює початкові значення параметрів, очищує попередні помилки та переходить у режим очікування подальших дій.

Після завершення ініціалізації викликається підпрограма перевірки аварійних ситуацій. Вона аналізує стан кнопки «Аварійний стоп», перевіряє наявність критичних помилок частотного перетворювача та контролює внутрішні сигнали діагностики ПЛК. Якщо у процесі перевірки виявлено відхилення чи порушення, система блокує можливість запуску конвеєра та переходить у режим очікування усунення аварії.

Наступним етапом є підпрограма перевірки датчиків та виконавчих механізмів. На цьому рівні відбувається зчитування сигналів від тензодатчика натягу полотна, енкодера швидкості, фотоелектричних датчиків наявності та перекосу полотна. Додатково перевіряється стан кнопок локального керування «Пуск» і «Стоп». У разі успішного проходження перевірки система переходить до етапу підготовки до запуску.

Підготовчий етап передбачає встановлення початкових параметрів роботи: уставок натягу, допустимих меж швидкості, режимів реагування на перекіс полотна та логіки обробки аварійних подій. У разі необхідності виконується скидання попередніх аварій та повторна діагностика системи.

Наступним кроком є виконання підпрограм налаштування режиму роботи конвеєра та завантаження технологічних параметрів (рецепту). У цих підмодулях оператор може задати тип матеріалу, вибрати технологічний режим, встановити необхідну швидкість руху стрічки, діапазони натягу, чутливість датчиків та інші параметри. Наявність двох паралельних підпрограм відповідає практичній логіці роботи систем автоматизації: технологічні параметри можуть бути застосовані окремо від режимів роботи або використовуватися комплексно.

Після визначення параметрів виконується вибір режиму роботи системи. Програма може працювати в автоматичному режимі — коли всі підпрограми працюють циклічно та взаємозалежно, або в ручному/налагоджувальному режимі, де оператор задає рух стрічки та керує обладнанням без участі регуляторів та логічних перевірок (за винятком критичних аварій).

Головний робочий цикл — це центральний етап алгоритму. У режимі автоматичного транспортування система виконує такі функції:

- плавний запуск приводу із застосуванням програмної траєкторії розгону;
- вимірювання фактичної швидкості за імпульсами енкодера й корекція керуючого сигналу через ПД-регулювання;
- контроль натягу полотна та реагування на його зміну;
- виявлення перекосу полотна, відсутності полотна або некоректної роботи датчиків;
- формування команд аварійної зупинки у випадку порушення технологічних параметрів.

У ручному/налагоджувальному режимі оператор може виконувати покроковий запуск, зупинку, реверс, перевірку датчиків і тестове налаштування системи, що суттєво полегшує монтажні та сервісні роботи.

Після завершення технологічного циклу або натискання кнопки «Стоп» активується підпрограма завершальної/плавної зупинки конвеєра. Вона відповідає за поступове зменшення вихідної частоти частотника до нуля, що усуває можливість ривків і надмірних механічних навантажень на стрічку та барабани. Система фіксує повну зупинку, зберігає поточний стан та переходить у режим очікування завершення роботи.

У фінальному етапі основного алгоритму виконується зупинка системи, повторна перевірка стану датчиків і готовності до наступного циклу роботи. Після цього програма переходить у завершений стан.

Підпрограма «Ініціалізація системи» призначена для забезпечення коректного запуску програмованого логічного контролера та перевірки основних функ-

ціональних елементів перед переходом до подальших етапів роботи. Її виконання є обов'язковою умовою для входу в основний цикл програми. На рисунку 4.4 представлено алгоритм підпрограми ініціалізації системи, який відображає послідовність перевірок, умов та дій, що виконуються контролером перед активацією системи керування стрічковим конвеєром.

Процес ініціалізації починається з перевірки наявності живлення ПЛК та шин 24 В DC, оскільки стабільність живлення є критичною для коректного функціонування датчиків, виконавчих механізмів і модулів введення/виведення. У разі виявлення відсутності або недостатньої напруги система переходить у режим блокування та формує повідомлення про несправність до моменту повного усунення проблеми.

Наступним етапом є процедура самодіагностики ПЛК, яка включає перевірку внутрішніх помилок, коректності конфігурації модулів, цілісності програми та стану системних регістрів. У разі виявлення внутрішньої помилки контролер генерує відповідне повідомлення та блокує запуск системи, запобігаючи можливим неконтрольованим режимам роботи.

Після успішного завершення самодіагностики виконується ініціалізація змінних, службових регістрів та обнулення лічильників. Це забезпечує незалежність роботи системи від можливих залишкових значень та станів, що могли виникнути під час попереднього циклу роботи або після аварійної зупинки.

Важливим етапом є перевірка стану аварійної кнопки «Грибок», яка виконує функцію апаратного аварійного відключення. Якщо кнопка знаходиться в натиснутому стані, система сигналізує про аварійний стоп і блокує подальшу роботу до моменту її повернення у нормальний стан.

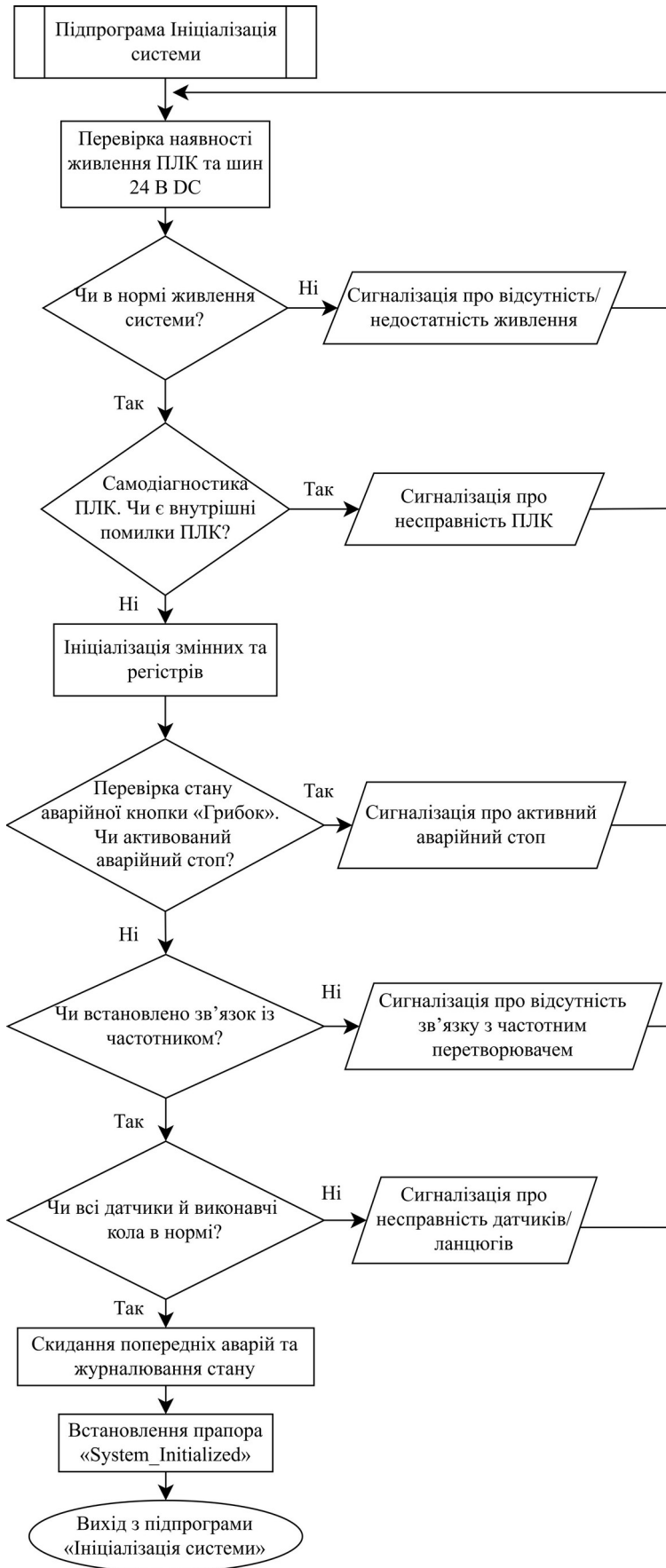


Рисунок 4.4 — Алгоритм підпрограми «Ініціалізація системи»

Далі підпрограма виконує перевірку встановлення зв'язку із частотним перетворювачем SINAMICS V20. Це включає перевірку наявності живлення, активності каналу зв'язку та готовності перетворювача до прийому команд. Якщо зв'язок відсутній або частотник знаходиться у стані несправності, система не дозволяє перехід до наступного етапу та інформує оператора про відповідну помилку.

Наступною умовою є перевірка справності датчиків і виконавчих кіл системи: тензодатчика, енкодера, фотоелектричних сенсорів та ліній керування. Якщо хоча б один із каналів має ознаку несправності (обрив ланцюга, недопустимий рівень сигналу, коротке замикання), система генерує діагностичне повідомлення й очікує усунення проблеми.

Після успішного проходження перевірок система виконує скидання всіх попередніх аварій, що могли залишитися після попередніх циклів роботи, та виконує журналювання стану. Цей етап важливий для формування історії подій та забезпечення коректного відображення актуального статусу системи на інтерфейсі оператора.

Завершальним кроком є встановлення службового прапора *System_Initialized*, який повідомляє основний алгоритм програми про успішне завершення початкових перевірок та готовність системи до виконання наступних підпрограм. Після цього виконується вихід із підпрограми та передача керування на етап налаштування режимів роботи конвеєра.

Таким чином, підпрограма ініціалізації системи виконує комплексний аналіз працездатності апаратних засобів і програмних компонентів, забезпечуючи високий рівень надійності та безпеки під час подальшої роботи стрічкового конвеєра.

Після завершення процесу ініціалізації система переходить до виконання низки допоміжних підпрограм, що забезпечують перевірку готовності обладнання до роботи. До таких підпрограм належать перевірка аварійних ситуацій, перевірка датчиків та виконавчих механізмів, а також формування базових початкових

параметрів системи. Ці підпрограми виконують стандартні діагностичні функції, характерні для більшості автоматизованих систем на базі ПЛК, тому їхній алгоритм має типову структуру та не потребує детального розгляду в межах даної роботи.

На відміну від них, підпрограма «Налаштування режиму роботи конвеєра» є ключовим елементом розробленої системи та має унікальну логіку, пов'язану із специфікою транспортування текстильного полотна. Саме на цьому етапі проводиться формування параметрів, які безпосередньо впливають на якість, стабільність і безпеку роботи стрічкового конвеєра. У межах підпрограми здійснюється вибір або введення швидкості, встановлення уставки натягу полотна, налаштування параметрів контролю перекосу та конфігурація додаткових функцій системи. Враховуючи важливість цих параметрів для подальших етапів роботи, алгоритм підпрограми представлено окремою блок-схемою.

На рисунку 4.5 подано алгоритм виконання підпрограми налаштування режиму конвеєра, який ілюструє послідовність перевірок, умовних переходів та дій оператора, необхідних для завершення конфігурації системи перед переходом до основного технологічного циклу.

Підпрограма розпочинається з перевірки доступності функції налаштування. У випадку, якщо система перебуває в аварійному режимі або в стані блокування, зміна параметрів забороняється. У разі позитивного результату система зчитує актуальні параметри попереднього режиму, що дозволяє оператору оцінити поточний стан та за потреби скоригувати його.

Першим параметром, що вводиться або обирається, є швидкість руху стрічки. Цей показник визначає продуктивність лінії та повинен відповідати допустимому технологічному діапазону. У разі виходу значення за межі норми система формує повідомлення про помилку та повертає користувача до внесення коректних даних.

Наступним етапом є встановлення уставки натягу полотна, яка визначає роботу контуру регулювання на базі тензодатчика. Оскільки неправильний натяг

може спричинити ковзання, зморшки, або навіть обрив полотна, система виконує перевірку коректності заданої величини.

Після цього виконується налаштування параметрів контролю перекосу полотна — важливого функціонального елемента, що забезпечує правильне положення полотна відносно осі конвеєра. Оператор може задати чутливість, зону спрацювання та логіку реагування системи на відхилення. У разі некоректних параметрів система формує повідомлення про помилку.

На завершальному етапі користувач може активувати або вимкнути додаткові функції системи, після чого система виконує комплексну перевірку всіх введених параметрів. У разі коректності налаштувань вони зберігаються у пам'яті ПЛК, а система встановлює службовий прапор *Mode_Config_Ready*, що сигналізує про завершення етапу налаштування та готовність переходу до основного алгоритму транспортування полотна.

Після завершення етапу налаштування режиму роботи система переходить до виконання підпрограми «Основне автоматичне транспортування полотна», що є центральною частиною роботи стрічкового конвеєра. Саме на цьому етапі реалізуються всі основні функції системи керування: підтримання встановленої швидкості, стабілізація натягу полотна, корекція перекосу та контроль наявності матеріалу. Алгоритм роботи підпрограми наведено на рисунку 4.6.

Робота підпрограми починається з перевірки готовності системи до транспортування. До числа параметрів, що перевіряються, належать: успішне завершення ініціалізації, коректне виконання налаштування режиму (*Mode_Config_Ready*), а також відсутність активних аварійних сигналів. У разі невідповідності хоча б одного з критеріїв система блокує запуск транспортування та формує повідомлення про неможливість продовження роботи.

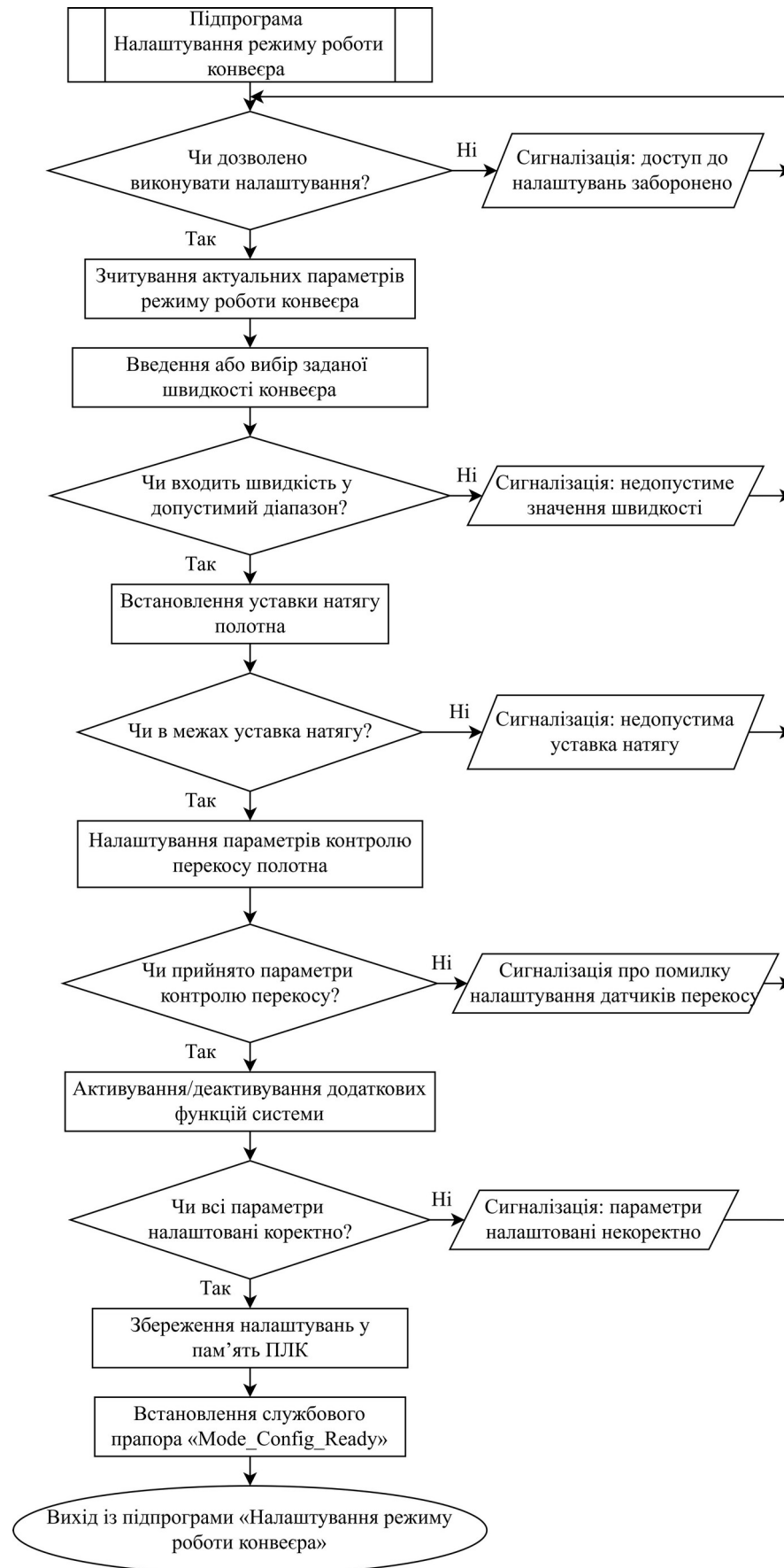


Рисунок 4.5 — Алгоритм підпрограми «Налаштування режиму роботи конвеєра»

На завершальному етапі користувач може активувати або вимкнути додаткові функції системи, після чого система виконує комплексну перевірку всіх введених параметрів. У разі коректності налаштувань вони зберігаються у пам'яті ПЛК, а система встановлює службовий прапор *Mode_Config_Ready*, що сигналізує про завершення етапу налаштування та готовність переходу до основного алгоритму транспортування полотна.

Після завершення етапу налаштування режиму роботи система переходить до виконання підпрограми «Основне автоматичне транспортування полотна», що є центральною частиною роботи стрічкового конвеєра. Саме на цьому етапі реалізуються всі основні функції системи керування: підтримання встановленої швидкості, стабілізація натягу полотна, корекція перекосу та контроль наявності матеріалу. Алгоритм роботи підпрограми наведено на рисунку 4.6.

Робота підпрограми починається з перевірки готовності системи до транспортування. До числа параметрів, що перевіряються, належать: успішне завершення ініціалізації, коректне виконання налаштування режиму (*Mode_Config_Ready*), а також відсутність активних аварійних сигналів. У разі невідповідності хоча б одного з критеріїв система блокує запуск транспортування та формує повідомлення про неможливість продовження роботи.

За умови готовності виконується запуск контролю швидкості конвеєра. ПЛК встановлює початкове значення частоти для частотного перетворювача та плавно збільшує її до заданої оператором величини. Досягнення необхідної швидкості є обов'язковою умовою для переходу до наступного етапу, оскільки від стабільності швидкості безпосередньо залежить точність регулювання натягу та рівномірність руху полотна. Якщо система не може досягти встановленої швидкості, виконується автоматичне регулювання параметрів, а в разі критичних відхилень — аварійне відключення.

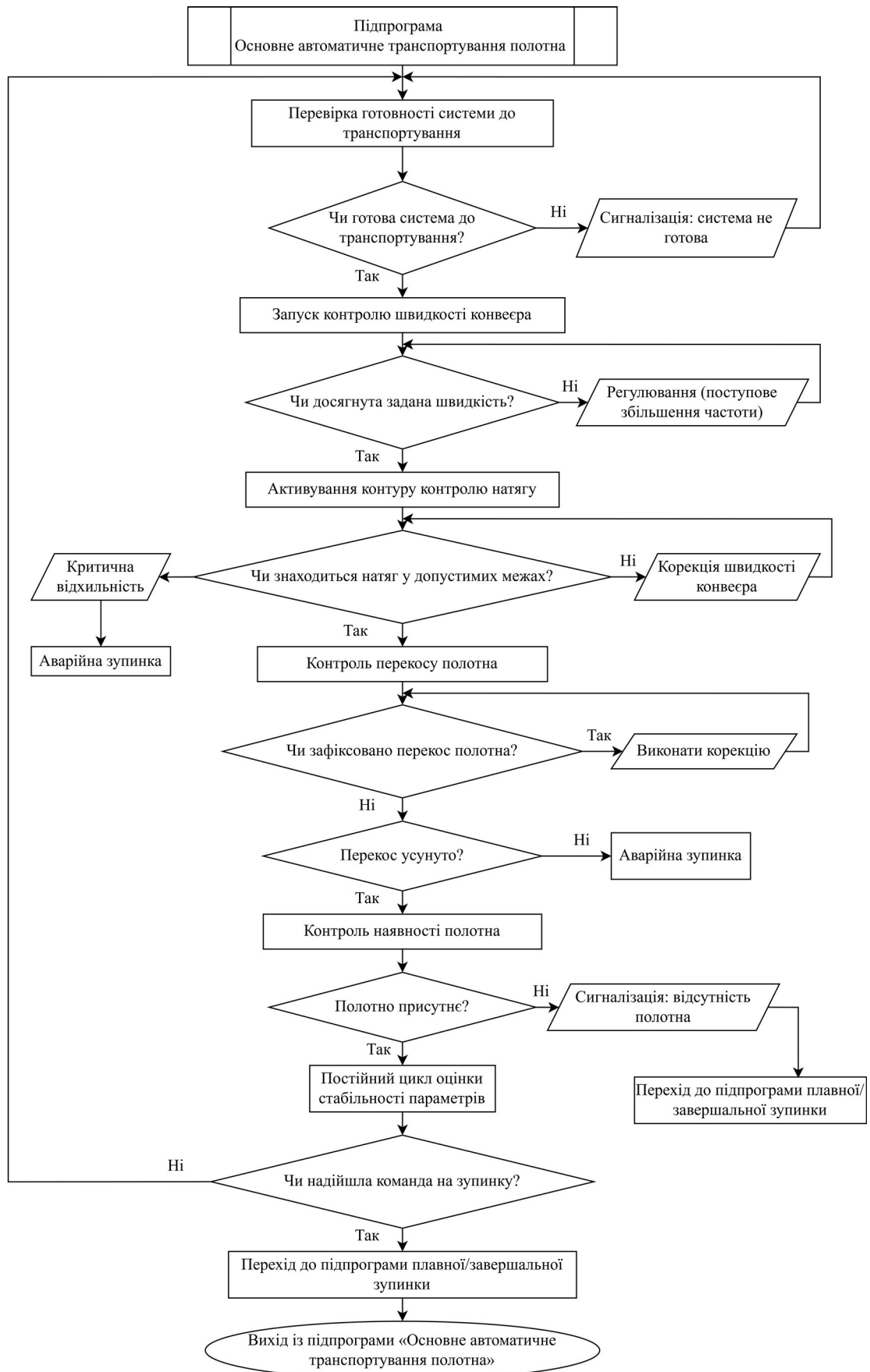


Рисунок 4.6 — Алгоритм підпрограми «Основне автоматичне транспортування полотна»

Наступним етапом є активування контуру контролю натягу, що ґрунтується на сигналах від тензодатчика натягу полотна. ПЛК порівнює реальний натяг із заданою уставкою та регулює швидкість двигуна, забезпечуючи стабільне значення натягу. Якщо натяг виходить за допустимі межі, система виконує корекцію. У разі критичних відхилень — негайно формує команду аварійної зупинки для запобігання пошкодженню полотна або елементів механізму.

Після стабілізації натягу запускається контроль перекосу полотна. Датчики перекосу аналізують положення полотна відносно осі конвеєра. Якщо перекос зафіксовано, система виконує корекційні дії — наприклад, зміну швидкості окремих ділянок або коригування положення виконавчих механізмів центрування. Якщо перекос не усувається після корекції, підпрограма негайно формує команду аварійної зупинки, оскільки подальша робота може призвести до пошкодження полотна.

Після вирівнювання положення виконується перевірка наявності полотна, яка ґрунтується на даних фотоелектричного датчика. Якщо полотна відсутнє, система повідомляє про обрив або завершення матеріалу та переходить до підпрограми плавної чи завершальної зупинки. У разі наявності полотна система переходить у стабілізований режим роботи.

На наступному етапі реалізується постійний цикл оцінки стабільності параметрів. Протягом усього транспортування система в режимі реального часу контролює швидкість руху, натяг полотна, стан виконавчих механізмів, сигнали датчиків та можливі відхилення у роботі. У разі виявлення небажаних змін система виконує необхідні корекційні дії або переходить до аварійної зупинки залежно від характеру відхилення.

Завершальним етапом підпрограми є обробка команди зупинки. Якщо оператор або система подає сигнал на припинення транспортування, підпрограма передає керування до підпрограми плавної/завершальної зупинки, що забезпечує безпечне гальмування конвеєра та приведення системи у стабільний кінцевий стан.

Побудовані та описані алгоритми становлять основу логічної структури програми керування стрічковим конвеєром. Як видно з наведених блок-схем, найбільш критичними для роботи системи є підпрограми налаштування режиму роботи та основного автоматичного транспортування полотна, оскільки саме в них реалізовані унікальні технологічні рішення, пов'язані з підтриманням стабільного натягу полотна, контролем його положення та забезпеченням рівномірного руху.

Інші підпрограми, що присутні в загальному алгоритмі — такі як перевірка аварійних ситуацій, діагностика датчиків, контроль стану виконавчих механізмів або обробка службових сигналів — мають типову структуру, характерну для більшості промислових систем на базі ПЛК Siemens. Їхня логіка обмежується послідовністю стандартних перевірок, переведенням системи у безпечний стан у разі відхилень та формуванням відповідних службових прапорів. У зв'язку з цим детальне графічне відображення цих підпрограм у даному розділі не наводиться, оскільки вони не містять специфічних або нетривіальних функцій, що потребували б аналізу в межах дипломної роботи.

Таким чином були розглянуті саме ті фрагменти алгоритму, що формують інтелектуальну частину керування конвеєром та визначають його відмінність від типових транспортних систем. Сформовані алгоритми є основою для подальшої програмної реалізації, у межах якої відбуватиметься побудова функціональних блоків, програмних модулів та реалізація логічних зв'язків відповідно до представлених структур.

4.4 Розробка програми керування конвеєром

Розробка програми керування стрічковим конвеєром здійснювалася в середовищі Siemens TIA Portal із використанням програмованого логічного контролера серії Siemens S7-1200, який виступає центральним елементом системи керування. Структура програми побудована на основі алгоритмів, розглянутих у

попередньому підрозділі, що забезпечує повну відповідність між логічною та програмною моделями роботи конвеєра.

Програмна реалізація включає набір організаційних та функціональних блоків, кожен з яких відповідає певній підпрограмі або функціональному модулю системи: ініціалізації, налаштування режиму роботи, автоматичного транспортування полотна, контролю швидкості, контролю натягу, контролю перекосу, обробки аварійних ситуацій, а також блока плавної/завершальної зупинки. Такий підхід забезпечує модульність програми, спрощує налагодження та підвищує надійність роботи системи.

Основним циклічним елементом програми є блок OB1, у якому виконується послідовний виклик функціональних блоків (FB) відповідно до логічного алгоритму. Кожен FB має власний набір внутрішніх змінних, параметрів та умов, що дозволяє ізолювати окремі частини програми і гарантує коректність їхнього виконання незалежно від стану інших підпрограм.

У процесі розробки програми було сформовано ієрархію блоків, яка відображає реальну структуру системи керування. Зокрема:

- блок FB_Init реалізує алгоритм ініціалізації системи;
- блок FB_ModeConfig відповідає за налаштування режиму роботи конвеєра;
- блок FB_AutoTransport реалізує алгоритм основного автоматичного транспортування полотна;
- блоки FB_TensionControl, FB_SpeedControl, FB_AlignmentControl відповідають за регулювання відповідних параметрів;
- блок FB_Safety виконує контроль аварійних ситуацій і обробку критичних сигналів;
- блок FB_StopSequence забезпечує плавну або аварійну зупинку системи.

Комунікація між блоками здійснюється через глобальні змінні, структуровані в таблиці тегів PLC Tags, а також через внутрішні статичні змінні функціональних блоків. Такий підхід дає змогу формувати чітку логічну послі-

довність, забезпечувати узгодженість між підпрограмами та підтримувати контроль станів системи в реальному часі.

Розроблена програма забезпечує виконання всіх основних функцій стрічкового конвеєра: автоматичний запуск, стабілізацію натягу полотна, корекцію перекосу, контроль швидкості та станів датчиків, обробку аварійних ситуацій, а також плавну зупинку обладнання. У наступних підпунктах буде розглянуто структуру програмних блоків та особливості реалізації окремих функціональних фрагментів програми.

4.4.1 Програмна реалізація алгоритмів у середовищі TIA Portal

Програмна реалізація системи керування стрічковим конвеєром виконана в середовищі Siemens TIA Portal для контролера Siemens S7-1200. При побудові структури програми було використано модульний підхід, згідно з яким кожна з основних функцій системи реалізована у вигляді окремого функціонального блоку (FB), що відповідає певній підпрограмі, розглянутій у попередньому підрозділі.

Циклічне виконання програми здійснюється в організаційному блоці OB1, який викликається ПЛК у кожному циклі опитування. У межах OB1 реалізовано послідовний виклик основних функціональних блоків у такому порядку, що відповідає розробленим алгоритмам:

1. FB_Init – ініціалізація системи;
2. FB_ModeConfig – налаштування режиму роботи конвеєра;
3. FB_AutoTransport – основне автоматичне транспортування полотна;
4. FB_TensionControl – регулювання натягу полотна;
5. FB_SpeedControl – контроль та стабілізація швидкості;
6. FB_AlignmentControl – контроль перекосу полотна;
7. FB_Safety – контроль аварійних ситуацій та формування сигналів безпеки;
8. FB_StopSequence – плавна та аварійна зупинка конвеєра.

Такий порядок виклику забезпечує логічну послідовність виконання: спочатку здійснюється перевірка та підготовка системи, далі – формування режимів роботи, основний цикл транспортування, регулювання параметрів, контроль безпеки та, за необхідності, зупинка.

Для реалізації логічних операцій, пов'язаних із дискретними сигналами (кнопки «Пуск»/«Стоп», аварійний стоп, спрацювання датчиків, формування прапорів станів), переважно використано мову LAD (Ladder Diagram), яка є наочною та зручною для опису релейно-контактних схем. Для реалізації контурів регулювання натягу та швидкості, а також обробки аналогових сигналів, застосовано мову FBD (Function Block Diagram) з використанням стандартних функціональних блоків ПД-регуляторів та блоків арифметичних операцій. У фрагментах, де необхідна більш гнучка обробка даних або складні логічні умови, можуть використовуватись окремі фрагменти коду на SCL (Structured Control Language).

Кожен функціональний блок має свій інтерфейс, що складається з вхідних, вихідних та внутрішніх статичних змінних. Вхідні змінні пов'язані з глобальними тегамі, сформованими у таблиці PLC Tags (швидкість, натяг, сигнали датчиків, команди оператора), тоді як вихідні змінні блоків формують керуючі сигнали для частотного перетворювача, виконавчих механізмів та службові прапори станів системи. Внутрішні змінні FB використовуються для збереження проміжних результатів, реалізації таймерів, фільтрації сигналів та внутрішньої логіки.

Наприклад, у блоці FB_Init реалізовано покрокову перевірку стану живлення, внутрішньої діагностики ПЛК, наявності зв'язку з частотним перетворювачем та справності основних датчиків. Результатом роботи блоку є установка прапора *System_Initialized* та формування сигналів, що забороняють або дозволяють подальше виконання програми.

У блоці FB_ModeConfig реалізовано логіку обробки введених оператором параметрів: заданої швидкості, уставки натягу, параметрів контролю перекосу та додаткових режимів роботи. Після перевірки коректності значень та їх відповід-

ності допустимим межам блок формує службовий прапор *Mode_Config_Ready*, який використовується в основному циклі.

Функціональний блок *FB_AutoTransport* реалізує розроблений алгоритм основного автоматичного транспортування полотна: запуск і контроль швидкості, включення контурів регулювання натягу, контроль перекосу та наявності полотна, а також формування команд на плавну або аварійну зупинку при відхиленнях від нормального режиму. Для цього блок використовує як дані з глобальних змінних, так і сигнали від інших блоків (наприклад, результати контролю натягу та перекосу).

Блок *FB_Safety* постійно аналізує аварійні та діагностичні сигнали, формує загальний аварійний прапор *Error_General* та, за необхідності, блокує виконання інших функціональних блоків, примусово переводячи систему в безпечний стан.

Таким чином, програмна реалізація системи керування базується на розроблених у попередньому підрозділі алгоритмах і реалізує їх у вигляді структурованого набору програмних блоків. Це забезпечує прозору логіку роботи, можливість подальшої модернізації системи та спрощує процес налагодження та технічного обслуговування.

Наступні фрагмент містять програмну реалізацію основних функціональних блоків системи керування, розроблену на основі попередньо сформованих алгоритмів.

```
FUNCTION_BLOCK FB_Init
```

```
TITLE = 'System initialization'
```

```
{ S7_Optimized_Access := 'TRUE' }
```

```
VAR_INPUT
```

```
Power24V_OK : Bool; // Живлення 24 В у нормі
```

```
PLC_DiagError : Bool; // Внутрішня помилка ПЛК
```

```
EmergencyStop_OK: Bool; // TRUE = аварійний стоп відпущено
```

```
VFD_Comm_OK : Bool; // Є зв'язок з частотним перетворювачем
```

```
Sensors_OK : Bool; // Датчики та ланцюги в нормі
```

```

    Reset_Alarms    : Bool; // Команда скидання аварій
END_VAR

VAR_OUTPUT

    System_Initialized : Bool; // Підпрограма ініціалізації успішно виконана
    System_Ready       : Bool; // Система готова до подальшої роботи
    Error_Power        : Bool; // Аварія живлення
    Error_PLC          : Bool; // Внутрішня помилка ПЛК
    Error_EStop        : Bool; // Активований аварійний стоп
    Error_VFD          : Bool; // Немає зв'язку з частотником
    Error_Sensors      : Bool; // Несправність датчиків/ланцюгів
END_VAR

VAR

    All_OK : Bool; // Внутрішній прапор: усі умови виконані
END_VAR

FUNCTION_BLOCK FB_ModeConfig

    TITLE = 'Conveyor mode configuration'

    { S7_Optimized_Access := 'TRUE' }

VAR_INPUT

    Config_Enable      : Bool; // Дозвіл на виконання налаштувань
    Speed_Setpoint_In  : Real; // Введена/обрана швидкість
    Tension_Setpoint_In : Real; // Введена/обрана уставка натягу
    Speed_Min           : Real; // Мінімально допустима швидкість
    Speed_Max           : Real; // Максимально допустима швидкість
    Tension_Min         : Real; // Мінімально допустимий натяг
    Tension_Max         : Real; // Максимально допустимий натяг
    Apply_Config        : Bool; // Команда "Застосувати налаштування"
    Reset_Alarms       : Bool; // Скидання помилок конфігурації
END_VAR

VAR_OUTPUT

```

```

SetSpeed      : Real; // Прийнята задана швидкість
Tension_Setpoint : Real; // Прийнята уставка натягу
Mode_Config_Ready : Bool; // Режим налаштовано, можна запускати
Error_Config_Denied : Bool; // Немає доступу до налаштувань
Error_Speed_Config : Bool; // Неправильна швидкість
Error_Tension_Config : Bool; // Неправильний натяг
Error_Config_General : Bool; // Загальна помилка конфігурації
END_VAR

VAR
    Apply_Trig_Old : Bool; // Для виявлення фронту Apply_Config
    Apply_Trig_Ris : Bool;
END_VAR

FUNCTION_BLOCK FB_AutoTransport
    TITLE = 'Automatic cloth transport'
    { S7_Optimized_Access := 'TRUE' }
    VAR_INPUT
        // Системні умови
        System_Ready : Bool; // Після ініціалізації та базових перевірок
        Mode_Config_Ready : Bool; // Режим налаштовано (FB_ModeConfig)
        AutoStart : Bool; // Команда на запуск автоматичного транс-
        портування

        Stop_Command : Bool; // Команда на зупинку (нормальна)
        Emergency_Stop : Bool; // Аварійна зупинка (грибок, сервіс і т.п.)
        Reset_Alarms : Bool; // Скидання помилок та стану

        // Параметри швидкості
        SetSpeed : Real; // Задана швидкість (м/хв або екв. частота)
        CurrentSpeed : Real; // Поточна швидкість (за енкодером)
        Speed_OK : Bool; // Прапор “досягнута та стабілізована швид-
        кість”
    END_VAR
END_FUNCTION_BLOCK

```

```

// Натяг полотна
Tension_OK      : Bool; // Натяг у допустимих межах
Tension_Critical : Bool; // Критичне відхилення натягу (аварія)

// Перекос полотна
Alignment_Error  : Bool; // Виявлено перекос полотна
Alignment_Fail   : Bool; // Перекос не усунений (критична аварія)

// Наявність полотна
Cloth_Present    : Bool; // TRUE = полотно є в зоні контролю
// Зворотний зв'язок від підпрограми плавної зупинки
SoftStop_Done    : Bool; // Плавна зупинка завершена (FB_StopSequence)
END_VAR

VAR_OUTPUT
    AutoRun_Active      : Bool; // Прапор активного автоматичного транс-
    портування
    VFD_Start           : Bool; // Команда запуску частотника
    VFD_Stop            : Bool; // Команда зупинки частотника (жорстка/
    аварійна)
    VFD_Frequency_Set   : Real; // Керуюча задана частота/швидкість
    Request_SoftStop    : Bool; // Запит на плавну зупинку (для
    FB_StopSequence)
    Error_AutoTransport : Bool; // Аварія підпрограми автоматичного
    транспортування
END_VAR

VAR
    State              : Int := 0; // 0=IDLE, 2=STARTING, 3=RUNNING,
    4=STOPPING, 5=FAULT
    AutoStart_Old      : Bool;
    AutoStart_Rise     : Bool;

```

```

    RAMP_STEP      : Real := 0.5;  // Крок зміни частоти за цикл (умовно)
END_VAR

// Виявлення фронту команди AutoStart
AutoStart_Rise := AutoStart AND NOT AutoStart_Old;
AutoStart_Old := AutoStart;

// Скидання аварій та повернення в IDLE
IF Reset_Alarms THEN
    Error_AutoTransport := FALSE;
    VFD_Stop             := FALSE;
    Request_SoftStop     := FALSE;
    IF NOT Emergency_Stop THEN
        State := 0;      // Повертаємось у стан IDLE
    END_IF;
END_IF;

// Вихідні сигнали за замовчуванням
VFD_Start      := FALSE;
VFD_Stop       := FALSE;
Request_SoftStop := FALSE;
AutoRun_Active := FALSE;

// СТАН-МАШИНА
CASE State OF
    // 0: IDLE – очікування команди на запуск
        VFD_Frequency_Set := 0.0;
        // Умови для запуску автоматичного транспортування
        IF AutoStart_Rise
            AND System_Ready
            AND Mode_Config_Ready
            AND (NOT Emergency_Stop) THEN
            State := 2; // Переходимо до старту
        END IF;
    END CASE;

```



```

    END_IF;
// 2: STARTING – запуск та розгін до заданої швидкості
// Подаємо команду запуску частотника
    VFD_Start := TRUE;
// Прімітивний розгін: плавно підтягуємося до SetSpeed
    IF VFD_Frequency_Set < SetSpeed THEN
        VFD_Frequency_Set := VFD_Frequency_Set + RAMP_STEP;
        IF VFD_Frequency_Set > SetSpeed THEN
            VFD_Frequency_Set := SetSpeed;
        END_IF;
    END_IF;
// Контроль аварій під час розгону
    IF Emergency_Stop OR Tension_Critical OR Alignment_Fail OR (NOT
Cloth_Present) THEN
        State := 5; // Аварія
        ELSIF Speed_OK AND Tension_OK AND Cloth_Present AND (NOT
Alignment_Error) THEN
            State := 3; // Переходимо в робочий режим
        END_IF;
// 3: RUNNING – основний режим транспортування полотна
    AutoRun_Active := TRUE;
    VFD_Start := TRUE;
    VFD_Frequency_Set := SetSpeed;
// Контроль критичних аварій
    IF Emergency_Stop OR Tension_Critical OR Alignment_Fail OR (NOT
Cloth_Present) THEN
        State := 5; // FAULT
        // Звичайна команда на зупинку
        ELSIF Stop_Command THEN

```

```

        State := 4; // STOPPING – плавна зупинка
    END_IF;
// 4: STOPPING – плавна зупинка за запитом
    Request_SoftStop := TRUE; // Даємо сигнал на підпрограму плавної
зупинки
    AutoRun_Active := FALSE;
// Очікуємо завершення послідовності зупинки
    IF SoftStop_Done THEN
        VFD_Frequency_Set := 0.0;
        State := 0; // Повертаємось у IDLE
    END_IF;
// 5: FAULT – аварійний режим
    Error_AutoTransport := TRUE;
    VFD_Stop := TRUE; // Команда на негайну зупинку приводу
    VFD_Frequency_Set := 0.0;
    AutoRun_Active := FALSE;
// Вихід з аварії тільки після Reset_Alarms і відсутності Emergency_Stop
    IF Reset_Alarms AND (NOT Emergency_Stop) THEN
        State := 0;
    END_IF;
// Будь-який інший стан → повернення в IDLE
    ELSE
        State := 0;
    END_CASE;
FB_AutoTransport_1(
    System_Ready := System_Ready,
    Mode_Config_Ready := Mode_Config_Ready,
    AutoStart := AutoMode_Active, // або окрема кнопка AutoStart_HMI
    Stop_Command := Stop_Command,

```

```

Emergency_Stop := Emergency_Stop,
Reset_Alarms   := Reset_Alarms,
SetSpeed       := SetSpeed,
CurrentSpeed   := CurrentSpeed,
Speed_OK       := Speed_OK,
Tension_OK     := Tension_OK,
Tension_Critical := Tension_Critical,
Alignment_Error := Alignment_Error,
Alignment_Fail  := Alignment_Fail,
Cloth_Present  := Cloth_Present,
SoftStop_Done  := SoftStop_Done,
AutoRun_Active => AutoRun_Active,
VFD_Start      => VFD_Start,
VFD_Stop       => VFD_Stop,
VFD_Frequency_Set => VFD_Frequency_Set,
Request_SoftStop => Request_SoftStop,
Error_AutoTransport => Error_AutoTransport
FUNCTION_BLOCK FB_TensionControl
TITLE = 'Tension control block'
{ S7_Optimized_Access := 'TRUE' }
VAR_INPUT
    Enable      : Bool; // Дозвіл на роботу контуру
    Tension_Actual : Real; // Фактичний натяг
    Tension_Setpoint : Real; // Уставка натягу
    Tension_Min    : Real; // Мінімально допустимий натяг
    Tension_Max    : Real; // Максимально допустимий натяг
    Deadband       : Real; // Мертва зона (допустиме відхилення)
END_VAR
VAR_OUTPUT

```

```

    Tension_OK      : Bool;  // Натяг у нормі
    Tension_Critical : Bool;  // Критичний натяг
    Speed_Adjust     : Real;  // Корекція швидкості (- зменшити, + збільши-
mu)

END_VAR

VAR
    Error      : Real;  // Різниця між уставкою і фактом
    Kp         : Real := 0.05;  // Пропорційний коефіцієнт
END_VAR

Tension_OK      := FALSE;
Tension_Critical := FALSE;
Speed_Adjust     := 0.0;
// Якщо контур не активний
IF NOT Enable THEN
    RETURN;
END_IF;
// Перевірка на критичний вихід за межі
IF (Tension_Actual < Tension_Min) OR (Tension_Actual > Tension_Max) THEN
    Tension_Critical := TRUE;
    Speed_Adjust := 0.0;
    RETURN;
END_IF;
// Обчислення похибки
Error := Tension_Setpoint - Tension_Actual;
// Перевірка допустимого діапазону роботи
IF ABS(Error) <= Deadband THEN
    Tension_OK := TRUE;
    Speed_Adjust := 0.0;
    RETURN;

```

```

END_IF;
// Якщо похибка значна → формуємо коригування швидкості
Tension_OK := FALSE;
Speed_Adjust := Error * Kp;
// Обмеження коригування
IF Speed_Adjust > 0.5 THEN Speed_Adjust := 0.5; END_IF;
IF Speed_Adjust < -0.5 THEN Speed_Adjust := -0.5; END_IF;
FUNCTION_BLOCK FB_SpeedControl
    TITLE = 'Speed control block'
    { S7_Optimized_Access := 'TRUE' }
VAR_INPUT
    Enable      : Bool; // Дозвіл на роботу контуру
    SetSpeed    : Real; // Задана швидкість
    CurrentSpeed : Real; // Фактична швидкість
    RampStep    : Real; // Крок нарощування/зниження швидкості
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Speed_OK    : Bool; // Швидкість стабілізована
    Frequency_Out : Real; // Вихідна частота для VFD
END_VAR
VAR
    Error      : Real;
    Kp         : Real := 1.0; // Пропорційний коефіцієнт
    Adjust     : Real;
END_VAR
// Стартові значення
Speed_OK := FALSE;
Adjust := 0.0;
// Якщо контур відключений

```

```

IF NOT Enable THEN
    Frequency_Out := 0.0;
    RETURN;
END_IF;
// Похибка швидкості
Error := SetSpeed - CurrentSpeed;
// Якщо швидкість у межах  $\pm 1\%$  — стабільна
IF ABS(Error) < (SetSpeed * 0.01) THEN
    Speed_OK := TRUE;
ELSE
    Speed_OK := FALSE;
END_IF;
// Пропорційне регулювання
Adjust := Error * Kp;
// Обмежуємо максимальну зміну швидкості за цикл
IF Adjust > RampStep THEN Adjust := RampStep; END_IF;
IF Adjust < -RampStep THEN Adjust := -RampStep; END_IF;
// Корекція вихідної частоти
Frequency_Out := Frequency_Out + Adjust;
// Обмеження частоти приводу (стандартні межі)
IF Frequency_Out < 0.0 THEN Frequency_Out := 0.0; END_IF;
IF Frequency_Out > 60.0 THEN Frequency_Out := 60.0; END_IF;

```

4.4.2 Відображення результатів роботи системи на циклограмах

Для підтвердження працездатності розробленої системи керування стрічковим конвеєром було проведено моделювання роботи програмних модулів у середовищі TIA Portal та побудовано циклограми основних технологічних процесів. Циклограми відображають зміну станів системи у часі та демонструють

взаємодію ключових сигналів: запуску обладнання, стабілізації швидкості, регулювання натягу полотна, реакції на перекося та обробки аварійних ситуацій.

Представлені діаграми дозволяють наочно оцінити правильність реалізації алгоритмів керування та підтверджують коректну роботу програмних блоків FB_Init, FB_ModeConfig, FB_AutoTransport, FB_TensionControl та FB_SpeedControl у складі єдиної системи. На циклограмі запуску (рис. 4.7) показано послідовність переходу системи від стану ініціалізації до режиму автоматичного транспортування. Циклограма регулювання натягу (рис. 4.8) демонструє роботу контуру стабілізації та реакцію системи на зміни фактичного натягу полотна. Діаграма реакції на перекося (рис. 4.9) ілюструє функціонування підсистеми корекції положення полотна та спрацювання механізму аварійної зупинки у разі неуспішної корекції. Циклограма відсутності полотна (рис. 4.10) відображає логіку переходу в режим плавної зупинки та формування відповідних сигналів.

На циклограмі запуску системи (рис. 4.7) показано поетапний перехід стрічкового конвеєра від початкового стану до режиму автоматичного транспортування полотна з прив'язкою основних сигналів до часу.

У початковий момент часу $t = 0 \dots 2$ система перебуває у стані очікування: усі виконавчі механізми зупинені, сигнали Init_OK, Config_OK, VFD_Start, Speed_Set, Speed_OK та AutoRun знаходяться у неактивному стані.

У момент часу $t \approx 2$ подається команда запуску AutoStart, що ініціює виконання алгоритму запуску системи. Після цього у проміжку $t = 2 \dots 5$ виконується підпрограма ініціалізації, під час якої перевіряється стан живлення, ланцюгів безпеки, внутрішня діагностика ПЛК та зв'язок із частотним перетворювачем. У момент $t \approx 5$ формується сигнал Init_OK, який підтверджує успішне завершення етапу ініціалізації.

Далі, у часовому інтервалі $t = 5 \dots 7$, система переходить до налаштування режиму роботи конвеєра. У цей період активується сигнал Config_OK, що свід-

чить про прийняття заданих технологічних параметрів, зокрема швидкості руху стрічки та уставки натягу полотна.

Рисунок 4.7 – Циклограма запуску системи

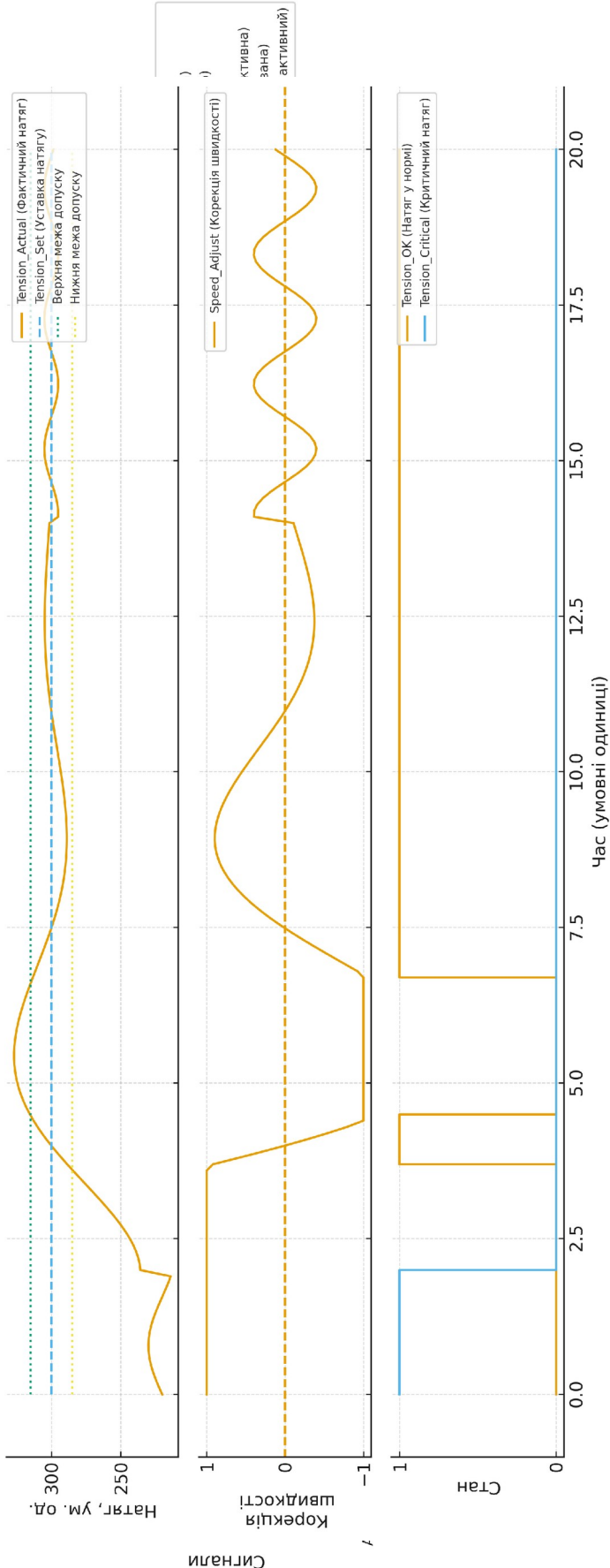


Рисунок 4.8 – Циклограма регулювання натягу полотна

Починаючи з моменту $t \approx 7$, відбувається запуск приводу конвеєра. Активізація сигналу VFD_Start вказує на подачу команди на частотний перетворювач, після чого формується сигнал Speed_Set, який означає встановлення заданого значення швидкості та початок розгону електропривода.

У проміжку часу $t = 7 \dots 10$ система здійснює контроль фактичної швидкості руху стрічки. Після досягнення та стабілізації заданої швидкості у момент $t \approx 10$ активується сигнал Speed_OK, що підтверджує готовність системи до переходу в автоматичний режим.

Завершальним етапом запуску є перехід системи в режим автоматичного транспортування полотна. У момент часу $t \approx 10$ формується сигнал AutoRun, після чого система переходить у штатний режим роботи з безперервним контролем швидкості, натягу та положення полотна.

На циклограмі регулювання натягу полотна (рис. 4.8) відображено роботу контуру стабілізації натягу та реакцію системи керування на зміну фактичного значення натягу в процесі транспортування полотна. Циклограма демонструє взаємозв'язок між уставкою натягу, фактичним натягом, сигналами корекції швидкості та службовими сигналами стану контуру.

У початковий період часу $t = 0 \dots 2$ фактичний натяг полотна є нижчим за задану уставку. У цей момент сигнал Tension_OK перебуває у неактивному стані, а контур регулювання формує позитивний сигнал Speed_Adjust, що відповідає збільшенню швидкості приводу з метою підвищення натягу полотна.

У часовому інтервалі $t = 2 \dots 6$ відбувається активна фаза регулювання. Фактичний натяг поступово наближається до уставки, при цьому величина коригувального сигналу Speed_Adjust зменшується, що свідчить про зниження похибки регулювання. У цей період система працює в режимі стабілізації, не допускаючи різких змін швидкості.

Починаючи з моменту $t \approx 6$, фактичний натяг входить у допустимий діапазон, обмежений верхньою та нижньою межами уставки. У цей момент активується сигнал Tension_OK, що підтверджує нормальний режим роботи

контур регулювання. Коригувальний сигнал `Speed_Adjust` прямує до нульового значення, що означає відсутність необхідності подальшої корекції швидкості.

У проміжку $t = 6 \dots 14$ спостерігається незначне коливання фактичного натягу навколо заданого значення, що є характерним для динамічних систем регулювання. Контур стабілізації компенсує ці відхилення шляхом формування малих коригувальних впливів, не порушуючи сталого режиму транспортування полотна.

Після $t \approx 14$ система переходить у повністю стабілізований режим роботи. Фактичний натяг утримується в межах допустимого діапазону, сигнал `Tension_OK` залишається активним, а сигнал `Tension_Critical` протягом усього циклу не формується, що свідчить про відсутність аварійних ситуацій, пов'язаних із натягом полотна.

На циклограмі реакції на перекося полотна (рис. 4.9) показано роботу підсистеми контролю положення полотна та алгоритм переходу системи керування в аварійний режим у разі неуспішної корекції перекося. Циклограма відображає зміну станів відповідних сигналів у часі та демонструє взаємодію між контуром корекції та механізмом зупинки приводу.

У початковий інтервал часу $t = 0 \dots 4$ система працює в штатному автоматичному режимі. Сигнал `AutoRun` перебуває в активному стані, що свідчить про нормальне транспортування полотна. Сигнали `Alignment_Error`, `Alignment_Correcting` та `Alignment_Fail` у цей період неактивні, що означає відсутність перекося полотна.

У момент часу $t \approx 4$ фіксується відхилення полотна від осевого положення, у результаті чого формується сигнал `Alignment_Error`, який вказує на виявлення перекося. При цьому автоматичний режим роботи залишається активним, а система переходить до етапу корекції положення полотна.

У проміжку $t = 5 \dots 10$ активується сигнал `Alignment_Correcting`, що відповідає виконанню коригувальних дій з метою усунення перекося. У цей період система намагається стабілізувати положення полотна без зупинки конвеєра, використовуючи виконавчі механізми або корекцію параметрів руху.

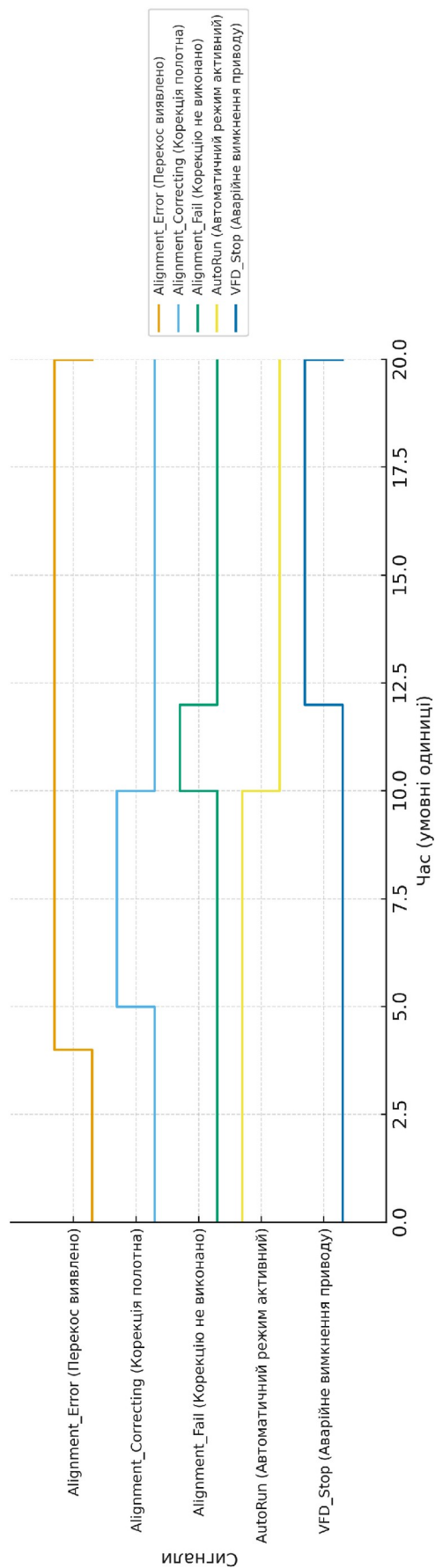


Рисунок 4.9 – Циклограма реакції на перекоп полотна

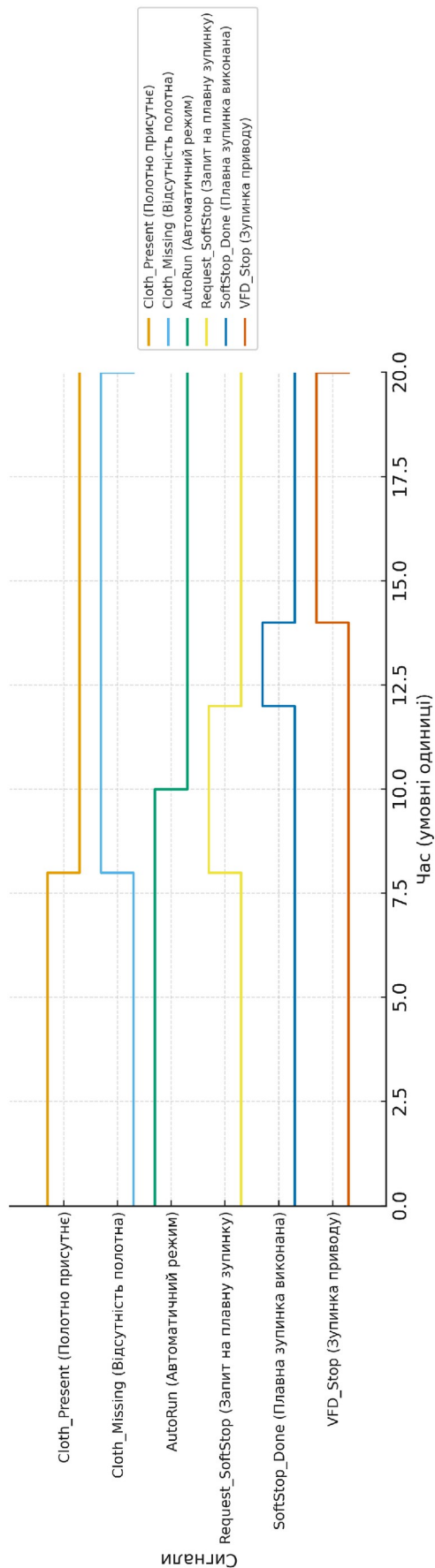


Рисунок 4.10 – Циклограма відсутності полотна

Однак у момент $t \approx 10$ перекося полотна не усувається, у зв'язку з чим формується сигнал `Alignment_Fail`, який свідчить про неуспішність корекції. Це розцінюється системою як критична ситуація, що може призвести до пошкодження полотна або елементів конвеєра.

Після фіксації неуспішної корекції система негайно переходить у аварійний режим. У проміжку $t = 10 \dots 12$ сигнал `AutoRun` деактивується, а з моменту $t \approx 12$ формується сигнал `VFD_Stop`, який відповідає аварійній зупинці частотного перетворювача та припиненню руху стрічки.

Починаючи з $t > 12$, система перебуває у зупиненому аварійному стані та очікує втручання оператора або виконання процедури скидання аварії. Подальший запуск можливий лише після усунення причини перекося та повторного проходження етапів ініціалізації й налаштування режиму роботи.

На циклограмі відсутності полотна (рис. 4.10) показано роботу системи керування стрічковим конвеєром у випадку зникнення матеріалу з зони контролю та реалізацію алгоритму переходу в режим плавної зупинки. Циклограма ілюструє зміну станів основних сигналів у часі та взаємодію між підпрограмою автоматичного транспортування і підпрограмою зупинки.

У початковий інтервал часу $t = 0 \dots 8$ полотно присутнє в зоні контролю, що підтверджується активним сигналом `Cloth_Present`. У цей період система працює в автоматичному режимі транспортування, сигнал `AutoRun` перебуває в активному стані, а привід конвеєра забезпечує стабільний рух полотна.

У момент часу $t \approx 8$ фіксується відсутність полотна, унаслідок чого формується сигнал `Cloth_Missing`, а сигнал `Cloth_Present` переходить у неактивний стан. Дана подія інтерпретується системою як завершення матеріалу або обрив полотна та потребує безпечного припинення транспортування.

У проміжку $t = 8 \dots 12$ система формує сигнал `Request_SoftStop`, який ініціює виконання підпрограми плавної зупинки. У цей період частотний перетворювач поступово зменшує швидкість обертання електропривода, що забезпечує знижен-

ня швидкості руху стрічки без різких динамічних навантажень на механічні елементи конвеєра.

Після завершення процесу плавного гальмування, у момент $t \approx 12$, активується сигнал `SoftStop_Done`, який підтверджує повну зупинку конвеєра. Надалі, у проміжку $t = 12 \dots 14$, формується сигнал `VFD_Stop`, що відповідає переходу приводу у зупинений стан.

Починаючи з $t > 14$, система перебуває у безпечному стані зупинки та очікує подальших дій оператора. Повторний запуск можливий лише після відновлення наявності полотна та повторного проходження етапів ініціалізації й налаштування режиму роботи.

Висновки за розділом

У четвертому розділі дипломної роботи було виконано розробку програмного забезпечення та структури системи керування стрічковим конвеєром для транспортування текстильного полотна. Розділ охоплює повний цикл створення системи керування — від побудови структурно-функціональної та принципової електричної схем до розробки алгоритмів, програмної реалізації та аналізу результатів роботи.

У ході роботи сформовано структурно-функціональну схему системи керування, яка відображає взаємодію програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 з датчиками, частотним перетворювачем та виконавчими механізмами. Обрана архітектура забезпечує централізоване керування, можливість реалізації замкнутих контурів регулювання та високий рівень надійності й безпеки експлуатації обладнання.

Розроблено принципову електричну схему підключення компонентів, що забезпечує коректну організацію ланцюгів живлення, сигналів керування та зворотного зв'язку. Схема відповідає вимогам електробезпеки, передбачає апаратний аварійний стоп та узгодження рівнів сигналів між усіма елементами системи.

Значну увагу приділено розробці алгоритмів керування стрічковим конвеєром. Побудовано основний алгоритм роботи програми та детально розглянуто ключові підпрограми: ініціалізації системи, налаштування режиму роботи, основного автоматичного транспортування полотна, регулювання натягу, контролю швидкості, перекосу та реалізації плавної й аварійної зупинки. Алгоритми побудовано за модульним принципом, що забезпечує прозору логіку, можливість масштабування та спрощує подальшу модернізацію системи.

Програмна реалізація виконана в середовищі Siemens TIA Portal з використанням функціональних блоків (FB), кожен з яких відповідає окремій підпрограмі системи. Такий підхід забезпечив структурованість програми, зручність налагодження та чітку відповідність між алгоритмічною та програмною моделями роботи конвеєра.

Для підтвердження працездатності розробленої системи побудовано та проаналізовано циклограми основних режимів роботи. Циклограма запуску системи (рис. 4.7) підтверджує коректну послідовність переходу від стану ініціалізації до автоматичного транспортування. Циклограма регулювання натягу полотна (рис. 4.8) демонструє ефективну роботу контуру стабілізації та компенсацію відхилень фактичного натягу. Діаграма реакції на перекося полотна (рис. 4.9) ілюструє своєчасне виявлення небезпечної ситуації та реалізацію аварійної зупинки у разі неуспішної корекції. Циклограма відсутності полотна (рис. 4.10) підтверджує правильну реалізацію алгоритму переходу в режим плавної зупинки при зникненні матеріалу.

Отримані результати свідчать, що розроблена система керування забезпечує стабільне та безпечне транспортування текстильного полотна, автоматичне регулювання швидкості й натягу, своєчасне реагування на аварійні ситуації та відповідає сучасним вимогам до промислових автоматизованих систем. Розроблене програмне забезпечення може бути використане як основа для впровадження в реальних виробничих умовах або подальшої модернізації конвеєрних ліній.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Безпека використання роботизованих та автоматизованих систем

Автоматизовані конвеєрні системи, що застосовуються у текстильному виробництві, значно підвищують ефективність технологічних процесів, однак їх експлуатація пов'язана з наявністю небезпечних та шкідливих виробничих факторів. У процесі роботи конвеєра функціонують рухомі механічні елементи, зокрема стрічка, приводні та натяжні барабани, а також ролики, контакт з якими може призвести до зтягування одягу або частин тіла обслуговуючого персоналу. Додаткову небезпеку створює використання електричної енергії напругою 220/380 В для живлення електроприводів, нагрівальних елементів і силових кіл, що потребує особливої уваги до стану ізоляції та захисних заходів.

Під час роботи обладнання можливе підвищення температури нагрівачів, що створює ризик термічних опіків і збільшує ймовірність виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Наявність вентиляторів з відкритими крильчатками також становить механічну небезпеку у разі випадкового контакту. Висока швидкість руху текстильного полотна ускладнює виконання обслуговуючих операцій та підвищує ризик травмування персоналу при порушенні встановлених правил експлуатації. Особливо небезпечними є операції заправлення або обслуговування конвеєра, під час яких існує ймовірність зтягування тканини разом із руками оператора у зону рухомих елементів.

З метою мінімізації впливу зазначених факторів та забезпечення безпечних умов праці система керування конвеєром повинна проєктуватися з урахуванням вимог охорони праці та принципів безпечної експлуатації машин. Одним із основних технічних заходів є встановлення аварійних вимикачів типу «грибок» по всій довжині конвеєра, що забезпечує можливість негайної зупинки обладнання у разі виникнення небезпечної ситуації. Усі рухомі частини конвеєрної системи

повинні бути закриті захисними огороженнями, виконаними у вигляді міцних металевих кожухів, які унеможливають доступ до небезпечних зон під час роботи.

Важливим елементом системи безпеки є використання автоматичних засобів контролю перекосу та обриву полотна, які дозволяють своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи та запобігати заклинюванню або пошкодженню обладнання. Для зниження електричної небезпеки керувальні кола, кнопки, датчики та панель оператора виконуються на низькій напрузі 24 В. Усі металеві частини обладнання, зокрема рама конвеєра, електродвигун і нагрівальні елементи, підлягають обов'язковому заземленню відповідно до вимог ДСТУ EN 60204-1.

Крім того, система керування повинна забезпечувати автоматичне блокування роботи нагрівачів у разі зупинки конвеєра або відсутності полотна, а також здійснювати постійний контроль температури з використанням датчиків перегріву та термостатів. Реалізація зазначених технічних і організаційних заходів дозволяє суттєво знизити ризик виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій та забезпечити безпечну експлуатацію автоматизованої конвеєрної системи в умовах текстильного виробництва.

Додатково безпека використання автоматизованих конвеєрних систем забезпечується за рахунок правильного розмежування функцій між оператором і системою автоматичного керування. У розробленій системі більшість потенційно небезпечних операцій виконується в автоматичному режимі без прямого втручання персоналу, що дозволяє зменшити контакт людини з рухомими та нагрівальними елементами обладнання. Оператор здійснює керування процесом переважно за допомогою панелі оператора або кнопок постів, розташованих поза межами небезпечних зон.

Важливу роль у забезпеченні безпеки відіграє програмна реалізація алгоритмів керування, яка передбачає перевірку умов безпечного запуску та роботи конвеєра. Перед увімкненням приводу система автоматично контролює стан

аварійних вимикачів, наявність полотна, справність датчиків та допустимість заданих технологічних параметрів. У разі виявлення небезпечних відхилень система блокує запуск або переводить конвеєр у безпечний режим зупинки, що виключає можливість розвитку аварійної ситуації.

Для підвищення рівня безпеки обслуговуючого персоналу передбачено чітке маркування небезпечних зон, попереджувальні написи та світлову індикацію режимів роботи обладнання. Візуальні сигнали дозволяють оператору своєчасно оцінювати стан системи та уникати виконання обслуговуючих операцій у момент роботи конвеєра. Крім того, доступ до окремих елементів обладнання дозволяється лише після повної зупинки та знеструмлення системи.

Таким чином, поєднання конструктивних рішень, електротехнічних заходів та програмних засобів керування дозволяє створити комплексну систему безпеки, яка забезпечує захист персоналу від небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Реалізація зазначених заходів відповідає сучасним вимогам охорони праці та забезпечує безпечну експлуатацію автоматизованих конвеєрних систем у текстильному виробництві.

5.2. Захист від дотику до об'єктів під напругою

Під час експлуатації автоматизованих конвеєрних систем у виробничих умовах існує потенційна небезпека ураження електричним струмом внаслідок прямого або непрямого дотику персоналу до струмопровідних частин обладнання. Особливу небезпеку становлять силові електричні кола з номінальною напругою 220/380 В, які використовуються для живлення електроприводів, нагрівальних елементів та допоміжного обладнання. Ураження електричним струмом може виникнути як при пошкодженні ізоляції, так і при порушенні правил експлуатації або технічного обслуговування електроустановок.

З метою зниження ризику електротравматизму система електропостачання та керування конвеєром повинна відповідати вимогам Правил улаштування

електроустановок та чинних державних стандартів. Усі металеві неструмопровідні частини обладнання, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції, підлягають обов'язковому приєднанню до захисного заземлення. Наявність надійного заземлювального контуру забезпечує відведення струму замикання на землю та зменшує напругу дотику до безпечного рівня.

Для автоматичного відключення живлення у разі виникнення аварійних режимів у системі передбачено застосування автоматичних вимикачів та пристроїв захисного відключення. Такі пристрої забезпечують швидке знеструмлення електричних кіл при короткому замиканні, перевантаженні або витoku струму на корпус, що значно знижує ймовірність ураження персоналу електричним струмом. Організація системи заземлення та занулення виконується з розділенням робочого нульового та захисного провідників відповідно до вимог ПУЕ.

Значну роль у забезпеченні електробезпеки відіграє застосування низьковольтних кіл керування. Кнопки керування, датчики, кінцеві вимикачі та панель оператора працюють від напруги 24 В, яка вважається безпечною для людини навіть у разі випадкового дотику. Це дозволяє зменшити ризик електротравм під час щоденної експлуатації та обслуговування обладнання.

Для підтримання належного рівня електробезпеки необхідно регулярно проводити контроль технічного стану електричних мереж, зокрема перевірку опору ізоляції кабелів та цілісності заземлювальних з'єднань. Технічне обслуговування та ремонт електрообладнання повинні виконуватися лише кваліфікованим персоналом із застосуванням інструментів з діелектричним покриттям та дотриманням встановлених вимог безпеки.

Реалізація зазначених заходів забезпечує надійний захист обслуговуючого персоналу від дотику до об'єктів під напругою та створює безпечні умови експлуатації автоматизованої конвеєрної системи у виробничому середовищі.

Додатково підвищення рівня електробезпеки досягається за рахунок правильного компонування електричних шаф та органів керування. Усі елементи силових і керувальних кіл розміщуються в закритих електротехнічних шафах із від-

повідним ступенем захисту, що унеможливлює випадковий дотик до струмопровідних частин під час нормальної експлуатації обладнання. Доступ до електричних шаф дозволяється лише уповноваженому персоналу після повного знеструмлення системи.

Важливим елементом захисту від ураження електричним струмом є застосування програмних засобів контролю стану електрообладнання. У системі керування передбачено постійний моніторинг аварійних сигналів, зокрема спрацювання захисних пристроїв, втрати живлення або порушення зв'язку з виконавчими елементами. У разі виявлення несправностей система автоматично переходить у безпечний стан, блокуючи подальшу роботу конвеєра до усунення причин аварії.

Для зменшення ймовірності помилкових дій оператора всі органи керування повинні мати чітке маркування та зрозуміле функціональне призначення. Світлова індикація станів живлення, роботи та аварії дозволяє персоналу швидко орієнтуватися у режимах роботи обладнання та уникати небезпечних маніпуляцій. Крім того, виконання робіт з технічного обслуговування електрообладнання дозволяється лише після вивішування попереджувальних плакатів і застосування заходів, що унеможливлюють випадкове повторне вмикання живлення.

Таким чином, поєднання конструктивних, електротехнічних і програмних рішень забезпечує комплексний захист від дотику до об'єктів під напругою. Реалізація зазначених заходів дозволяє суттєво знизити ризик електротравматизму та забезпечити безпечні умови праці при експлуатації автоматизованої конвеєрної системи.

5.3. Забезпечення безпеки виробничого обладнання

Безпека виробничого обладнання автоматизованого стрічкового конвеєра забезпечується шляхом поєднання конструктивних, електротехнічних та програмних заходів, спрямованих на запобігання виникненню аварійних і травмо небезпечних ситуацій у процесі експлуатації. При проектуванні та впровадженні

конвеєрної системи враховуються вимоги чинних нормативних документів, зокрема ДСТУ EN ISO 12100:2014, що визначає загальні принципи безпеки машин, а також ДСТУ EN 61800-5-1, який регламентує вимоги безпеки до електроприводів.

Одним із ключових факторів безпечної експлуатації обладнання є забезпечення плавного пуску та зупинки конвеєра. Реалізація цих режимів за допомогою частотного перетворювача дозволяє уникнути різких динамічних навантажень на стрічку, барабани та механічні вузли, що зменшує ризик обриву полотна та травмування персоналу. Плавна зміна швидкості також сприяє підвищенню ресурсу обладнання та стабільності технологічного процесу.

Для обмеження доступу персоналу до небезпечних зон передбачено використання захисних огорожень, дверцята яких оснащуються кінцевими вимикачами. У разі відкриття огороження система автоматично блокує роботу конвеєра, що унеможливорює експлуатацію обладнання при порушенні захисних умов. Такий підхід дозволяє знизити ймовірність випадкового контакту з рухомими або струмопровідними частинами.

З метою запобігання перегріву електроприводів і нагрівальних елементів у системі реалізовано температурний контроль. Використання датчиків температури та теплових захистів забезпечує своєчасне відключення обладнання у разі перевищення допустимих значень, що знижує ризик виникнення пожежі та виходу з ладу елементів системи.

Важливим аспектом забезпечення безпеки є застосування датчиків контролю натягу та положення стрічки. Дані датчики дозволяють виявляти відхилення від нормального режиму роботи, такі як перекося або надмірний натяг полотна, та ініціювати коригувальні дії або аварійну зупинку конвеєра. Це забезпечує безпечну роботу обладнання у динамічному режимі та запобігає механічним пошкодженням.

Додатково безпека виробничого обладнання забезпечується за рахунок реалізації функцій автоматичного блокування та контролю послідовності викона-

ння технологічних операцій. Система керування не допускає запуску конвеєра за відсутності сигналів готовності від основних підсистем, що виключає роботу обладнання у небезпечних або непередбачених режимах. У разі виникнення несправностей або аварійних відхилень система автоматично переводить обладнання у безпечний стан із зупинкою приводу та відключенням допоміжних вузлів.

Важливу роль у забезпеченні безпеки відіграє інтеграція програмних засобів діагностики та індикації. Система керування здійснює постійний контроль стану датчиків, виконавчих механізмів та ланцюгів керування, а також формує попереджувальні та аварійні сигнали у разі виявлення відхилень. Відображення інформації про стан обладнання на панелі оператора дозволяє своєчасно виявляти потенційно небезпечні ситуації та запобігати їх розвитку.

Для забезпечення безпечного обслуговування обладнання передбачено можливість переведення системи у спеціальні режими, зокрема режим налагодження або обслуговування, у яких швидкість руху стрічки обмежується, а частина автоматичних функцій блокується. Це знижує ризик травмування персоналу під час виконання регламентних і ремонтних робіт та забезпечує додатковий рівень захисту.

Таким чином, комплексне поєднання конструктивних рішень, засобів автоматичного керування, програмних блокувань і систем контролю дозволяє забезпечити високий рівень безпеки виробничого обладнання. Реалізація зазначених заходів сприяє зниженню ймовірності аварійних ситуацій, підвищує надійність роботи стрічкового конвеєра та забезпечує безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу.

5.4. Пожежна безпека

Текстильне виробництво належить до категорії об'єктів з підвищеною пожежною небезпекою, що зумовлено наявністю значної кількості горючих матеріалів, таких як тканини, нитки та пакувальні матеріали, а також використанням

електричних нагрівальних елементів і електроприводів. У поєднанні з виробничим пилом та високою температурою окремих вузлів обладнання це створює умови для виникнення та швидкого поширення пожежі у разі порушення норм експлуатації або виникнення аварійних режимів.

Під час роботи автоматизованого стрічкового конвеєра основними потенційними джерелами займання є електрообладнання, нагрівачі, частотний перетворювач, кабельні лінії, а також вузли, у яких можливе перегрівання внаслідок перевантаження або несправності. Накопичення текстильного пилу на поверхнях нагрівальних елементів і в зоні електроприводу додатково підвищує пожежну небезпеку, оскільки пил може займатися навіть від незначного іскріння або локального перегріву.

Для зниження ризику виникнення пожежі система керування конвеєром повинна передбачати комплекс технічних і організаційних заходів пожежної безпеки. Важливим елементом є реалізація постійного температурного контролю нагрівальних елементів і електроприводів. Застосування датчиків температури та термостатів дозволяє своєчасно виявляти перевищення допустимих значень і автоматично відключати нагрівачі або привід до моменту виникнення небезпечної ситуації.

Особливу увагу приділено взаємозв'язку пожежної безпеки з алгоритмами керування. У розробленій системі передбачено автоматичне блокування роботи нагрівачів у разі зупинки конвеєра або відсутності полотна. Такий підхід запобігає локальному перегріву тканини або конструктивних елементів обладнання та зменшує ймовірність займання. Крім того, у разі спрацювання системи пожежної сигналізації або аварійного вимикача типу «грибок» передбачено негайне знеструмлення нагрівальних елементів і силових кіл.

Для раннього виявлення пожежонебезпечних ситуацій у виробничому приміщенні рекомендується встановлення датчиків температури та пожежної сигналізації. Сигнали від цих пристроїв можуть інтегруватися з системою керування конвеєром, забезпечуючи автоматичне відключення обладнання та оповіщення

персоналу. Така інтеграція дозволяє значно скоротити час реагування на аварійну ситуацію та мінімізувати можливі наслідки пожежі.

Важливим організаційним заходом є заборона використання легкозаймистих матеріалів у безпосередній близькості до нагрівальних елементів і електрообладнання. Робочі зони повинні регулярно очищатися від пилу та залишків тканини, а вентиляційні системи — підтримуватися у справному стані для запобігання накопиченню горючих частинок у повітрі.

У виробничих приміщеннях, де експлуатується автоматизований конвеєр, повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння, зокрема вогнегасники, придатні для гасіння пожеж класу, характерного для текстильного виробництва. Персонал, який обслуговує обладнання, повинен бути проінструктований щодо правил пожежної безпеки, порядку дій у разі виникнення пожежі та використання засобів пожежогасіння.

Таким чином, реалізація комплексу заходів пожежної безпеки, що поєднує технічні рішення, програмні блокування та організаційні заходи, дозволяє значно знизити ймовірність виникнення пожежі при експлуатації автоматизованого стрічкового конвеєра та забезпечити безпечні умови праці в текстильному виробництві.

5.5. Віброзахист

У процесі експлуатації автоматизованих стрічкових конвеєрів у текстильному виробництві виникають механічні коливання та вібрації, які негативно впливають як на технічний стан обладнання, так і на умови праці обслуговуючого персоналу. Основними джерелами вібрацій є електропривод конвеєра, редукторні механізми, приводні та натяжні барабани, а також нерівномірний рух стрічки під час транспортування полотна. За тривалої дії вібрації можуть призводити до прискореного зносу механічних вузлів, розхитування конструктивних елементів та погіршення точності роботи системи керування.

Підвищений рівень вібрацій спричиняє додаткові динамічні навантаження на підшипники, вали та кріплення, що скорочує термін служби обладнання та підвищує ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Окрім цього, вібрації негативно впливають на організм людини, викликаючи швидку втому, зниження концентрації уваги та погіршення самопочуття оператора, особливо при тривалій роботі поблизу джерел коливань.

З метою зменшення рівня вібрацій у конструкції конвеєрної системи передбачено застосування комплексу технічних заходів віброзахисту. Встановлення електродвигуна та інших елементів приводу на антивібраційні опори або спеціальні гумометалеві подушки дозволяє значно знизити передачу коливань на раму конвеєра та будівельні конструкції. Аналогічний ефект досягається шляхом використання гумових прокладок між рамою конвеєра та основою, що забезпечує демпфування механічних коливань.

Важливим фактором зниження вібрацій є правильне балансування приводних і натяжних барабанів. Нерівномірний розподіл маси обертових елементів призводить до появи додаткових коливань, які зростають зі збільшенням швидкості обертання. Регулярне балансування барабанів та контроль їх технічного стану дозволяють зменшити рівень вібрацій і підвищити стабільність роботи конвеєра.

Значний вплив на віброзахисні характеристики має також технічне обслуговування обладнання. Своєчасна змазка підшипників, перевірка стану кріпильних елементів і заміна зношених деталей сприяють зменшенню тертя та нерівномірності руху механізмів. Крім того, використання частотного перетворювача для керування електроприводом забезпечує плавний пуск і зупинку конвеєра, що знижує ударні навантаження та амплітуду коливань у перехідних режимах.

Таким чином, реалізація комплексу заходів віброзахисту дозволяє зменшити негативний вплив вібрацій на обладнання та персонал, підвищити надійність і довговічність автоматизованої конвеєрної системи, а також забезпечити більш комфортні та безпечні умови праці у виробничому приміщенні.

5.6. Виробничий пил як шкідливий фактор

У текстильному виробництві виробничий пил є одним із найбільш поширених і небезпечних шкідливих факторів, що супроводжує роботу автоматизованих конвеєрних систем. Пил утворюється в процесі протягування текстильного полотна, розмотування рулонів, механічної обробки тканини, а також внаслідок зносу волокон і поверхонь обладнання. У приміщеннях, де конвеєри працюють у безперервному режимі, дрібнодисперсний текстильний пил може накопичуватися в повітрі, на поверхнях машин, у вентиляційних каналах та поблизу нагрівальних елементів.

Наявність пилу в повітрі робочої зони негативно впливає на здоров'я обслуговуючого персоналу. Тривале вдихання текстильного пилу може спричиняти подразнення слизових оболонок дихальних шляхів, алергічні реакції, хронічні захворювання органів дихання та зниження загальної працездатності. Крім того, підвищена концентрація пилу знижує видимість у робочій зоні, що ускладнює контроль за станом обладнання та підвищує ризик помилок під час обслуговування автоматизованих систем.

Окрему небезпеку виробничий пил становить з точки зору пожежної безпеки. Текстильний пил є горючим матеріалом і за певних умов може утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні суміші. Осідання пилу на поверхнях нагрівальних елементів, електродвигунів або силових електричних компонентів призводить до локального перегріву та значно підвищує ймовірність займання. У поєднанні з іскрінням або короткими замиканнями це створює серйозну загрозу виникнення пожежі у виробничому приміщенні.

З метою зменшення негативного впливу виробничого пилу в приміщеннях з автоматизованими конвеєрними системами необхідно забезпечити ефективну

роботу вентиляційних і аспіраційних систем. Постійний повітрообмін із використанням фільтраційних елементів дозволяє знизити концентрацію пилу в повітрі робочої зони до допустимих санітарних норм. Особливу увагу слід приділяти регулярному очищенню та заміні фільтрів, оскільки їх засмічення знижує ефективність вентиляції та може стати додатковим джерелом пожежної небезпеки.

Важливу роль у зниженні пилового навантаження відіграє правильна організація технічного обслуговування обладнання. Регулярне прибирання робочих зон, видалення пилу з поверхонь конвеєра, електроприводів і нагрівальних елементів дозволяє зменшити накопичення горючих відкладень. Використання закритих або екранованих нагрівальних елементів, а також заборона застосування відкритих джерел тепла поблизу пилових зон значно підвищують рівень пожежної безпеки.

Для захисту персоналу від шкідливого впливу пилу передбачено застосування індивідуальних засобів захисту органів дихання, особливо під час виконання регламентних або ремонтних робіт. Додатково важливим є проведення інструктажів з охорони праці, спрямованих на підвищення обізнаності працівників щодо небезпеки виробничого пилу та правил безпечної роботи в умовах підвищеної запиленості.

Таким чином, виробничий пил у текстильному цеху є комплексним шкідливим фактором, який впливає як на стан здоров'я персоналу, так і на безпеку та надійність роботи автоматизованих конвеєрних систем. Реалізація комплексу технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів дозволяє знизити рівень запиленості, мінімізувати ризик пожежонебезпечних ситуацій та забезпечити безпечні умови праці.

5.7. Виробничий шум та його вплив

Під час експлуатації автоматизованих стрічкових конвеєрів у текстильному виробництві одним із шкідливих виробничих факторів є підвищений рівень шуму.

Джерелами шуму в конвеєрній системі є електропривод, редукторні механізми, вентилятори систем охолодження, рух стрічки по роликах, а також взаємодія механічних елементів під час пускових і гальмівних режимів. Сукупна дія цих факторів формує постійний фоновий шум, який може перевищувати допустимі санітарні норми у разі відсутності відповідних заходів шумозахисту.

Тривалий вплив шуму на організм людини негативно позначається на стані здоров'я працівників. Підвищений рівень шуму сприяє розвитку втоми, зниженню концентрації уваги, погіршенню психоемоційного стану та може призводити до професійних захворювань органів слуху. Окрім цього, шум у виробничому приміщенні ускладнює сприйняття звукових сигналів, команд і попереджень, що підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій під час обслуговування автоматизованих систем.

Відповідно до чинних санітарних норм, рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати 80 дБ. Для забезпечення виконання цих вимог у конструкції та експлуатації конвеєрної системи передбачено комплекс технічних заходів зі зниження шумового навантаження. Значну роль відіграє належний технічний стан обладнання, оскільки зношені підшипники, розбалансовані барабани та ослаблені кріплення є джерелами додаткових шумів і вібрацій.

Зменшенню рівня шуму сприяє регулярне технічне обслуговування механічних вузлів, зокрема своєчасна змазка підшипників, контроль стану редукторів і приводів, а також заміна зношених деталей. Використання тихохідних вентиляторів і електродвигунів з покращеними акустичними характеристиками дозволяє знизити інтенсивність шуму, що генерується під час роботи обладнання.

Додатковим засобом шумозахисту є застосування звукоізоляційних кожухів для електроприводів, редукторів і вентиляційних вузлів. Такі кожухи зменшують поширення шуму в робочому приміщенні та сприяють створенню більш комфортних умов праці. Використання гумових прокладок і демпфувальних елементів у місцях кріплення обладнання також дозволяє зменшити передачу структурного шуму на будівельні конструкції.

Важливим фактором зниження шумового навантаження є застосування частотного керування електроприводом. Плавний пуск і зупинка конвеєра, а також робота на оптимальних швидкісних режимах дозволяють зменшити рівень ударних шумів і механічних коливань, особливо в перехідних режимах. У поєднанні з іншими заходами це забезпечує відповідність умов праці встановленим нормативним вимогам.

Таким чином, реалізація комплексу технічних та організаційних заходів щодо зниження виробничого шуму дозволяє мінімізувати його негативний вплив на персонал, підвищити безпеку експлуатації автоматизованого стрічкового конвеєра та забезпечити комфортні умови праці в текстильному виробництві.

Висновки за розділом

У розділі «Охорона праці» розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для експлуатації автоматизованої стрічкової конвеєрної системи у текстильному виробництві, а також визначено комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого персоналу.

Проаналізовано особливості безпеки використання роботизованих та автоматизованих систем, зокрема ризики, пов'язані з рухомими механічними елементами, електричною напругою, підвищеною температурою нагрівальних елементів і високою швидкістю руху полотна. Показано, що впровадження аварійних вимикачів, захисних огорожень, автоматичних систем контролю та програмних блокувань дозволяє суттєво знизити ймовірність травмонебезпечних і аварійних ситуацій.

Особливу увагу приділено заходам захисту від ураження електричним струмом. Обґрунтовано доцільність застосування захисного заземлення, автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення та низьковольтних кіл ке-

рування, що забезпечує відповідність системи вимогам чинних нормативних документів і підвищує рівень електробезпеки під час експлуатації обладнання.

Розглянуто питання забезпечення безпеки виробничого обладнання шляхом використання плавного пуску та зупинки, температурного контролю, датчиків натягу і положення стрічки, а також програмних засобів діагностики й автоматичного блокування. Показано, що поєднання конструктивних і програмних рішень сприяє підвищенню надійності та стабільності роботи конвеєрної системи.

У розділі також проаналізовано вимоги пожежної безпеки, заходи віброзахисту, вплив виробничого пилу та шуму на умови праці. Запропоновані технічні й організаційні заходи дозволяють зменшити негативний вплив цих факторів на персонал, знизити ризик виникнення пожежонебезпечних ситуацій та забезпечити відповідність умов праці санітарно-гігієнічним нормам.

Таким чином, реалізація комплексу заходів з охорони праці, передбачених у проєкті, забезпечує безпечну експлуатацію автоматизованої стрічкової конвеєрної системи, підвищує надійність роботи обладнання та створює належні умови праці для обслуговуючого персоналу в умовах текстильного виробництва.

ВИСНОВКИ

У межах дипломної роботи було виконано повний цикл розробки системи автоматизованого керування стрічковим конвеєром для транспортування текстильних матеріалів — від аналізу технологічних вимог до створення алгоритмів керування, програмної реалізації та обґрунтування безпечної експлуатації обладнання. Проведене дослідження підтвердило, що якість і стабільність процесів обробки текстильного полотна безпосередньо залежать від точності підтримання швидкості руху, натягу та просторового положення матеріалу, а також від узгодженої роботи механічних, електричних і програмних компонентів системи.

У процесі роботи було обґрунтовано доцільність використання автоматизованих конвеєрних систем із замкненими контурами регулювання, що дозволяють мінімізувати вплив змінних навантажень, властивостей матеріалу та зовнішніх факторів на перебіг технологічного процесу. Аналіз сучасних технічних рішень показав, що застосування програмованих логічних контролерів у поєднанні з частотними перетворювачами та датчиками зворотного зв'язку є найбільш ефективним підходом до керування транспортними операціями у текстильному виробництві.

На основі визначених вимог було виконано обґрунтований вибір елементної бази системи керування. Використання промислового програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1200, частотного перетворювача SINAMICS V20, асинхронного електроприводу з редуктором, а також комплексу датчиків контролю швидкості, натягу та положення полотна забезпечує надійну та стабільну роботу конвеєра в умовах реального виробництва. Обрані компоненти є сумісними між собою, відповідають промисловим стандартам і створюють основу для подальшої модернізації та масштабування системи.

Важливою частиною роботи стало формування алгоритмічної структури керування та програмна реалізація логіки роботи системи. Запропонована модульна організація програмного забезпечення з окремими функціональними блоками

ініціалізації, налаштування режимів, автоматичного транспортування, регулювання швидкості й натягу дозволяє чітко структурувати логіку керування та спростити подальше обслуговування й розвиток програми. Побудовані циклограми роботи системи наочно демонструють послідовність переходів між режимами, динаміку регулювання технологічних параметрів і реакцію на нештатні ситуації, що підтверджує коректність прийнятих алгоритмічних рішень.

Окрему увагу приділено питанням безпеки експлуатації автоматизованої конвеєрної системи. Проаналізовано потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з роботою рухомих механізмів, електричного обладнання, нагрівальних елементів, а також з впливом шуму, вібрацій і виробничого пилу. Запропоновані технічні та організаційні заходи, включаючи використання низьковольтних кіл керування, захисного заземлення, аварійних вимикачів, блокувань і систем контролю, забезпечують відповідність вимогам охорони праці та створюють безпечні умови роботи персоналу.

У цілому результати дипломної роботи свідчать про досягнення поставленої мети та виконання всіх основних завдань. Розроблена система керування забезпечує стабільне та точне транспортування текстильного полотна, зменшує кількість технологічних дефектів, підвищує продуктивність і надійність обладнання, а також сприяє покращенню умов праці. Запропоновані рішення мають практичну цінність і можуть бути використані для впровадження на реальних виробничих лініях або слугувати основою для подальших досліджень і розвитку автоматизованих систем у текстильній промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ILO. Lean Manufacturing Techniques. *International Labour Organization, guidance document*. Режим доступу: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40africa/%40ro-abidjan/%40sro-cairo/documents/publication/wcms_621950.pdf
2. Goetsch M. Chapter 13. Material Handling Systems (Logistics Systems Design). *Georgia Institute of Technology (teaching material)*. Режим доступу: https://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/logistics_systems_design/material_handling_systems/material_handling_systems.pdf
3. Habasit. *Textile Industry (overview / catalog information)*. Режим доступу: <https://pdf.directindustry.com/pdf/habasit/textile-industry/5857-567701.html>
4. Habasit. *Nonwovens Industry – Conveyor and Processing Belts (PVC/TPU, antistatic, profiles).PDF*. Режим доступу: https://www.habasit.com/-/media/Project/Habasit/PublicWebSite/Documents/English/Industries/Textile/2167_EN-Nonwovens_Industry_Conveyor_and_Processing_Belts.pdf
5. Habasit. *Fabric Conveyor Belts Engineering Guide*. Режим доступу: <https://www.pooleyinc.com/wp-content/uploads/FabricEngineering.pdf>
6. Ammeraal Beltech. *Mesh belts / Open mesh belting for drying & processing (high-temperature applications)*. Режим доступу: https://www.ammeraalbeltech.com/-/media/Files/Folder/Products/Processing_belts/Modular_Belts/Open_Mesh_belting_EN.pdf
7. Siemens. SINAMICS V20. *Operating Instructions / Technical documentation (control, analog setpoints, commissioning)*. Режим доступу: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109481933/sinamics-v20-operating-instructions>
8. Leyva L. L. L. et al. *Lean Manufacturing Application in Textile Industry. – IEOM Society Conference Paper*, 2018. Режим доступу: <https://www.ieomsociety.org/paris2018/papers/155.pdf>

9. BLH Nobel. *Web Tension Control Handbook (tension measurement with load cells, control loop principles)*. Режим доступа: <https://www.weighingsystem.com/wp-content/uploads/2018/10/Web-Tension-Control-Handbook.pdf>
10. NDC Technologies. *Web Guiding / Edge guiding systems (principles of web alignment control)*. – Режим доступа: <https://www.ndc.com/en/web-guiding>
11. PI (PROFIBUS & PROFINET International). *PROFIdrive – Profile for Drive Technology (integration, communication concept)*. Режим доступа: <https://www.profibus.com/technology/profidrive>
12. MachineMetrics. *The Smart Factory: Smart Manufacturing Drives Industry 4.0 (real-time data collection/analytics for manufacturing)*. Режим доступа: <https://www.machinemetrics.com/blog/digital-factory>
13. Dynapar. *What is an Encoder? (industrial encoder basics for speed/position feedback)*. Режим доступа: https://www.dynapar.com/technology/encoder_basics/
14. ISO. ISO 12100 Safety of machinery. *General principles for design — Risk assessment and risk reduction (official overview)*. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/51528.html>
15. Siemens AG. SIMATIC S7-1200, CPU 1214C — *Technical data / Product information (Industry Mall / Support)*. Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com>
16. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller. *System Manual*. Siemens AG, 2023. 1200 p. Режим доступа: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109747136>
17. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 / TIA Portal: *PID control (PID_Compact) — documentation / manual*. Режим доступа: <https://cache.industry.siemens.com>
18. Siemens AG. PROFINET (*Industrial Ethernet*) overview / integration with automation systems. Режим доступа: <https://www.siemens.com/profinet>

19. Siemens AG. SINAMICS V20 (6SL3210-5BB17-5BV1) *Operating instructions / manual (analog setpoint 0–10 V, control interfaces)*. Режим доступу: <https://support.industry.siemens.com>
20. Siemens AG. SIMOTICS 1LE1 (1LE1001-1CB23) *motor datasheet / technical data (0.75 kW, 1500 rpm, IE2, IP55)*. Режим доступу: <https://docs.rs-online.com>
21. SEW-EURODRIVE. *S-series helical-worm gearmotors (S47) — product documentation / catalogue data*. Режим доступу: <https://download.sew-eurodrive.com>
22. Autonics. E40S series incremental rotary encoder. *datasheet (E40S6-1000-3-T-24)*. Режим доступу: <https://www.autonics.com>
23. OMRON. E3Z Photoelectric Sensors *datasheet (12–24 VDC, response time, protection ratings)*. Режим доступу: <https://assets.omron.eu>
24. Schneider Electric. *Harmony XB4 pushbuttons & emergency stop — datasheet / product documentation*. Режим доступу: <https://www.se.com>
25. Siemens AG. SIMATIC Winder and Tension Control — *manual (tension control using load cell feedback)*. Режим доступу: <https://support.industry.siemens.com>
26. Web Guiding And Spreading Systems (Textile World), 2009 — *principles of web guiding (edge detection, controller action, correction)*. Режим доступу: <https://www.textileworld.com>
27. DFE (Dover Flexo Electronics). Tension Control 101: Closed Loop PID Control — *принцип ПІД-регулювання натягу за сигналом тензодатчика*. Режим доступу: <https://www.doverflexo.com>

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кваліфікаційна магістерська робота на тему:
**АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОНВЕЄРА
ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Виконала: студентка групи 6371мз
Пристайко Т. І.
Керівник: к.т.н., асистент кафедри
Іванов А. В.

Миколаїв – 2025

Слайд 1. Титульний лист

МЕТА РОБОТИ, ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи – розробка та технічне обґрунтування автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром текстильних матеріалів, здатної забезпечувати стабільний контроль швидкості руху, натягу та положення полотна з метою підвищення якості технологічних процесів і зменшення кількості дефектної продукції.

Об'єкт дослідження – процес транспортування текстильних матеріалів у складі автоматизованих виробничих ліній текстильної промисловості.

Предмет дослідження – автоматизована система керування стрічковим конвеєром, що включає апаратні та програмні засоби регулювання швидкості руху, натягу та положення текстильного полотна.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- провести аналіз особливостей використання конвеєрних систем у текстильній промисловості та дослідити існуючі підходи до керування процесом транспортування полотна з виявленням їх основних недоліків;
- обґрунтувати вибір типу стрічкового конвеєра, електроприводу, програмованого логічного контролера та сенсорного обладнання для побудови автоматизованої системи керування;
- розробити структурну схему автоматизованої системи керування стрічковим конвеєром;
- розробити алгоритми роботи системи керування, що забезпечують регулювання швидкості руху, натягу та положення текстильного полотна;
- реалізувати алгоритми регулювання для стабілізації основних технологічних параметрів;
- забезпечити взаємодію системи керування з технологічним обладнанням і засобами безпеки;
- виконати оцінку ефективності запропонованих технічних рішень з точки зору стабільності роботи системи та можливостей її подальшої модернізації.

ІСНУЮЧІ ВИДИ КОНВЕЄРІВ



Стрічкові конвеєри



Роликові конвеєри



Пластиначасті конвеєри



Конвеєри сушильних установок

ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ



Siemens SIPLUS S7-
1200 CPU 1214C



3D-прототип стрічкового конвеєра

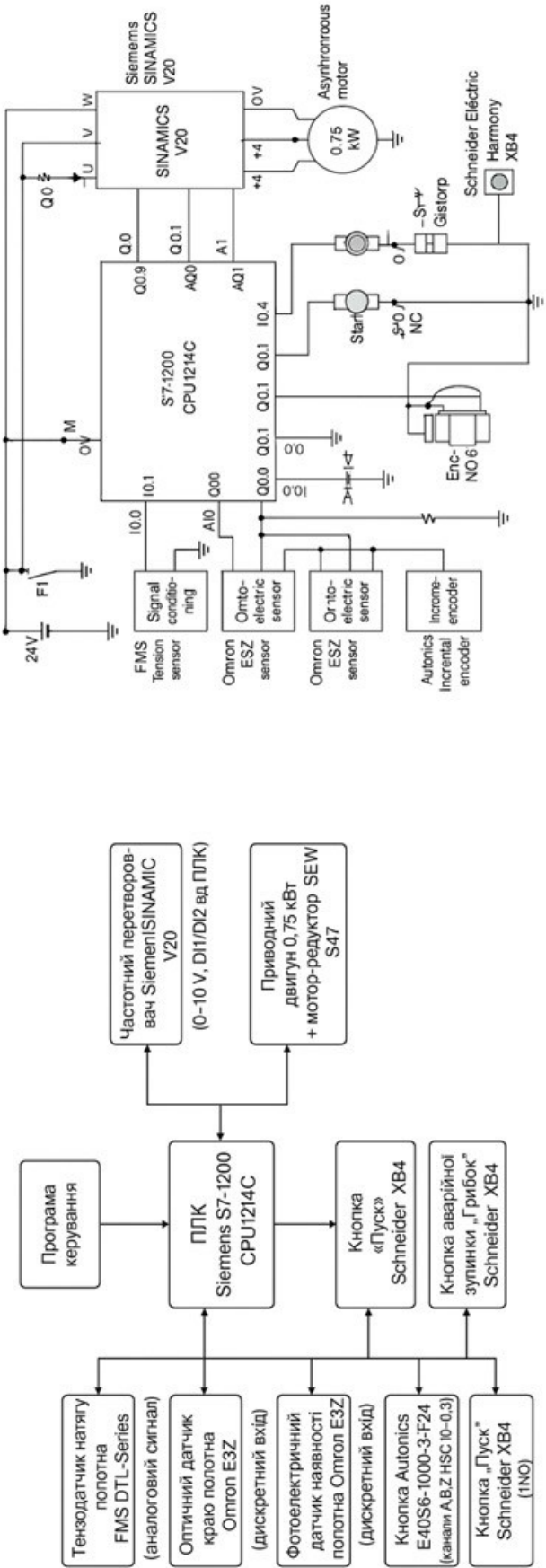


Асинхронний двигун
Siemens 1LE1001-1CB23



Частотний перетворювач
SINAMICS V20

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ КОМПОНЕНТІВ

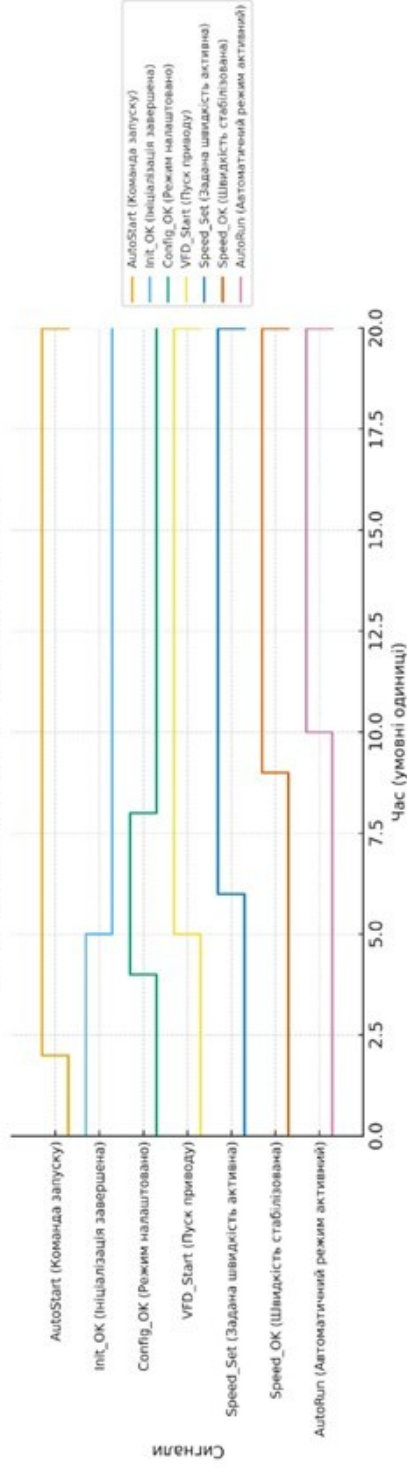


Структурно-функціональна схема

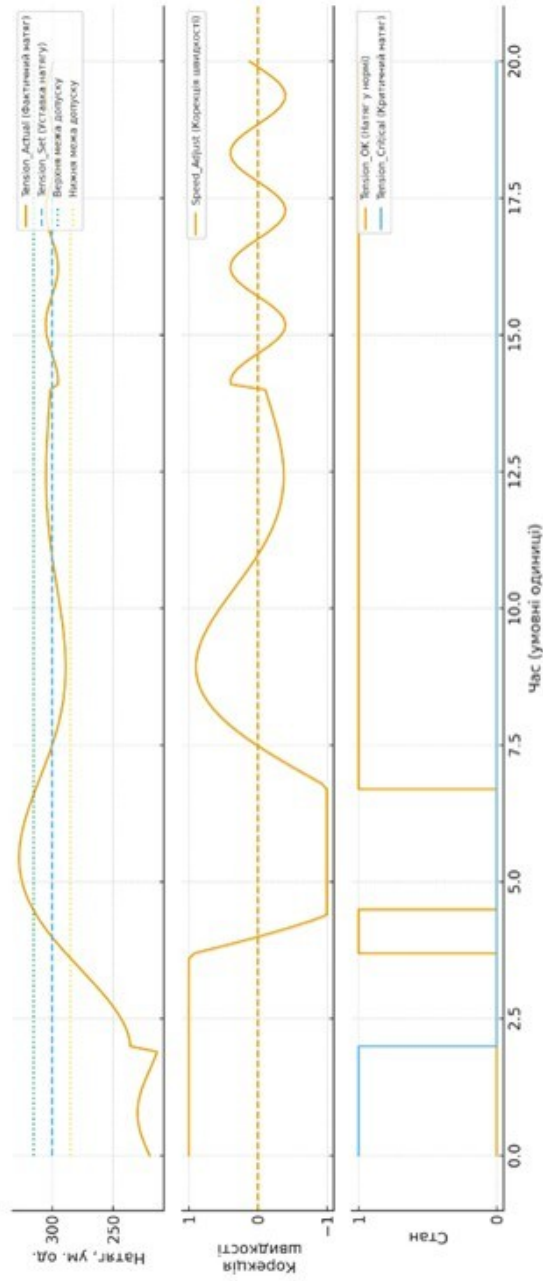
Принципова електрична схема

Слайд 6. Структурно-функціональна схема системи керування та принципова електрична схема підключення компонентів

ВІДОБРАЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ СИСТЕМИ НА ЦИКЛОГРАМАХ



Циклограма запуску системи



Циклограма регулювання натягу полотна

ВИСНОВКИ

- Розроблено автоматизовану систему керування стрічковим конвеєром для транспортування текстильних матеріалів на основі сучасних засобів промислової автоматизації.
- Проведено аналіз технологічних вимог до процесу транспортування текстильного полотна та обґрунтовано необхідність використання замкнених контурів регулювання швидкості, натягу та положення матеріалу.
- Обґрунтовано вибір елементної бази системи керування, зокрема програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1200, частотного перетворювача SINAMICS V20, асинхронного електроприводу з редуктором та комплексу датчиків зворотного зв'язку.
- Розроблено структурну схему системи керування та алгоритмічну логіку роботи з виділенням основних функціональних підпрограм ініціалізації, налаштування режимів, автоматичного транспортування, регулювання швидкості й натягу полотна.
- Реалізовано алгоритми ПІД-регулювання, що забезпечують стабільне підтримання технологічних параметрів конвеєра за умов змінних навантажень і властивостей текстильного матеріалу.
- Побудовано циклограми роботи системи, які підтверджують коректність переходів між режимами, адекватну реакцію на нештатні ситуації та узгоджену роботу виконавчих механізмів і засобів контролю.