МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Проект автоматизації конвеєрної установки. Система автоматичного регулювання роботи електродвигуна

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1512
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Греков М.О.

Керівник доцент, к. т. н. Дьяченко В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент _____

Запоріжжя 2026

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (бакалаврський)
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ
Греков Михайло Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проект автоматизації конвеєрної установки. Система автоматичного регулювання роботи електродвигуна
керівник роботи Дьяченко В.В, доцент, к. т. н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1833-с
2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз існуючого рівня автоматизації; розробка схеми інформаційних потоків; розробка технічного завдання; структура програмно-технічного комплексу; проєктування системи регулювання роботи електродвигуна; розробка технічної документації; техніко-економічних показники; охорона праці, пожежна безпека
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): функціональна схема автоматизації, принципові електричні схеми, монтажно-комутаційна схема, схема зовнішніх з'єднань креслень) презентація роботи

6. Консультанти розділів роботи.

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

7 Дата видачі завдання 14.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючого рівня автоматизації	21.04-27.04.26	
2	Розробка схеми інформаційних потоків	28.04-04.05.26	
3	Розробка технічного завдання	05.05-07.05.26	
4	Вибір структури та складу програмно-технічного комплексу	08.05-10.05.26	
5	Проєктування системи регулювання роботи електродвигуна	08.05-14.05.26	
6	Розробка технічної документації	15.05-18.05.26	
7	Розрахунок системи автоматизації та показників її надійності	19.05-21.05.26	
8	Розрахунок техніко-економічних показників	22.05-23.05.26	
9	Розгляд питань охорони праці та техногенної безпеки	24.05-25.05.26	
10	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю, підготовка доповіді	26.05 – 10.06.26	

Студент _____ Михайло ГРЕКОВ
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Вера ДЬЯЧЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Андрій КОЛОСОК
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Греком М. О. Проект автоматизації конвеєрної установки. Система автоматичного регулювання роботи електродвигуна.

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології», науковий керівник В. В. Дьяченко, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Метою проєкту є розробка системи автоматизації конвеєрної установки та створення системи автоматичного регулювання роботи її електропривода.

У ході виконання роботи було проведено детальний аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації та виявлено хронічне недовантаження приводного асинхронного двигуна, що призводить до значних втрат енергії під час холостого ходу (пауз у вантажопотоці). Виконано динамічне моделювання та ідентифікацію режимів роботи системи в середовищі MATLAB, на основі чого розроблено й теоретично обґрунтовано інноваційний гібридний алгоритм керування. У проєкті розроблено структурну, функціональну та принципову електричну схеми САУ з переходом на сучасну мікропроцесорну елементну базу. Проведено техніко-економічний аналіз, який підтвердив високу інвестиційну привабливість розробленого рішення з терміном окупності капіталовкладень до 3 років. Додатково опрацьовано питання охорони праці, виробничої санітарії та безпеки в аварійних ситуаціях на деревообробній дільниці.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, шести розділів, висновків, переліку джерел посилання з 50 найменувань, викладена на 99 сторінках машинописного тексту, включаючи 19 рисунок, 11 таблиць та 9 аркушів графічного матеріалу.

Ключові слова: автоматизація, конвеєрна установка, електропривод, перетворювач частоти, програмоване логічне реле, енергоефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ 9
1.1 Технологічний опис об’єкта автоматизації 9
1.2 Технологічний процес як об’єкт автоматизації 13
1.3 Опис конвеєрної установки 15
1.4 Постановка задачі проєктування системи автоматизації 21
2 ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ ТА ПОСТАВНОКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ 25
2.1 Вимоги до системи 25
2.2. Постановка задачі та аналіз проблеми 30
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ 34
3.1. Вихідні дані для розрахунку 34
3.2. Розрахунок потужності приводу конвеєра 34
3.3 Моделювання сценаріїв підвищення енергоефективності 37
3.4 Динамічне моделювання режимів роботи конвеєра 38
3.5 Розробка та моделювання гібридного алгоритму керування 40
3.6. Апаратна реалізація системи автоматизації 41
3.7 Аналіз впливу циклограми роботи та надійності 42
3.8. Моделювання динаміки технологічних параметрів (швидкості та продуктивності) 43
4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РОБОТИ ДВИГУНА 48
4.1 Загальна структура програмно-технічного комплекса засобів автоматизації 48
4.2 Структурна схема розробленої САУ 50
4.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ 53
4.4 Функціональна схема автоматизації управління 60
5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 67
5.1 Основні положення охорони праці 67

5.2 Загальні заходи з охорони праці 68
5.3 Охорона праці оператора АСУ ТП 71
5.4 Охорона навколишнього середовища 75
6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ 77
6.1 Порівняльний аналіз та економічне обґрунтування 77
6.2. Обґрунтування ресурсного забезпечення проєкту 80
6.3. Фінансове обґрунтування стартап-проекту 84
6.4. Обґрунтування рівня рентабельності (прибутковості) інноваційної ідеї 86
6.5. Цільові групи потенційних споживачів 88
6.6 Бізнес-модель проєкту 89
ВИСНОВКИ 94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 95

ВСТУП

Деревина залишається одним із найбільш затребуваних конструкційних матеріалів у різних секторах економіки завдяки унікальному поєднанню фізико-механічних властивостей: простоті механічної обробки, малій питомій вазі при високій міцності, а також низькій тепло- і звукопровідності. Базовою ланкою деревообробної галузі є лісопильне виробництво, продукція якого – пиломатеріали (дошки, бруси тощо) – слугує основою для подальшого виготовлення широкого спектра товарів.

Впровадження систем автоматичного керування (САК) є ключовим фактором підвищення продуктивності, мінімізації операційних витрат та забезпечення стабільної якості продукції. Водночас універсальні підходи теорії автоматичного керування виявляються недостатньо ефективними без глибокої адаптації алгоритмів до специфіки конкретного технологічного процесу.

Метою проєкту є розробка системи автоматизації конвеєрної установки та створення системи автоматичного регулювання роботи її електропривода.

Головною метою модернізації та автоматизації виробничих процесів у деревообробці є:

– оптимізація штату обслуговуючого персоналу;

– максимізація обсягів випуску та підвищення загальної ефективності виробництва;

– гарантування стабільно високої якості готової продукції;

– раціональне використання сировинних ресурсів;

– забезпечення ритмічності, безпеки праці та екологічності виробничого циклу;

– покращення техніко-економічних показників підприємства;

– для досягнення поставлених цілей необхідно вирішити такі науково-технічні завдання:

– підвищення точності та якості динамічного регулювання параметрів;

– збільшення коефіцієнта готовності та надійності технологічного обладнання;

– покращення ергономіки робочих місць операторів;

– забезпечення достовірного обліку та моніторингу матеріальних потоків;

– створення підсистем архівування даних про перебіг ТП та реєстрації аварійних подій.

Модернізація ліній із виробництва паркетної плитки шляхом впровадження засобів автоматизації є актуальним науково-практичним завданням. Окремої уваги потребує ділянка ламінування, де критично важливими є прецизійне суміщення шарів матеріалу та стабільність швидкісних режимів транспортних полотен. Будь-які динамічні відхилення швидкості призводять до появи браку та перевитрати дорогої сировини.

Розробка та впровадження сучасних САК на базі мікропроцесорного керування, інтелектуальних сенсорів та електроприводу дозволяє нівелювати вплив людського фактора, забезпечити високу точність суміщення і відкриває шлях до інтеграції технологічних ліній у єдиний цифровий простір підприємства в рамках концепції «Індустрія 4.0».

1. ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технологічний опис об’єкта автоматизації

Паркетна плитка належить до найзатребуваніших матеріалів для облаштування підлоги, оскільки вдало поєднує в собі витончену естетику натурального дерева та високі експлуатаційні властивості. Тривалість служби та збереження її привабливого вигляду безпосередньо залежать від таких фундаментальних характеристик, як зносостійкість, конструктивна вологостійкість та стабільність під впливом температурних коливань.

Здатність паркету чинити опір механічним навантаженням і стиранню обумовлена породою деревини, товщиною робочого шару та типом захисного покриття. Для лицьової поверхні зазвичай вибирають твердолистяні породи з високими показниками щільності за Брінеллем, зокрема дуб, ясен або горіх, які ефективно витримують умови інтенсивної прохідності. Відповідно до європейського стандарту EN 13329, таку багатошарову дошку класифікують за рівнями навантаження від побутового 23 класу до комерційного 32 класу. Важливу роль відіграє і товщина верхньої ламелі, яка зазвичай становить від двох до шести міліметрів. Кожен додатковий міліметр корисного шару збільшує експлуатаційний ресурс підлоги, оскільки дозволяє проводити багаторазове шліфування та реставрацію протягом кількох десятиліть. Фінішний захист забезпечують лакові або олійно-воскові системи. Сучасні акрилові та поліуретанові лаки УФ-затвердіння створюють на поверхні міцну монолітну плівку, яка відмінно захищає від подряпин, проте вимагає повного перешліфування кімнати у разі значного зносу. Натомість натуральні олії з твердим воском глибоко просочують пори деревини, зберігають її природну текстуру і дозволяють здійснювати швидкий локальний ремонт окремих пошкоджених ділянок, хоча й потребують частішого регулярного догляду.

Опір вологи багато в чому визначається внутрішньою архітектурою матеріалу та сучасними методами фізико-хімічної обробки. Традиційна

тришарова конструкція складається з перпендикулярно орієнтованих шарів, де верхній шар із твердої деревини з'єднаний із поперечними хвойними рейками або щільною деревоволокнистою плитою HDF, яка чудово протидіє продавлюванню меблями, а нижню частину стабілізує шар фанери. Така перехресна геометрія ефективно компенсує внутрішні напруження та запобігає лінійній деформації при коливаннях вологості. Додатково вологостійкість підвищують за допомогою гідрофобних замкових з'єднань із технологією штучного воскування та завдяки використанню термодеревини. Пропарювання сировини за температур від 180 до 240 градусів Цельсія змінює клітинну структуру дерева, знижуючи його гігроскопічність удвічі та нівелюючи ризик появи плісняви. Разом з тим, навіть попри високу якість обробки, паркетну плитку не радять монтувати в зонах із постійним прямим контактом із водою, наприклад у ванних кімнатах, де доцільніше застосовувати керамограніт.

Термостабільність є ще однією критично важливою характеристикою, оскільки натуральне дерево схильне розширюватися або стискатися під впливом тепла. Еластична багатошарова структура успішно нівелює цей ефект, що дозволяє інтегрувати паркет із системами підлогового опалення за умови чіткого дотримання технологічного регламенту. Найкраще для цього підходять водяні або електричні системи, заглиблені в бетонну стяжку для рівномірного розподілу тепла, тоді як інфрачервоні плівкові нагрівачі вважаються ризикованими через занадто стрімку динаміку нагріву. Гранична температура на поверхні покладеного паркету не повинна перевищувати 27 градусів Цельсія при загальній кімнатній температурі від 18 до 24 градусів. Обов'язковою умовою збереження цілісності покриття є підтримання відносної вологості повітря у межах від 40 до 60 %, що в зимовий опалювальний період досягається використанням побутових зволожувачів повітря, які запобігають розсиханню та появі скрипу ламелей.

Технологічний процес виробництва паркетної плитки на основі деревного опилу складається з наступних стадій:

– доставка сировини у приймальний бункер;

– сушіння деревної сировини;

– дроблення та сортування деревної сировини;

– змішування деревного опилу;

– таблетування;

– пресування та ламінування;

– сортування та відбраковування виробів;

– механічна обробка виробів.

Технологічний процес виробництва паркетної плитки на основі ДП-БС наведений на рисунку 1.1.

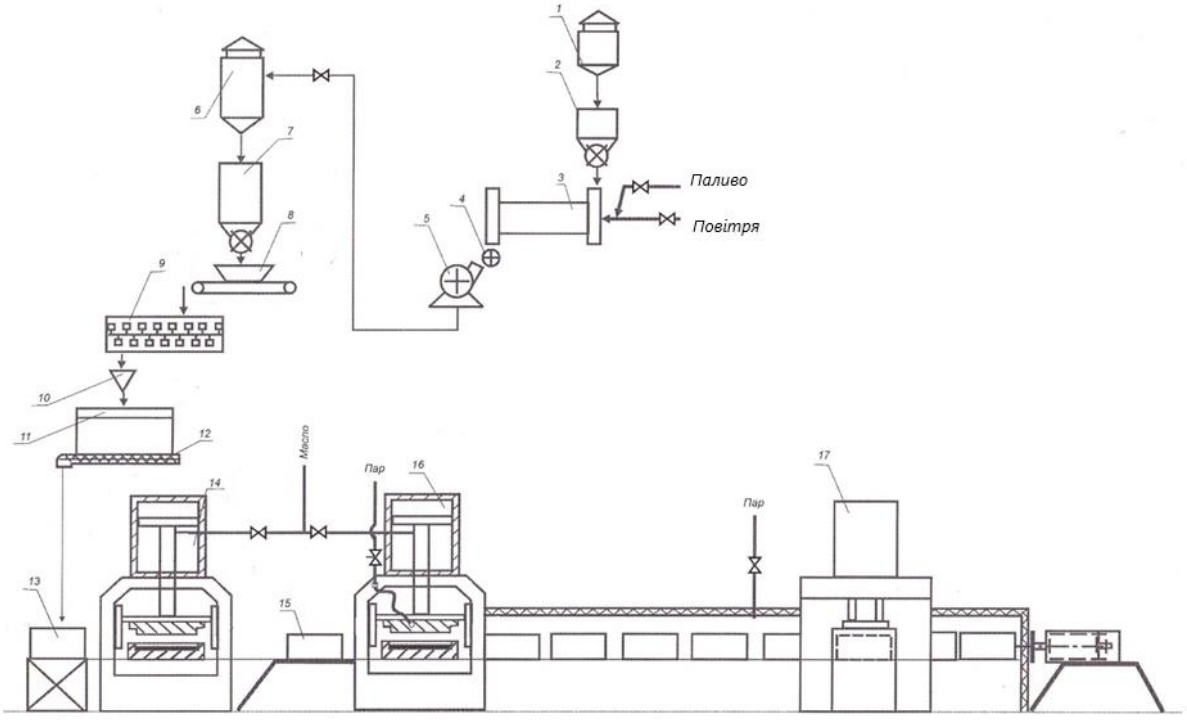


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва паркетної плитки.

Початковий етап технологічного процесу передбачає транспортування дрібних деревних відходів, попередньо очищених від великогабаритних домішок у цехах-постачальниках, за допомогою пневматичної системи через розвантажувальний циклон безпосередньо до накопичувального бункера. З цього бункера сировина за допомогою порційного гвинтового конвеєра дозовано спрямовується в барабанну сушильну установку, де відбувається видалення

надлишкової вологи до регламентованих технологічних значень. Висушений матеріал проходить крізь зону дії промислового металошукача для захисту обладнання від випадкових металевих включень і надходить у молоткову дробарку для подрібнення до однорідної фракції.

Після подрібнення деревна маса через черговий циклон осаджується в проміжному бункері сухих відходів, звідки за допомогою шнека подається на автоматизовані стрічкові ваги безперервної дії, які з високою точністю дозують подрібнену деревину в промисловий змішувач для формування однорідної за складом суміші. Готовий прес-матеріал послідовно переміщується через розподільний вузол до головного бункера місткістю шістнадцять кубічних метрів, який виконує роль демпферного сховища для забезпечення безперебійної та ритмічної роботи всієї лінії. За допомогою спеціалізованого шнекового дозатора готова композиція засипається у відкриті матриці, які зафіксовані на ланцюговому пульсуючому транспортері, що циклічно переміщує їх до одноповерхового гідравлічного преса з верхнім розташуванням циліндра для виконання операції попереднього підпресування.

Отримані щільні заготовки (таблетки) механічно перевантажуються безпосередньо у прес-форми і транспортуються до гарячого преса, де під впливом високого тиску та заданого температурного режиму відбувається остаточне формування геометрії виробів. Далі завантажені прес-форми послідовно проходять крізь охолоджувальний тепловий тунель і досягають розвантажувального преса, який здійснює розмикання форм та вилучення готової продукції, тоді як звільнені прес-форми повертаються зворотним паралельним тунелем до гарячого преса, попутно проходячи стадію попереднього прогріву. Організація безперервного циклу гарячого формування базується на застосуванні блоку прес-форм із тарілчастими пружинами, що дозволяє головному пресу працювати виключно в тактах змикання, тоді як тривала витримка матеріалу за високої температури і його подальше релаксаційне охолодження реалізуються безпосередньо всередині тунелю під постійним механічним тиском пружинних пакетів. На фінальній стадії

виготовлена паркетна плитка проходить суворий технічний контроль на лінії відбраковування та сортування, транспортується на дільницю фінішної механічної обробки для калібрування і після заключного підтвердження відповідності стандартам якості переміщується на склад готової продукції.

Для інтенсифікації процесу формування та підвищення міцності плитки у безперервний змішувач разом із деревним ошурком впорскуються рідкі термореактивні смоли, найчастіше карбамідоформальдегідні або меламінові, що зшиваються під дією високої температури в гарячому пресі. Окрім сполучних речовин, до складу композиції вводяться спеціальні гідрофобізуючі добавки, такі як розплавлений парафін або емульсії на його основі, що дозволяє значно знизити показник водопоглинання та розбухання готового паркету по товщині. Сучасні автоматизовані лінії також передбачають інтеграцію датчиків вологості на виході з барабанної сушарки та тензометричних датчиків на стрічкових вагах, які утворюють замкнуті контури регулювання для стабілізації параметрів щільності та якості пресування виробів.

1.2 Технологічний процес як об’єкт автоматизації

Комплексний процес виготовлення паркетної плитки базується на послідовному виконанні низки технологічних етапів, що включають первинне отримання дощок із круглих лісоматеріалів, їх поздовжньо-поперечний розкрій на заготовки (фризу), камерне сушіння до досягнення кондиційної вологості, чорнове калібрувальне стругання, фінішну обробку планок на лінії ламінування, а також заключне сортування, технічний контроль та пакування готових виробів.

У контексті виробництва багатошарових підлогових покрить під ламінуванням розуміють процес прецизійного з'єднання (склеювання) різнорідних матеріалів під дією високого тиску та температури. Ця операція передбачає поєднання шпону твердих порід деревини з фанерою, масивом хвойних порід або композитними плитами високої щільності (HDF), а також

нанесення захисно-декоративних шарів. Ламінування є фінішною стадією обробки, яка безпосередньо формує зносостійкість, гідрофобність, стійкість до механічних пошкоджень та візуальну привабливість паркетної плитки.

Функціонування сучасної технологічної лінії ламінування реалізується через чітку послідовність операцій:

– автоматичне транспортування підготовлених ламелей до робочої зони;

– безконтактне очищення поверхонь від пилу з паралельним оптичним контролем геометрії;

– рівномірне нанесення клейового або рідкого полімерного складу;

– позиціонування та подача ламінувальних матеріалів або захисних плівок;

– термобаричне пресування у спеціалізованих пресах;

– стабілізуюче охолодження плитки з контролем якості адгезії;

– фінішний поздовжньо-поперечний розкрій і торцювання дощок дисковими пилами;

– роботизоване сортування та штабелювання готової продукції.

Як об’єкт автоматизованого керування дільниця ламінування характеризується високим рівнем складності через багатозв'язність параметрів, які потребують безперервного моніторингу та стабілізації, зокрема температури плит преса, зусилля притискання, часу експозиції та рівномірності клейового шару. Будь-які динамічні відхилення цих величин від номінальних значень призводять до незворотного браку через жолоблення або розшарування матеріалу. Це вимагає жорсткої синхронізації швидкостей живильних конвеєрів, тактів роботи пресового обладнання та вузлів охолодження. Для реалізації таких алгоритмів координації технологічний комплекс оснащується розвиненою периферією: аналоговими датчиками температури й тиску, оптичними фотоелементами позиціонування, а також програмованими логічними контролерами (ПЛК). Комплексна автоматизація лінії дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, стабілізувати якісні показники плитки, оптимізувати

питомі витрати енергоносіїв та сировини, а також максимізувати загальну продуктивність дільниці.

Ефективним інженерним рішенням для інтенсифікації виробництва є безпосередня інтеграція двопильної обрізної лінії у структуру ділянки ламінування, що дозволяє виконувати калібрування та торцювання паркетної дошки в єдиному потоці. Це гарантує високу точність лінійних розмірів, суворе дотримання перпендикулярності країв та бездоганну геометрію замкових з'єднань.

Сучасним трендом розвитку таких автоматизованих комплексів є впровадження концепції «розумного виробництва» на базі промислового інтернету речей (IIoT). Інтеграція локальних контролерів лінії ламінування та обрізної системи в загальнозаводську мережу класу MES/ERP дозволяє збирати телеметрію в режимі реального часу для побудови цифрових двійників процесів. Застосування алгоритмів предиктивної аналітики на основі зібраних даних дає змогу прогнозувати знос пильних дисків, контролювати теплові профілі преса для запобігання прихованим дефектам адгезії та гнучко переналаштовувати параметри лінії при зміні типорозмірів паркетної плитки без зупинки конвеєра.

1.3 Опис конвеєрної установки

Конвеєрна установка для ламінування дошок (рис. 1.2) – це автоматизована лінія, призначена для нанесення декоративного та захисного ламінувального шару на поверхню дерев’яних або деревовмісних плит (МДФ, ДСП, фанери тощо) із забезпеченням рівномірності покриття та високої продуктивності.

Установка забезпечує:

- рівномірне нанесення клею або термореактивної плівки;
- точне притискання плівки до поверхні дошки;
- контроль температури, тиску та швидкості подачі;

– автоматичне транспортування матеріалу по конвеєру.



Рисунок 1.2 – Конвеєрна установка для ламінування дошок

Принцип дії конвеєрної установки для ламінування дошок полягає у послідовному транспортуванні заготовок по конвеєру через серію технологічних зон, у яких здійснюється нанесення клею або плівки, нагрівання, притискання та охолодження, що забезпечує утворення міцного і рівномірного ламінувального покриття. Процес ламінування відбувається за рахунок поєднання тепла, тиску та руху**,** які забезпечують надійне приклеювання декоративного шару (плівки, шпону або паперу) до поверхні дерев’яної плити.

Етапи роботи установки.

1. Подача заготовки:

– дошки подаються на завантажувальний стіл і автоматично переміщуються конвеєрною стрічкою в зону обробки;

– швидкість руху регулюється залежно від товщини матеріалу і типу покриття.

2. Очищення та підготовка поверхні:

– поверхня дошки очищається від пилу, стружки, нерівностей;

– може здійснюватися легке шліфування для покращення зчеплення з клейовим шаром.

3. Нанесення клею або активатора:

– валиковий або розпилювальний механізм наносить тонкий рівномірний шар термореактивного клею або активатора;

– у разі термоплівки – шар клею вже міститься на плівці, тому цей етап може бути пропущений.

4. Накладання ламінувальної плівки:

– декоративна плівка (ПВХ, меламінова, шпонована) подається з рулону;

– вона вирівнюється по краях дошки та подається на нагрівальні вали.

5. Притискання і нагрівання:

– дошка проходить між гарячими пресовими валами, які забезпечують одночасне нагрівання клею та притискання плівки до поверхні;

– клей активується, а плівка щільно з’єднується з матеріалом основи;

– температура валів зазвичай становить 140-180 °С, тиск – 0,3-0,6 МПа.

5. Охолодження – дошки проходять через охолоджувальну секцію з вентиляторним або водяним охолодженням, це забезпечує фіксацію плівки та запобігає її відшаровуванню.

6. Обрізання країв – надлишки плівки по краях зрізаються автоматичними ножами або фрезами).

7. Вивантаження готового продукту – готові ламіновані дошки транспортуються на вивантажувальний стіл і накопичуються в стопу.

На рисунку 1.3 наведена частина конвеєрної установки для ламінування дошок, зокрема зону подачі дошок з системою роликів.

Конвеєрні рольтанги транспортують дошки через установку. Кожен ролик вільно обертається на підшипниках, забезпечуючи рівномірний рух матеріалу. Вони часто покриті термостійкою плівкою або гумовим шаром, щоб запобігти ковзанню.



Рисунок 1.3 – Конвеєрні рольтанги

Багато українських виробників освоїли випуск паркетної плитки і масивної паркетної дошки, що повністю відповідають вимогам міжнародних стандартів. Ця паркетна продукція відрізняється більшими геометричними розмірами та вищою якістю. Товщина, ширина і довжина масивної паркетної дошки змінюються у широких межах (21…22×100…200× 600…2000 мм). Так, ширина дошки зазвичай становить 100…200 мм, а довжина більше як 1000 мм. Основною початковою сировиною для виготовлення паркетних виробів є круглі лісоматеріали твердих листяних порід згідно з ДСТУ EN 1316-1:2019, хвойних порід – згідно з ДСТУ EN 1927-2:2019.

У сучасних технологічних процесах на етапі ламінування і виготовлення паркетних виробів розрахунок витрати деревини починають із розкрою круглих лісоматеріалів на сформовані чи кратні перерізи майбутніх деталей і далі за операціями технологічного процесу. Така технологія дає змогу раціональніше та ефективніше використовувати деревину із всіх зон пиловника у разі індивідуального розкрою на стрічкових верстататах.

Для розпилювання колод на дошки для отримання фризи варто використовувати постав пил, за якого досягається найбільший вихід дошок

радіального розпилювання і найбільший вихід обрізних дошок з шириною рівною ширині фризи, що виготовляють. Тому розпилювати колод розвальним способом з отриманням тільки тонких дощок варто колоди діаметром 22-24 см. Колоди більших діаметрів варто розпилювати комбінованим способом з отриманням тонких і товстих дощок.

Під час розкрою дощок із початкової зони не вся фриза буде отримана радіального розпилювання. Із крайніх дощок цієї зони частина фризи випилюється напіврадіального розпилювання, а частина тангентального. Тому дошки чисто радіального розпилювання отримують в зоні В, ширина якої рівна (0,3-0,35)·d. Із тонких дощок, що знаходяться за межами зони А, отримують фризу тангентального розпилювання. Тому із тих частин доцільно отримати товсті дошки товщиною рівною товщині фризи з наступним розпилюванням їх на обрізні рейки. Комбінований спосіб розпилювання колод раціональніший порівняно з розпилюванням колод розвальним способом на тонкі дошки за рахунок підвищення відсотка фризи радіального випилювання до 50 % порівняно з 35 % при розпилюванні розвальним способом на тонкі дошки. Таким чином, у спеціалізованому виробництві паркетної плитки доцільно використовувати комбінований спосіб розпилювання колод перед процесом ламінування.

Конвеєрна установка для обрізання дощок з двопильним обрізним верстатом – це автоматизована лінія, призначена для поздовжнього обрізання крайок необрізних або ламінованих дощок з метою отримання рівних за шириною заготовок. Схема роботи наведена на рисунку 1.5.

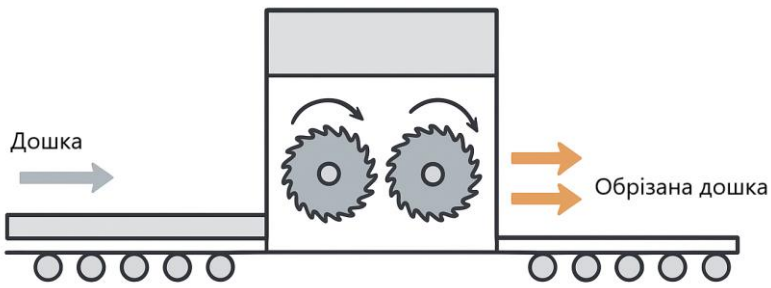


Рисунок 1.5 – Схема роботи конвеєрної установки для обрізання дощок з двопильним обрізним верстатом

Переваги використання конвеєрної установки:

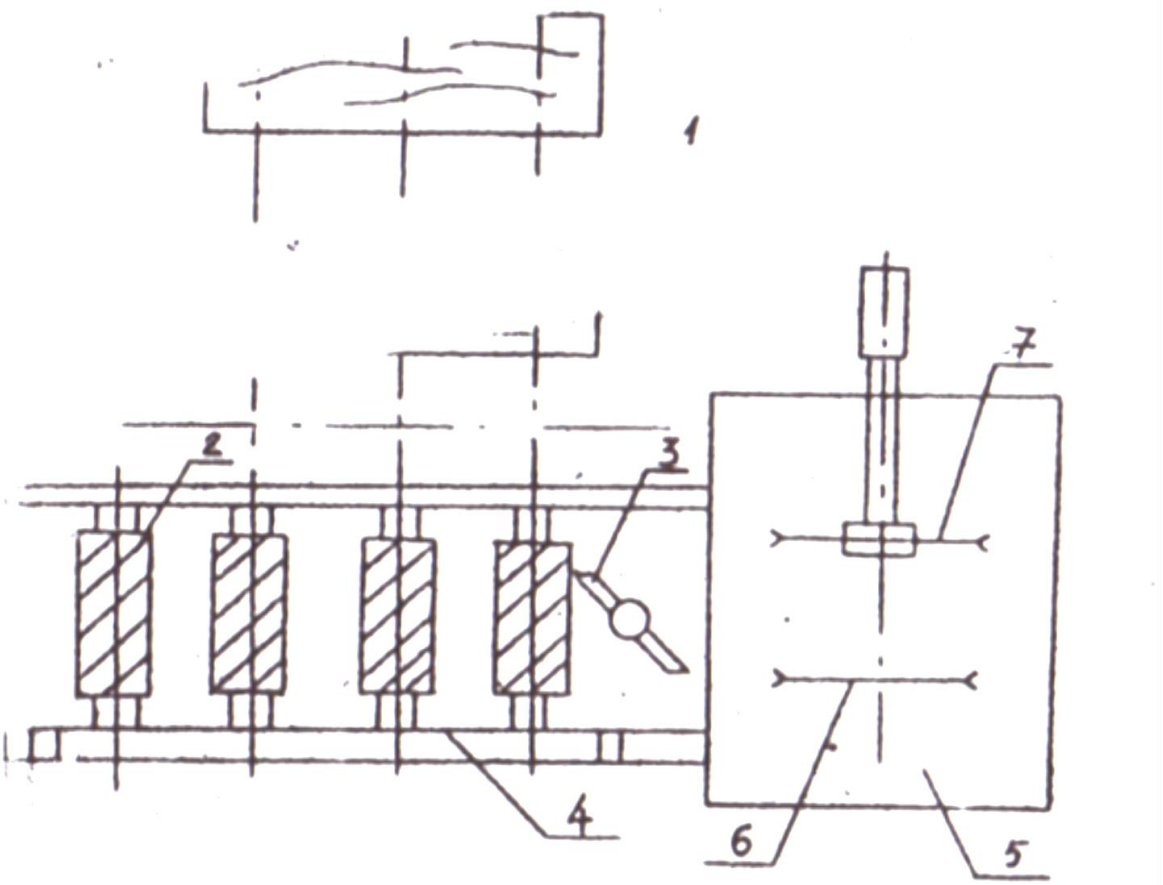
– одночасне обрізання обох крайок, висока точність і швидкість;

– можливість автоматичного регулювання ширини різу;

– безперервна робота завдяки конвеєрній подачі;

– зниження трудомісткості процесу.

Конвеєрна установка для обрізання дощок (рис. 1.6) складається з поперечного ланцюгового транспортера 1, поздовжнього рольганга 2, підйомного упору 3, опорної лінійки 4 і станка 5 з двома круглими пилами: пила 6 фіксована, а пила 7 може займати одне з двох можливих положень.



1 – поперечний ланцюговий транспортер; 2 – поздовжній рольганг; 3 – підйомний упор; 4 – опорна лінійка; 5 – верстат; 6 – фіксована пилка; 7 – рухлива пила

Рисунок 1.6 – Конвеєрна установка для обрізання дощок з двопильним обрізним верстатом

Дошки надходять до обрізного станка по поперечному транспортеру, а потім по поздовжньому рольгангу. На рольгангу дошки за рахунок гвинтової поверхні ролика притискаються до опорної лінійки 4 і упору 3.

Після того, як дошка вирівнюється, упор піднімається і дошка надходить у обрізний станок. На станку можлива обрізка дощок, які за шириною поділяються на дві групи – широкі та вузькі. Ширина вимірюється за допомогою датчиків при підході дощок до опорної лінійки.

Робота обрізного станка при подачі широкої дошки відбувається наступним чином. Дошка подається поперечним ланцюговим транспортером. Якщо місце на поздовжньому рольгангу вільне, дошка рухається безпосередньо на нього. Якщо ж з рольганга не вийшла попередня дошка, поперечний транспортер зупиняється, доки не звільниться місце на рольгангу
і упор не опуститься.

До моменту, коли дошка дійде до опорної лінійки, її ширина вже буде відома, і рухома пила буде відведена в крайнє ліве положення для випилювання широкої обрізної дошки.

Як тільки дошка вирівнюється за лінійкою, упор піднімається і вона подається рольгангом у обрізний станок.

При подачі поперечним транспортером вузької дошки послідовність спрацьовування механізмів така ж, як і описано вище, за винятком вибору положення рухомої пилки; вона буде встановлена в крайнє праве положення.

1.4 Постановка задачі проєктування системи автоматизації

Аналіз дільниці ламінування та обрізання паркетної дошки як об’єкта керування свідчить про його високу динамічність, багатозв'язність технологічних параметрів та жорсткі вимоги до точності просторово-часової координації механізмів. Сучасний критерій ефективності функціонування даного комплексу полягає у забезпеченні максимальної продуктивності та

бездоганної геометричної точності виробів за мінімальних питомих витрат сировини (декоративних плівок, клейових сумішей, кондиційної деревини) та енергоносіїв.

З огляду на це, головною задачею проєктування є розробка комплексної автоматизованої системи керування (АСК) та локальних систем автоматичного регулювання (САР) параметрами конвеєрної установки ламінування та двопильного обрізного верстата на базі сучасних засобів мікропроцесорної техніки.

Для досягнення поставленої мети в межах даного проєкту необхідно вирішити такі завдання:

1. Розробка контуру автоматичного регулювання швидкості обертання приводного електродвигуна (рольтангів) залежно від теплофізичних властивостей матеріалу основи, типу ламінуючого покриття та його товщини для стабілізації часу експозиції заготовки в зоні обробки.

2. Створення підсистеми стабілізації температури нагрівальних валів у діапазоні 140-180 °C та підтримання робочого тиску притискних циліндрів на рівні 0,3-0,6 МПа для виключення дефектів адгезії (розшарування, деформації).

3. Проєктна реалізація фотоелектричної або лазерної системи визначення габаритних розмірів (ширини) дошки на підході до опорної лінійки для автоматичного дискретного позиціонування рухомої дискової пили (переведення у крайнє ліве або крайнє праве положення для широкої/вузької групи).

4. Синтез логічних алгоритмів керування для координації роботи поперечного ланцюгового транспортера, поздовжнього рольганга та підйомного упора. Алгоритм повинен забезпечувати безаварійне поштучне вирівнювання і подачу дощок у верстат, упереджуючи затори та простої лінії за принципом:

Якщо Рольганг Зайнятий $\rightarrow$ Упор Піднятий $\rightarrow$ Зупинка транспортера

5. Вибір промислового програмованого логічного контролера (ПЛК), розробка схем автоматизації (вхідних/вихідних каналів), а також розробка прикладного програмного забезпечення (алгоритмів інтервального регулювання та блокувань) для безперервного функціонування комплексу.

6. Передбачення технічних рішень для передачі потокових даних (вологість, швидкість, температурні профілі преса, стан різального інструменту) на верхній рівень керування підприємства (MES/ERP), що дозволить здійснювати предиктивний моніторинг і гнучку оптимізацію процесу.

7. Сформулювати вимоги до апаратного забезпечення (ПЛК)

8. Описати математичну модель контуру регулювання швидкості конвеєра.

9. Вибрати комплекс технічних засобів автоматизації.

Висновки. сучасне спеціалізоване виробництво паркетної плитки є складним багатоетапним науково-технічним комплексом, ефективність якого безпосередньо залежить від точності дотримання теплофізичних і геометричних параметрів на кожній стадії. Розглянута технологічна послідовність, що поєднує глибоку переробку деревної сировини з процесами гарячого пресування композитів та фінішного ламінування, висуває підвищені вимоги до стабільності динамічних режимів роботи обладнання. Дослідження об'єкта автоматизації показало, що критично важливими дільницями лінії є конвеєрна установка термобаричного ламінування та двопильний обрізний верстат, де будь-які коливання швидкості транспортування, тиску або робочої температури призводять до виходу параметрів за межі допусків та появи незворотного браку продукції.

Зокрема, впровадження комбінованого способу розпилювання колод та інтеграція процесу поздовжнього калібрування в єдиний технологічний потік дозволяють суттєво підвищити корисний вихід кондиційного матеріалу радіального розкрою, проте потребують гнучкого координаційного керування суміжними транспортними системами. На основі проведеного аналізу була сформульована чітка постановка задачі проєктування, яка визначає необхідність створення комплексної мікропроцесорної системи керування. Майбутня система

має забезпечувати прецизійну стабілізацію температурних профілів у межах від 140 до 180 градусів Цельсія, автоматичне дискретне позиціонування різального інструменту на основі попереднього вимірювання ширини дощок, а також жорстку логічну синхронізацію швидкостей конвеєрних рольтангів і поперечних транспортерів. Реалізація цих завдань на базі сучасних програмованих логічних контролерів із підтримкою концепцій промислового інтернету речей є єдиним дієвим шляхом до мінімізації впливу людського фактора, зниження енергоємності виробництва та гарантування високої конкурентоспроможності кінцевого продукту в рамках концепції Індустрія 4.0.

2 ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ ТА ПОСТАВНОКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Вимоги до системи

В автоматичному режимі, задаючи необхідні параметри та установки на панелі оператора, можна реалізувати циклічну роботу всієї системи.

Конвеєрна установка призначена для переміщення дошок до рольгангів. При подачі сигналу «подача» на котушку електроклапана, ланцюговий транспортер подає дошки на поздовжній рольганг. Далі вмикається двигун, що приводить у рух ланцюг транспортера і дошка переміщується. Після досягнення місця призначення схема управління повинна подати команду на «зупинку» транспортера, і дати сигнал на включення електроприводу, який приводить у рух поздовжній рольганг і дошка рухається далі до пил. Якщо місце на рольгангу зайняте, спрацьовує автоматична «зупинка» транспортера.

Підйомний упор застосовується для затримки та пропускання дошки до пил. При сигналі «упор піднято» система блокується і двигуни транспортера та рольгангу зупинені. При подачі сигналу від схеми управління шток електроклапана опускається, упор переходить у стан «упор опущено» і електродвигун рольгангу запущений.

При досягненні опорної лінійки дошкою двох положень – «широка» «вузька» – спрацьовує електропривід рухомої пили, відводиться у крайнє ліве/праве положення.

Якщо дошка застрягає на рольгангу або розташована криво, що контролюється датчиком кутового положення, подається сигнал «зупинка» – система автоматично відключається.

Робітник вручну виправляє дошку на рольгангу. Для безпеки система після зупинки запускається вручну, щоб уникнути травмування робітника.

Така ж система безпеки передбачена при відключенні подачі живлення на верстат – система вмикається тільки вручну.

На першому етапі проєктування проводиться синтез структурно-функціональної схеми, що визначає основні підсистеми та інформаційно-енергетичні потоки між ними.

Вимоги до структури та функціонування системи АСУТП повинні відповідати ДСТУ 2226-93 Автоматизовані системи. Терміни та визначення [4]. Система повинна складатися з трьох рівнів:

– локальний рівень;

– рівень виробництва;

– верхній рівень.

На локальному рівні необхідне виконання наступних завдань:

– перетворення вимірюваних параметрів в електричний сигнал;

– управління виконавчими пристроями;

– реалізація блокувань і аварійного захисту;

– погодження сигналів від датчиків з входами в ПЗО.

При аварійних ситуаціях має спрацьовувати світлова та звукова сигналізація.

Завдання на рівні підсистемного виробництва:

– збір та обробка інформації яка надходить від технологічної системи;

– періодичне опитування датчиків стану

– прийом та передача інформації від інших систем;

– виявлення відхилень технологічних параметрів від регламентуючих значень;

– реалізація завдань програмно-логічного управління технологічним процесом.

Структурно-функціональна схема, що відображає цю декомпозицію та зв'язки для реалізації гібридного алгоритму, представлена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Структурно-функціональна схема гібридної системи керування

1. Вимоги до інформаційного забезпечення.

Для обміну інформацією в рамках розподіленої системи повинна бути створена база даних, що забезпечує доступ до даних з локальних елементів мережі. Для зручності роботи технологів-операторів з великими об'ємами різноманітної інформації і для вироблення відповідних стереотипів взаємодії з системою автоматизації інформаційне забезпечення системи повинно бути структуроване і мати ієрархічну організацію.

Повинні бути передбачені такі стандартні операційні панелі: загального огляду, мнемосхеми, групи приладів, панелі налаштування, панелі сигналів тривоги, панелі реєстрації ходу процесу (тренди). Всі категорії даних інформаційного забезпечення СПЗ (системи протиаварійного захисту) не повинні губитися при аваріях електроживлення та відмові блоків і модулів системи ПАЗ.

Всі константи, які налаштовуються, інформація прив'язки, алгоритми вирішення завдань і тексти програм повинні зберігатися на дублюючих носіях і оновлюватися при внесенні змін в систему. Для кодування інформації повинні бути використані класифікатори (коди) прийняті замовником і які відповідають вимогам однозначності, простоти і можливості розширення.

2. Вимоги до лінгвістичного забезпечення.

Зважаючи на відсутність вітчизняних нормативних документів, в якості їх прототипу необхідно використовувати розроблений Міжнародної 31 Електротехнічній Комісією (МЕК) стандарт IEC 61131-3, що регламентує повноту і синтаксис мов технологічного програмування. Все прикладне програмне забезпечення системи для організації взаємодії з користувачем повинно використовувати російську мову. Вся інформація в АСУТП повинна бути представлена у вигляді понять і визначень властивих металургійної галузі.

3. Вимоги до програмного забезпечення.

При проектуванні та розробці системи необхідно максимально ефективним чином використовувати раніше закуплене програмне забезпечення, як серверне, так і для робочих станцій. Використовуване при розробці програмне забезпечення та бібліотеки програмних кодів повинні мати широке поширення, бути загальнодоступними і використовуватися в промислових масштабах. Базовою програмною платформою повинна бути операційна система Windows XP або Windows 10. У якості показуючи приладів використовуються РМТ 29. Його робота відбувається під управління ОС Linux.

Програмування контролерів може здійснюватися за допомогою інструментальної системи програмування

4. Вимоги до технічного забезпечення.

Для забезпечення роботи системи необхідні різноманітні технічні засоби від первинних перетворювачів до ЕОМ. У даній системі використовуються різні первинні перетворювачі для виміру температури, тиску, витрати з уніфікованим вихідним сигналом по струму 0-20мА. Всі технічні засоби працюють з уніфікованими сигналами по струму і напрузі. Вимоги до метрологічного

забезпечення Клас точності приладів повинен бути не більше 3%. Усі технічні засоби повинні проходити державну повірку і регулярно обслуговуватися метрологічною службою.

Метрологічне забезпечення вимірювальних систем повинне відповідати ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення. Значення контрольованих параметрів (технологічного процесу, технологічного обладнання) повинні бути виражені відповідно до ДСТУ OIML D 2:2007 Узаконені одиниці вимірювань. Усі методики вимірювання, використовувані у сфері державного метрологічного контролю і нагляду, повинні бути атестовані. Для технічних засобів, що беруть участь в процесі вимірювання контрольованих параметрів повинні бути забезпечені відповідні умови експлуатації (температура, вологість). Повинен бути забезпечений контроль умов їх експлуатації в приміщеннях управління [5].

5. Вимоги до організаційного забезпечення.

Організаційне забезпечення АСУТП повинно бути достатнім для ефективного виконання персоналом покладених на нього обов'язків з експлуатації системи.

Організаційне забезпечення повинно включати вимоги щодо чисельності та кваліфікації персоналу АСУТП і КВПіА, інструкції по кожному виду діяльності, і точне визначення виконуваних функцій.

Замовником повинні бути визначені посадові особи, відповідальні за: -

– обробку інформації;

– адміністрування;

– забезпечення безпеки інформації;

– управління роботою персоналу з обслуговування автоматизованої системи.

До роботи з системою повинні допускатися співробітники, що мають навички роботи на персональному комп'ютері, ознайомлені з правилами експлуатації і пройшли навчання роботі з системою [6].

5. Вимоги до патентної чистоти.

Система, її складові частини і прийняті при розробці проектні рішення повинні володіти патентною чистотою відносно держави Україна.

2.2. Постановка задачі та аналіз проблеми

У сучасних високоавтоматизованих лініях з виготовлення паркетної дошки конвеєрні системи виконують критично важливу функцію синхронізації та безперервного переміщення напівфабрикатів між ключовими технологічними дільницями, включаючи процеси калібрування, шліфування, нанесення лакофарбового покриття та фінішного пакування. Попри те, що поштучна вага транспортувальних дерев'яних заготовок є відносно невеликою, реальні режими промислової експлуатації такого конвеєрного транспорту супроводжуються суттєвими та нераціональними витратами електричної енергії. Основна причина енергетичної неефективності криється у вираженій невідповідності між номінальною встановленою потужністю приводних агрегатів та їхнім фактичним механічним завантаженням у поточному часі.

Ця проблема формується під впливом двох домінуючих факторів, першим з яких є надлишкове проектування приводу. У загальноприйнятій інженерній практиці вибір трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором традиційно здійснюється зі значним запасом потужності, що диктується вимогами до уніфікації ремонтного фонду підприємства, а також необхідністю гарантованого подолання пікових моментів опору під час пуску під навантаженням або випадкових механічних заклинювань. Другим чинником є переривчастий і нерівномірний характер функціонування всього потоку, оскільки робота конвеєра жорстко прив'язана до циклограм основного обробного обладнання. У результаті виникають тривалі технологічні паузи, зумовлені очікуванням надходження нових партій деревини, переналагодженням суміжних верстатів або короткочасними аварійними зупинками лінії, під час яких привод

конвеєра продовжує безперервно функціонувати в режимі холостого ходу.

Наслідком синергії цих факторів є те, що приводний електродвигун тривалий час працює в умовах глибокого недовантаження, за якого реальний коефіцієнт використання потужності знижується до критичної позначки у двадцять-тридцять п'ять відсотків від номіналу. Робота асинхронної машини в такому режимі супроводжується стрімким падінням її коефіцієнта корисної дії та різким зниженням коефіцієнта потужності, що призводить до значного споживання надлишкової реактивної потужності, перегріву обмоток та прямих втрат активної електроенергії. З огляду на це, метою даного розділу є наукове обґрунтування, розробка та техніко-економічний аналіз комплексу заходів, спрямованих на мінімізацію загального енергоспоживання конвеєрної установки для транспортування паркетної дошки шляхом модернізації алгоритмів керування її автоматизованим електроприводом.

Для вирішення окресленої проблеми найбільш доцільним є впровадження частотно-регульованого електроприводу в поєднанні з інтелектуальним алгоритмом адаптивного енергозбереження. Сучасні перетворювачі частоти з підтримкою векторного керування дозволяють динамічно знижувати напругу на статорі двигуна при зменшенні навантаження на валу, що забезпечує оптимізацію магнітного потоку в залізі машини та підтримання максимально можливого коефіцієнта потужності навіть у режимах глибокого недовантаження. Додатково в систему автоматизації інтегрується функція старт-стопного керування на основі сигналів від оптичних датчиків наявності заготовок, що дозволяє автоматично переводити конвеєр у режим очікування або повністю зупиняти двигун під час тривалих технологічних пауз, усуваючи нераціональну роботу на холостому ходу. Впровадження такого комплексного підходу не лише мінімізує споживання активної та реактивної енергії з мережі, але й суттєво знижує динамічні удари в механічних передачах приводу під час пускових режимів, продовжуючи загальний міжремонтний ресурс обладнання.

Крім того, застосування регульованого електроприводу дає змогу реалізувати плавний запуск і контрольоване сповільнення конвеєрної стрічки,

що повністю нівелює ризик пошкодження або зміщення делікатних, щойно полакованих чи ламінованих поверхонь паркетних заготовок під час різких поштовхів. Це забезпечує додатковий синергетичний ефект, за якого оптимізація енергетичних параметрів системи безпосередньо конвертується в підвищення загальної якості готової продукції та зниження відсотка технологічного браку.

Висновки. Проведене комплексне дослідження, спрямоване на підвищення рівня енергоефективності стрічкового конвеєра в умовах переривчастого технологічного циклу лінії ламінування паркетної плитки, дозволило кількісно підтвердити та науково обґрунтувати проблему високої енергоємності базової приводної системи. Результати аналізу механічних і теплофізичних характеристик вказують на те, що потужність, яка споживається приводом у режимі холостого ходу, лише незначно менша за аналогічний показник під час транспортування номінального вантажопотоку. Зважаючи на те, що майже сорок два відсотки загального фонду робочого часу конвеєрна стрічка рухається без корисного навантаження, на підприємстві виникають значні нераціональні втрати електричної енергії. Ситуація додатково ускладнюється хронічним недовантаженням встановленого трифазного асинхронного двигуна, через що силова машина більшу частину часу функціонує в зоні вкрай низьких значень коефіцієнта корисної дії та коефіцієнта потужності.

Економічні розрахунки та зіставлення капітальних витрат переконливо довели повну інвестиційну неспроможність екстенсивного підходу, заснованого на простій заміні існуючого електродвигуна на дорожчий аналог вищого класу енергоефективності IE3. Термін окупності такого заходу, який перевищує дев'ятнадцять років, чітко вказує на те, що модернізація лише апаратної частини без зміни алгоритмів функціонування не здатна знівелювати головне джерело втрат енергії – тривалі та нерегульовані технологічні паузи.

Найбільший потенціал оптимізації та енергозбереження зосереджений безпосередньо в площині розробки адаптивних систем автоматичного керування, які гнучко синхронізують режими роботи приводного комплексу з фактичною інтенсивністю надходження паркетних заготовок.

Проведене динамічне моделювання підтвердило, що реалізація дискретного алгоритму автоматичного пуску та зупинки конвеєра за принципом «Старт-Стоп» забезпечує найвищий енергетичний ефект зі зниженням енергоспоживання майже на третину та прийнятним терміном повернення капіталовкладень тривалістю близько трьох років.

Водночас у процесі проектування було виявлено суттєве технологічне обмеження даного варіанта, яке полягає в різкому зростанні кількості прямих пусків двигуна з мережі, що спричиняє значні пускові струми, теплові перевантаження обмоток і додаткові динамічні удари в механічних передачах, суттєво знижуючи загальний міжремонтний ресурс конвеєрної установки.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1. Вихідні дані для розрахунку

В якості об'єкта дослідження обрано стрічковий конвеєр, що транспортує паркетну дошку від шліфувального до лакувального верстата.

Технічні характеристики конвеєра:

- продуктивність (за вагою), Q = 4 т/год = 1,11 кг/с;
- довжина конвеєра (горизонтальна), L = 15 м;
- висота підйому, H = 0 (конвеєр горизонтальний);
- швидкість руху стрічки, v = 0,5 м/с;
- ширина стрічки, B = 650 мм;
- маса 1 м.п. рухомих частин (стрічка, ролики), q_0 = 12 кг/м;
- коефіцієнт опору руху, μ = 0,25;
- прискорення вільного падіння, g = 9,81 м/с²;
- ККД редуктора, $\eta_{ред}$ = 0,95;
- ККД частотного перетворювача (ЧРП), $\eta_{чрп}$ = 0,97;

Циклограма роботи (усереднена за 60 хвилин):

- час роботи під навантаженням (йде партія дошки), $t_{нав}$ = 35 хв = 0,58 год;
- час роботи вхолосту (паузи між партіями), $t_{хх}$ = 15 хв = 0,25 год;
- час простою (переналагодження), $t_{простій}$ = 10 хв ≈ 0,17 год.

3.2. Розрахунок потужності приводу конвеєра

Необхідна механічна потужність на валу приводного барабана для горизонтального конвеєра:

$$P_{мех} = \left(F_т \cdot v\right) / 1000 \text{, кВт,} \qquad (3.1)$$

де $F_т$ – загальна сила опору руху, Н.

$$F_т = L \cdot g \cdot \mu \cdot \left(q_0 + q_г\right), \tag{3.2}$$

де $q_г$ – погонне навантаження від вантажу, кг/м.

$$q_г = Q / v = 1{,}11 / 0{,}5 = 2{,}22 \text{ кг/м}. \tag{3.3}$$

1. Розрахунок для режиму роботи під навантаженням:

$$F_{т_{нав}} = 15 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}25 \cdot \left(12 + 2{,}22\right) = 523 \text{ Н}.$$

$$P_{мех_{нав}} = \left(523 \cdot 0{,}5\right) / 1000 = 0{,}26 \text{ кВт}.$$

2. Розрахунок для режиму холостого ходу ($q_г$ = 0):

$$F_{т_{хх}} = 15 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}25 \cdot 12 = 441 \text{ Н}.$$

$$P_{мех_{хх}} = \left(441 \cdot 0{,}5\right) / 1000 = 0{,}22 \text{ кВт}.$$

Як видно з розрахунків, необхідна потужність дуже мала. Однак, для уніфікації та забезпечення запасу, на конвеєрі встановлено стандартний асинхронний двигун номінальною потужністю $P_{дв_{ном}}$ = 1,5 кВт (клас енергоефективності IE1).

Визначимо коефіцієнт завантаження двигуна в номінальному режимі:

$$K_з = P_{мех_{нав}} / P_{дв_{ном}} = 0{,}26 / 1{,}5 \approx 0{,}173 \text{ або } 17{,}3\%. \tag{3.4}$$

Такий критично низький коефіцієнт завантаження підтверджує, що двигун працює вкрай неефективно, з низьким ККД та cos φ.

Проведені теоретичні розрахунки необхідної механічної потужності на

валу приводного барабана чітко демонструють специфіку конвеєрного транспорту деревообробних підприємств, де переміщуваний вантаж має відносно малу питому вагу. Отримані значення для режимів роботи під номінальним навантаженням та під час холостого ходу виявляються незначними, оскільки основна частка статичного опору руху зумовлена лише силами тертя у підшипникових вузлах рольтангів та власною вагою тягового органу. Проте реалії промислового проектування та вимоги до експлуатаційної надійності диктують необхідність значного відхилення від розрахованих мінімальних параметрів при виборі реального силового агрегату.

Для забезпечення гарантованого пуску системи в умовах можливого низькотемпературного застигання мастила, подолання початкового моменту сили тертя спокою, а також задля високої уніфікації ремонтного фонду цеху, на конвеєрній установці було впроваджено стандартний трифазний асинхронний двигун загальнопромислового виконання з номінальною потужністю півтора кіловата. Ця машина належить до застарілого класу енергоефективності, що додатково погіршує загальні енергетичні показники дільниці. Обчислений на основі цих даних коефіцієнт завантаження електродвигуна виявився критично низьким, що в інженерній практиці свідчить про глибоке та хронічне недовантаження силового обладнання протягом усього робочого циклу лінії ламінування.

Такий режим експлуатації асинхронної машини супроводжується вкрай несприятливими фізичними процесами всередині самої електромагнітної структури двигуна. Коли завантаження падає значно нижче половини від номінального значення, коефіцієнт корисної дії стрімко зменшується через те, що постійні втрати в сталі на перемагнічування та механічне тертя починають домінувати над змінними втратами в мідних обмотках. Одночасно з цим відбувається катастрофічне падіння коефіцієнта потужності, оскільки споживаний з мережі струм витрачається переважно на створення реактивного магнітного поля, необхідного для функціонування машини, а не на виконання корисної механічної роботи. Ця ситуація підтверджує гостру необхідність

модернізації системи керування приводом і впровадження регульованих технологій, здатних адаптувати споживання енергії до реального моменту опору на валу конвеєра.

3.3 Моделювання сценаріїв підвищення енергоефективності

Проведемо порівняльний аналіз чотирьох сценаріїв роботи. Кількість робочих годин на рік – 4000. Споживана з мережі потужність:

$$P_{спож} = P_{мех} / \eta_{ред}. \quad (3.5)$$

Сценарій 0. Базовий варіант.

Двигун IE1 (ККД при такому завантаженні ~70%) працює безперервно.

– $P_{спож_{нав}} = 0{,}26 / (0{,}95 \cdot 0{,}70) \approx 0{,}39$ *кВт.*

– $P_{спож_{хх}} = 0{,}22 / (0{,}95 \cdot 0{,}70) \approx 0{,}33$ *кВт.*

Річне споживання:

$E_п = (0{,}39 \cdot 0{,}58 + 0{,}33 \cdot 0{,}25 + 0{,}33 * 0{,}17) * 4000 \approx 1460$ *кВт·год.*

Сценарій 1. Заміна двигуна на клас IE3.

Двигун IE3 (ККД при такому завантаженні ~75%).

_ $P_{спож_{нав}} = 0{,}26 / (0{,}95 \cdot 0{,}75) \approx 0{,}36$ *кВт.*

_ $P_{спож_{хх}} = 0{,}22 / (0{,}95 \cdot 0{,}75) \approx 0{,}31$ *кВт.*

Річне споживання:

$E_1 = (0{,}36 \cdot 0{,}58 + 0{,}31 \cdot 0{,}25 + 0{,}31 \cdot 0{,}17) \cdot 4000 \approx 1356$ *кВт·год.*

Сценарій 2. Встановлення ЧРП

ЧРП знижує швидкість в режимі холостого ходу до $v_{хх}$ = 0,15 м/с (30% від номіналу).

$$P_{мех_{хх\,чрп}} = 0{,}22 \cdot 0{,}30 = 0{,}066\ кВт.$$

$$P_{спож_{хх}} = 0{,}066 / (0{,}95 \cdot 0{,}97) \approx 0{,}07\ кВт.$$

Річне споживання:

$$E_2 = (0{,}39 \cdot 0{,}58 + 0{,}07 \cdot 0{,}25 + 0{,}07 \cdot 0{,}17) \cdot 4000 \approx 1024\ кВт{\cdot}год.$$

Сценарій 3. Система «Старт-Стоп».

Привід повністю вимикається в режимах холостого ходу та простою.

$$P_{спож_{хх}} = 0\ кВт;$$

$$P_{спож_{прост}} = 0\ кВт.$$

Річне споживання:

$$E_3 = (0{,}39 \cdot 0{,}58) \cdot 4000 \approx 905\ кВт{\cdot}год.$$

3.4 Динамічне моделювання режимів роботи конвеєра

Для більш глибокого аналізу та візуалізації принципів роботи запропонованих сценаріїв модернізації було проведено динамічне моделювання споживаної потужності в часі.

Мета моделювання – отримати графіки, що відображають миттєву потужність приводу конвеєра протягом декількох робочих циклів.

Така візуалізація дозволяє наочно порівняти, як кожна система керування реагує на зміни у вантажопотоці (наявність або відсутність паркетної дошки на стрічці) та технологічні паузи. Моделювання було виконано в середовищі MATLAB, використовуючи параметри та циклограму роботи.

Модель симулює роботу конвеєра протягом 120 хвилин (два повних 60 – хвилинних цикли) та будує відповідні графіки залежності «Потужність (кВт) – Час (хв)».

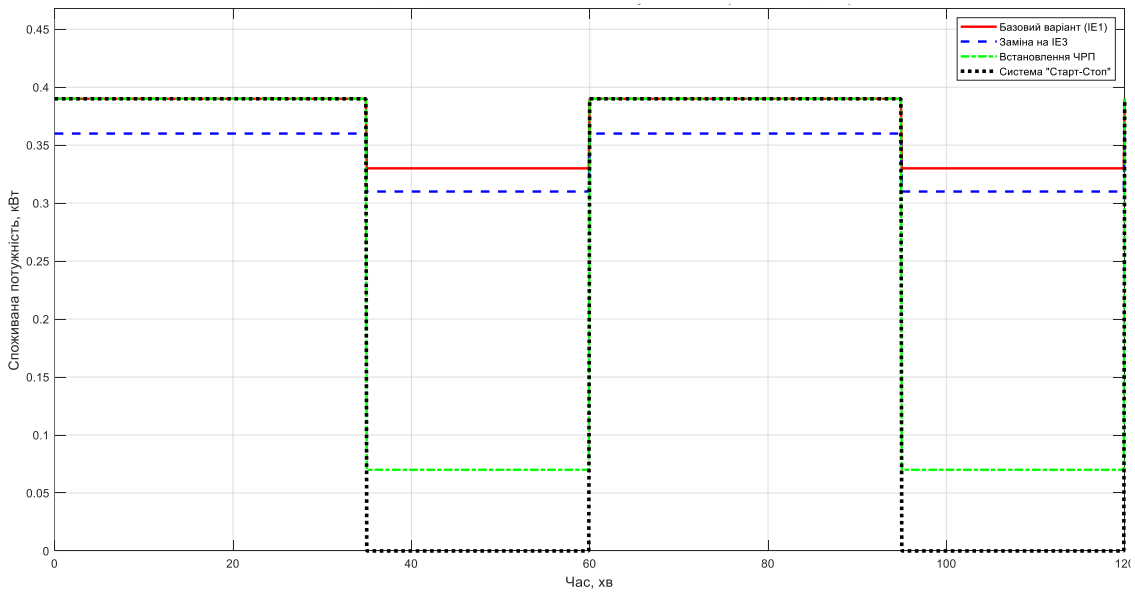


Рисунок 3.1 – Модель динаміки споживаної потужності за різними сценаріями

Наданий графік (рис. 3.1) наочно демонструє динаміку споживаної потужності для кожного сценарію модернізації, візуалізуючи принципову різницю в їхній реакції на зміни режиму роботи. Чітко простежуються дві фази: робота під навантаженням (перші 35 хвилин кожного 60-хвилинного циклу) та робота вхолосту або простій (наступні 25 хвилин). Саме в другій фазі розкривається ефективність запропонованих рішень.

Аналіз поведінки базового варіанту (червона лінія) та сценарію із заміною двигуна на клас IE3 (синя лінія) виявляє їхню принципову неефективність. Після зникнення вантажу обидві системи продовжують працювати, споживаючи значну потужність (0,31-0,33 кВт) лише для переміщення самої стрічки. Цей графік наочно показує, як марно витрачається енергія протягом майже половини робочого часу, підтверджуючи актуальність проблеми.

Кардинально іншу поведінку демонструють сценарії з інтелектуальним керуванням. Система з частотно-регульованим приводом (зелена лінія) миттєво реагує на зникнення вантажу, різко знижуючи споживання до мінімального рівня 0,07 кВт за рахунок зменшення швидкості. Найбільш ефективний підхід показує система «Старт-Стоп» (чорна лінія), яка повністю вимикає привід, зводячи

енергоспоживання до нуля. Таким чином, візуальний аналіз динамічної моделі беззаперечно доводить, що найбільший потенціал енергозбереження полягає не в заміні компонентів, а в оптимізації самої системи керування режимом роботи конвеєра.

3.5 Розробка та моделювання гібридного алгоритму керування

Аналіз базових сценаріїв показав, що система «Старт-Стоп» є найбільш економічною, а система з ЧРП – найбільш «м'якою» до механічної частини обладнання. Проте кожна з них має свої недоліки: часті пуски в системі «Старт-Стоп» можуть призвести до зносу обладнання при коротких паузах, а ЧРП продовжує споживати енергію під час довгих простоїв.

Для усунення цих недоліків було розроблено гібридний алгоритм керування, що поєднує переваги обох систем. Його логіка роботи полягає в наступному:

1. При зникненні вантажу на конвеєрі (сигнал від датчика) система негайно знижує швидкість приводу до мінімального рівня (наприклад, 30%), забезпечуючи миттєву економію енергії.

2. Одночасно запускається таймер очікування (наприклад, на 60 секунд).

3. Якщо протягом цього часу на конвеєрі з'являється новий вантаж, швидкість миттєво повертається до номінальної. Це дозволяє уникнути циклу "зупинка-пуск" під час коротких технологічних пауз.

4. Якщо таймер завершив відлік, а вантаж так і не з'явився, система робить висновок, що розпочався тривалий простій (переналагодження, кінець зміни), і повністю вимикає привід.

Розрахунок енергоспоживання для гібридного сценарію**.** Приймемо, що короткі паузи між партіями (15 хв) обробляються в режимі ЧРП, а довгий простій (10 хв) – в режимі «Старт-Стоп».

- споживання під час навантаження (35 хв): 0,39 кВт;

– споживання під час коротких пауз (15 хв): 0,07 кВт (як у ЧРП);

– споживання під час довгого простою (10 хв): 0 кВт (як у «Старт-Стоп»).

Річне споживання:

$$E_4 = (0{,}39 \cdot 0{,}58 + 0{,}07 \cdot 0{,}25 + 0 \cdot 0{,}17) \cdot 4000 \approx 974 \text{ кВт·год.}$$

Річна економія коштів:

$$(1460 - 974) \cdot 6.0 = 2916 \text{ грн.}$$

Капіталовкладення: приймаються як для ЧРП, оскільки логіка реалізується на його базі – 22 000 грн.

Термін окупності: 22 000 / 2916 ≈ 7,5 років.

3.6. Апаратна реалізація системи автоматизації

Практична реалізація найбільш економічно доцільної системи «Старт-Стоп», а також більш досконалого гібридного алгоритму, вимагає встановлення додаткових апаратних засобів. Структуру системи можна описати за допомогою функціональної схеми (рис. 3.2).

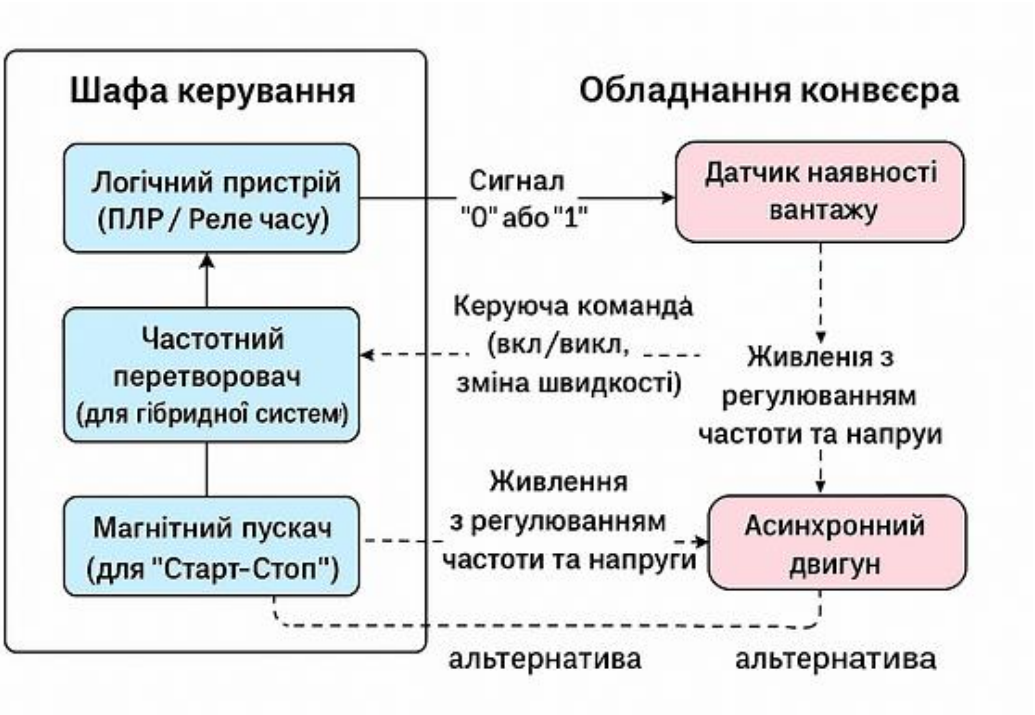


Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи автоматичного керування

Основні компоненти системи:

1. Датчик наявності вантажу**.** Для детектування непрозорих об'єктів, як-от паркетна дошка, оптимальним є використання оптичного датчика. Найбільш надійним рішенням є дифузійний датчик з відбиттям від об'єкта (наприклад, Sick VTF18) або датчик з рефлектором, що встановлюється на протилежному боці конвеєра. Датчик подає логічний сигнал («1» – є вантаж, «0» – немає вантажу) на пристрій керування.

2. Логічний пристрій (контролер). Це «мозок» системи, що реалізує логіку «Старт-Стоп» або гібридний алгоритм.

3. Для простої системи «Старт-Стоп»: достатньо використати реле часу із затримкою на вимкнення.

4. Для гібридного алгоритму: необхідне програмоване логічне реле (ПЛР), наприклад, Siemens LOGO! або Schneider Electric Zelio Logic. Цей пристрій дозволяє гнучко налаштовувати таймери та реалізовувати будь-яку логіку керування**,** включаючи взаємодію з частотним перетворювачем.

5. Виконавчий пристрій.

– для системи «Старт-Стоп»: магнітний пускач (контактор) відповідного номіналу, що буде комутувати живлення двигуна за командою від логічного пристрою.

– для гібридної системи: частотно-регульований привод (ЧРП). Керування швидкістю та повна зупинка двигуна реалізуються за допомогою команд, що подаються від ПЛР на керуючі входи ЧРП.

3.7 Аналіз впливу циклограми роботи та надійності

Економічна ефективність запропонованих рішень прямо залежить від режиму роботи конвеєра, а їх впровадження по-різному впливає на надійність та ресурс обладнання.

Аналіз чутливості до циклограми.

Ефективність систем автоматизації тим вища, чим більшу частку часу обладнання працює вхолосту. Розглянемо два крайні випадки для системи «Старт-Стоп»:

1. Випадок А (майже безперервна робота). Навантаження 50 хв/год (83%), простій 10 хв/год (17%). Річна економія складе лише 1090 грн, а термін окупності зросте до 9,2 років.

2. Випадок Б (сильно переривчастий режим). Навантаження 20 хв/год (33%), простій 40 хв/год (67%). Річна економія зросте до 6070 грн, а термін окупності скоротиться до 1,65 року.

Це доводить, що перед впровадженням подібних систем необхідно проводити ретельний хронометраж роботи обладнання.

Аналіз впливу на ресурс обладнання:

– Система «Старт-Стоп». Головний недолік – збільшення кількості пускових циклів. Прямий пуск асинхронного двигуна супроводжується значними пусковими струмами та динамічними ударами. Це призводить до прискореного зносу контактів пускача, підшипників двигуна, редуктора та самої конвеєрної стрічки.

– Системи з ЧРП (включаючи гібридну). Мають ключову перевагу – плавний пуск та зупинка. ЧРП дозволяє розганяти та гальмувати двигун за заданою рампою, що майже повністю усуває динамічні удари. Це значно подовжує термін служби механічної частини конвеєра та є важливим фактором надійності, який неможливо оцінити в простому економічному розрахунку.

3.8. Моделювання динаміки технологічних параметрів (швидкості та продуктивності)

Окрім аналізу енергетичних характеристик, для повного розуміння роботи системи важливо змоделювати, як змінюються в часі ключові технологічні

параметри: швидкість руху стрічки (v) та миттєва продуктивність конвеєра (q). Продуктивність в даному контексті – це маса вантажу, що проходить через поперечний переріз конвеєра за одиницю часу (кг/с).

Моделювання цих параметрів дозволяє візуалізувати, як саме кожна система керування впливає на фізичний процес транспортування. Наприклад, чи зупиняється рух повністю? Як це співвідноситься з періодами, коли корисний вантаж відсутній? Для відповіді на ці питання було доопрацьовано динамічну модель в середовищі MATLAB. Модель симулює роботу конвеєра протягом 120 хвилин, відстежуючи швидкість стрічки та наявність на ній вантажу.

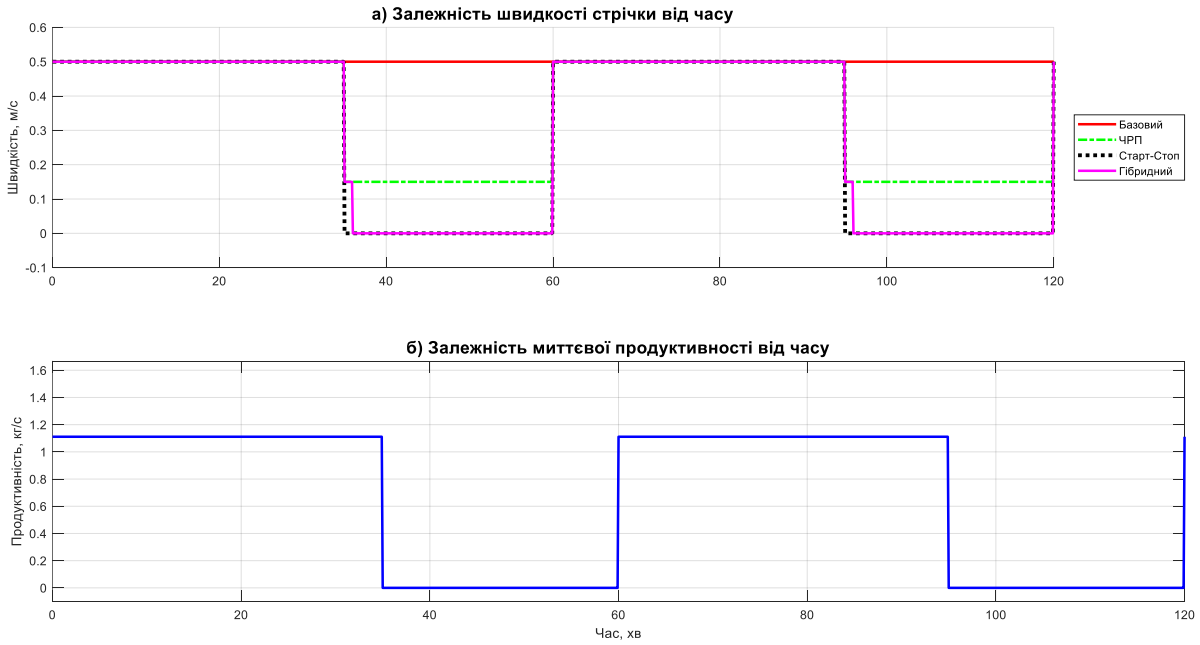


Рисунок 3.3 – Динаміка технологічних параметрів

Представлені графіки (рис. 3.3) забезпечують візуалізацію динамічної взаємодії між технологічним процесом та реакцією системи керування приводом. Вони дозволяють провести якісний аналіз ефективності різних стратегій керування шляхом порівняння часових профілів ключових параметрів: миттєвої продуктивності, що є вхідним збуренням для системи, та швидкості руху стрічки, що є керованим параметром.

Графік миттєвої продуктивності (рис. 3.3, б) кількісно характеризує переривчастий характер технологічного процесу. Він являє собою дискретний сигнал, що чергує фази номінального завантаження ($Q \approx 1{,}1$ кг/с) та фази повного простою ($Q = 0$ кг/с). Ця нерівномірність вантажопотоку є фундаментальною причиною неефективності базової системи, оскільки створює тривалі періоди, протягом яких механічна робота з переміщення корисного вантажу не виконується. Цей графік можна інтерпретувати як функцію технологічної потреби, на яку система керування повинна адекватно реагувати.

Графік залежності швидкості (рис. 3.3, а) демонструє ступінь асинхронності між роботою приводу та реальною технологічною потребою. Базовий сценарій (червона лінія) є прикладом статичної, неадаптивної системи керування, де швидкість залишається інваріантною незалежно від вантажопотоку. Це призводить до значної дисипації енергії під час фаз з нульовою продуктивністю. На противагу цьому, сценарії з ЧРП, «Старт-Стоп» та гібридний є прикладами адаптивних систем. Вони прагнуть синхронізувати стан приводу (його швидкість) з реальною потребою, мінімізуючи або повністю усуваючи рух у періоди простою. Найбільшу ступінь синхронізації демонструють системи «Старт-Стоп» та гібридна, які реалізують логіку $v = 0$ при $Q = 0$, що є оптимальною стратегією з точки зору мінімізації енергоспоживання в даному контексті.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що найбільший техніко-економічний ефект досягається шляхом впровадження адаптивної системи керування, що реалізує гібридний алгоритм. Даний розділ присвячено задачам синтезу схемотехнічного рішення для практичної імплементації розробленого алгоритму, включаючи обґрунтування вибору апаратної бази та розробку принципових схемних рішень.

Висновки. У розділі було виконано комплекс інженерно-дослідних робіт, пов'язаних із динамічним моделюванням, ідентифікацією та розробкою систем автоматичного керування стрічковим конвеєром лінії ламінування паркетної плитки. На основі отриманих результатів симуляції в середовищі MATLAB,

аналізу схемотехнічних рішень та оцінки експлуатаційної надійності сформульовано такі науково-практичні висновки

Побудована комп'ютерна модель дозволила з високою точністю візуалізувати часові профілі миттєвої потужності привода протягом декількох послідовних технологічних циклів. Отримані графіки підтвердили неефективність базового варіанта та сценарію із заміною двигуна на клас IE3, оскільки в періоди відсутності вантажопотоку обидві системи продовжують безпродуктивно споживати енергію на рівні понад тридцять відсотків від номіналу. Протилежну динаміку продемонстрували адаптивні стратегії, де впровадження частотного регулювання забезпечило зниження споживання під час пауз до мінімального рівня, а алгоритм повної зупинки мінімізував потужність до нульової позначки.

Обґрунтування та синтез гібридного алгоритму керування. З метою нівелювання індивідуальних недоліків базових систем автоматизації – зокрема, прискореного зносу комутаційної апаратури та обмоток двигуна через часті прямі пуски в контурі «Старт-Стоп» та невиправданих втрат енергії частотним перетворювачем під час тривалих зупинок – було синтезовано комбіновану стратегію керування.

Логіка розробленого гібридного алгоритму базується на інтервальному дворівневому демпфуванні: при зникненні заготовки з лінії перетворювач частоти негайно знижує оберти двигуна до глибокого мінімуму, а інтегрований програмний таймер здійснює часову витримку тривалістю шістдесят секунд. Це дозволяє безконтактно відпрацьовувати короткі паузи без перевантаження електрообладнання, і лише у випадку затяжного простою виконувати повне безпечне знеструмлення обмоток.

Визначено оптимальний склад технічних засобів автоматизації для практичної імплементації розробленого гібридного закону керування. Вхідну інформаційну базу сформовано на основі безконтактних оптичних датчиків дифузійного або рефлекторного типу, які забезпечують надійну реєстрацію факту присутності паркетних дощок.

Аналіз чутливості до параметрів надійності та технологічного потоку. Дослідження динаміки взаємодії керованих параметрів швидкості та вхідного збурення у вигляді миттєвої продуктивності довело, що максимальна інвестиційна привабливість автоматизації досягається на лініях із вираженим переривчастим і нерівномірним характером завантаження. Розрахунки чутливості підтвердили, що за умови збільшення частки холостого ходу термін окупності капіталовкладень скорочується майже в п'ять разів.

4. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РОБОТИ ДВИГУНА

4.1 Загальна структура програмно-технічного комплекса засобів автоматизації

Метою розробки програмно-технічного комплексу є створення сучасної, високоефективної, автоматизованої системи управління технологічним процесом ламінування, що забезпечується за рахунок реалізації новітніх технологічних і технічних рішень за допомогою використання сучасних, надійних технічних засобів автоматизації, виконаних на базі мікропроцесорної техніки.

Структура системи управління.

Середній рівень системи управління рухом:

– шафи технологічних захистів (2 шт.);

– шафи управління (2 шт.);

– серверна шафа середнього рівня в складі сервера середнього рівня і комунікаційного управління;

Нижній рівень системи управління:

– засоби вимірювання нижнього рівня (КВПіА);

Технічні засоби для розміщення КВПіА:

– щит КВПіА;

– пульт оператора;

– пульт ручного управління.

Внутрісистемні лінії зв'язку (відповідно до специфікації).

Структура середнього рівню системи управління рухом на лінії ламінування.

Контролер управління.

Контролер управління забезпечує:

а) прийом сигналів:

– з нижнього рівня (сигнали значень технологічних параметрів, сигнали положення арматури);

– з пульта управління (команди дистанційного управління й команди управління режимами роботи регулюючих арматур, команди управління режимами роботи ПІД-регуляторів, паспорти технологічних параметрів, уставки регуляторів);

б) обробку прийнятих сигналів – виконання алгоритмів:

– автоматичних регуляторів;

– стандартних алгоритмів;

– алгоритмів діагностики.

в) видачу сформованих сигналів управління на виконавчі механізми регулюючих арматур.

д) додатково контролер забезпечує прийом інформації із теплолічильників, її обробку і передачу даної інформації на інші вузли системи.

Пристрій технологічних захистів.

Пристрій технологічних захистів забезпечує:

а) прийом сигналів:

– з нижнього рівня (сигнали значень технологічних параметрів, сигнали положення арматури);

– з контролерів управління (сигнали значень технологічних параметрів, сигнали положення арматури, сигнали від приладив теплолічильників;

– з пульта управління (команди дистанційного управління арматурами, команди управління режимами роботи технологічних регуляторів, режимами роботи системи управління котла, команди управління алгоритмами технологічного контролю й програмно-логічного управління, паспорта технологічних параметрів, уставки алгоритмів технологічних захистів і блокувань);

– із сервера системи управління (інформацію системи єдиного часу).

б) обробку прийнятих сигналів - виконання алгоритмів:

– технологічних захистів;

– технологічних блокувань;

– технологічного контролю;

– програмно-логічного управління;

– стандартних алгоритмів;

– алгоритмів діагностики;

в) формування попереджувальної та аварійної звукової і світлової сигналізації;

г) видачу сформованих сигналів управління на виконавчі механізми запірної та запірно-відсічної арматур;

д) передачу значень технологічних параметрів, інформацію про стан арматур, стан технологічних захистів і блокувань, ретрансляцію команд управління режимами роботи технологічних регуляторів (у контролери управління), інформацію про хід виконання алгоритмів технологічного контролю та програмно-логічного управління, інформацію про останню аварію, результатів діагностики на:

– сервери системи управління;

– пульт оператора;

– контролер управління.

4.2 Структурна схема розробленої САУ

Центральною частиною системи управління є контролер Siemens S7-1200 та логічне реле LOGO. В основу принципу роботи електронного селектора покладено метод тактового опитування всіх пристроїв (датчиків), що контролюють положення та наявність дошки, усіх кнопок виклику і командних постів. До пристроїв, які контролюють положення дошки, відносяться датчики наявності дошки на транспортері та рольганзі, датчик положення упора, датчик

положення дошки на рольганзі. Датчики встановлені на конвеєрній лінії станка. Датчик, який контролює наявність живлення в системі, встановлений на щиті оператора. Датчики взаємодіють із шунтами, розташованими на лінії.

Структурна схема САУ наведена на рисунку 4.1.

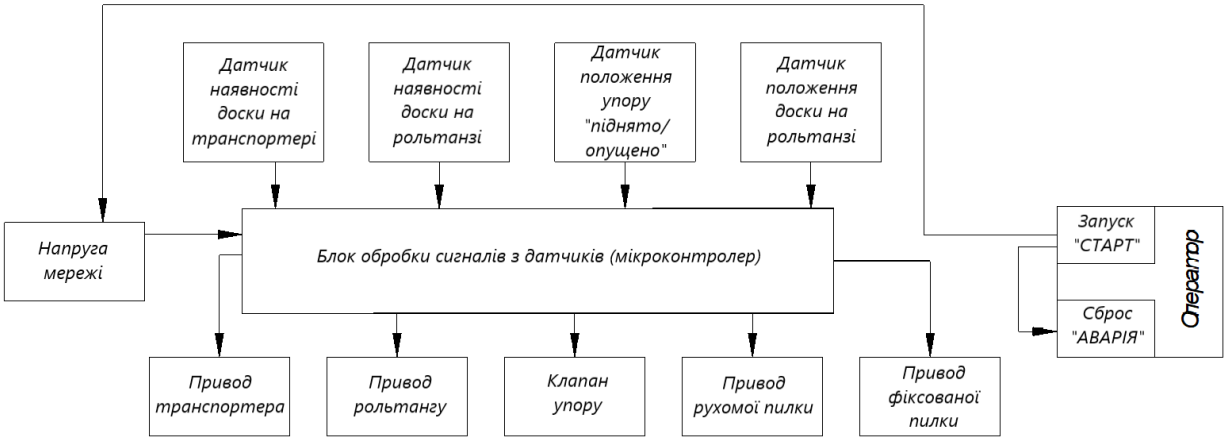


Рисунок 4.1 – Структурна схема САУ

Контролер за допомогою програми, записаної у запам’ятовуючому пристрої, організовує цикл із певної кількості тактових імпульсів, достатньої для опитування всіх датчиків і кнопок виклику та команди.

Послідовність опитування пристроїв – строго визначена.

Контролер чітко фіксує номер імпульсу, який він посилає.

За кожним номером імпульсу закріплено одне конкретне пристрій, тому контролер «знає», яке пристрій у цей момент опитує. Для виділення при дії тактового імпульсу опитування сигналу від відповідного опитуваного пристрою використовуються мультиплексори (у блоці управління їх декілька для обслуговування потрібної кількості опитуваних пристроїв). При цьому на інформаційні виходи підключені виходи опитуваних пристроїв, а поява на виході одного із цих сигналів визначається подаванням на адресні входи трирозрядного двійкового коду.

Розглянемо послідовність дії блока в момент увімкнення станка. Після увімкнення, яке виконується оператором з пульта керування кнопкою «СТАРТ»,

передусім у контролер вводиться число опитуваних датчиків.

Вибір апаратних компонентів здійснюється на основі розрахованих параметрів, умов експлуатації та вимог до реалізованого алгоритму.

1. Пристрій керування (K1). Для реалізації гібридного алгоритму, що включає логічні операції та часові затримки, вибір програмованого логічного реле (ПЛР) є оптимальним. На відміну від простих реле часу, ПЛР забезпечує необхідну гнучкість, а на відміну від повноцінних програмованих логічних контролерів (ПЛК), воно є більш економічно доцільним для задач з малою кількістю входів/виходів. Обрана модель повинна мати не менше 3 дискретних входів (Пуск, Стоп, Датчик) та 2 дискретних виходів (Пуск/Зупинка, Вибір швидкості).

2. Перетворювач частоти (U1). ЧРП є центральним виконавчим елементом. Його застосування обґрунтовано необхідністю реалізації двошвидкісного режиму роботи та забезпечення плавного розгону/гальмування двигуна, що мінімізує динамічні навантаження та пускові струми. Модель обирається за номінальною потужністю двигуна (1,5 кВт) та напругою мережі живлення (3~380В). Сучасні ЧРП також мають вбудовані функції захисту двигуна, що підвищує загальну надійність системи.

3. Датчик наявності об'єкта (B1). Враховуючи характер вантажу (паркетна дошка – твердий, непрозорий об'єкт), найбільш доцільним є застосування оптичного датчика дифузійного типу. Даний тип сенсора є безконтактним, не потребує встановлення додаткового рефлектора та забезпечує надійне детектування на невеликих відстанях, характерних для конвеєрної стрічки. Вихідний сигнал (PNP/NPN) повинен бути узгоджений з типом входів ПЛР.

4. Апаратура захисту та комутації (QF1). Для захисту силових кіл від надструмів короткого замикання та перевантаження застосовується стандартний автоматичний вимикач з комбінованим розчеплювачем. Номінальний струм та характеристика відключення (крива «C») обираються відповідно до потужності двигуна та рекомендацій виробника ЧРП.

4.3 Вибір та обґрунтування технічних засобів САУ

Для практичної реалізації розробленого гібридного алгоритму керування конвеєрною установкою лінії ламінування та обрізання паркетної плитки необхідно застосувати сучасний комплекс програмно-апаратних засобів. Нова архітектура системи автоматизації будується на базі мікропроцесорного контролера та регульованого електропривода, що дозволяє повністю відмовитися від застарілих аналогових реєстраторів, стрілочних приладів та дискретних реле часу. Усі таймери, логічні блоки та функції архівації реалізуються програмним шляхом, забезпечуючи відповідність дільниці концепції «Індустрія 4.0».

1. Програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC).



Рисунок 4.2 – Програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200

Промисловий контролер нового покоління є центральним обчислювальним вузлом системи. Він здійснює опитування периферійних давачів, обробляє логічні та аналогові сигнали в режимі реального часу і формує команди керування для виконавчих механізмів.

Об'єм робочої пам'яті: 125 Кбайт для програм та даних.

Конфігурація каналів: 14 дискретних входів (=24 В), 10 дискретних виходів (=24 В / транзисторні), 2 аналогових входи (0–10 В).

Комунікаційні можливості: інтегрований інтерфейс PROFINET (Ethernet) для вертикальної інтеграції в SCADA/MES-системи підприємства.

Час виконання логічної команди: Не більше 0,8 мкс, що гарантує високу детермінованість та миттєвий відгук на зміну вантажопотоку.

2. Сенсорна панель оператора Siemens SIMATIC HMI KTP700 Basic.



Рисунок 4.3 – Сенсорна панель оператора Siemens SIMATIC HMI KTP700 Basic

Сучасний засіб людино-машинного інтерфейсу, призначений для заміни застарілих реєструвальних приладів серії КСУ та стрілочних амперметрів. Панель забезпечує графічне відображення ходу технологічного процесу, моніторинг швидкості конвеєра, облік продуктивності лінії та архівацію аварійних подій.

Дисплей: 7-дюймовий широкоформатний TFT-екран, 65 536 кольорів.

Роздільна здатність: 800×480 пікселів.

Тип керування: Сенсорне (резистивне) та за допомогою 8 функціональних клавіш.

Ступінь захисту: IP65 з фронтального боку, що дозволяє експлуатацію в умовах запиленості деревообробного цеху.

Силове обладнання та виконавчі механізми.

3. Перетворювач частоти Siemens SINAMICS G120C (0,55 кВт)



Рисунок 4.4 – Перетворювач частоти Siemens SINAMICS G120C

Силовий виконавчий пристрій, призначений для безконтактного частотного регулювання швидкості обертання приводного асинхронного двигуна. Він реалізує гібридний закон керування, забезпечуючи плавний пуск за заданою рампою, зниження частоти під час коротких пауз та повну зупинку при тривалому простої.

Номінальна потужність: 0,55 кВт (із запасом під встановлений двигун 1,5 кВт в режимі недовантаження або для оптимізованого мотор-редуктора).

Векторне керування без датчика (SLVC) для підтримання стабільного моменту на низьких обертах.

Функція безпечного вимкнення моменту (STO), вбудований ПІД-регулятор, підтримка протоколу PROFINET.

Перевантажувальна здатність: 150% від номінального струму протягом 3 секунд.

4. Автоматичний вимикач захисту двигуна Siemens SIRIUS 3RV2011.

Компактний апарат захисту, що поєднує в собі функції запобіжника та теплового реле. Призначений для захисту кола живлення частотного перетворювача та електродвигуна від струмів короткого замикання, тривалих

струмових перевантажень та асиметрії фаз.



Рисунок 4.5 – Автоматичний вимикач захисту двигуна Siemens SIRIUS 3RV2011

Регульована уставка теплового розчіплювача в діапазоні 3,5 – 5 А (залежно від струму двигуна).

Струм відсічки (електромагнітний): $13I_n$, миттєве спрацьовування при КЗ.

Гранична вимикальна здатність: 100 кА при напрузі 400 В.

Інформаційно-вимірювальні засоби (давачі).

5. Оптичний фотоелектричний давач Omron E3Z-LR86.



Рисунок 4.6 – Оптичний фотоелектричний давач Omron E3Z-LR86

Високоточний лазерний давач відбиття від рефлектора, призначений для безконтактного детектування наявності паркетних заготовок на конвеєрній стрічці. Сигнал із давача слугує базовим вхідним імпульсом для запуску таймера очікування в гібридному алгоритмі.

Джерело випромінювання: червоний лазерний діод (довжина хвилі 655 нм.

Відстань спрацьовування: до 15 м при використанні стандартного рефлектора.

Час відгуку: не більше 1 мс.

Тип виходу: PNP, з можливістю перемикання режимів роботи на світло / на темно.

Ступінь захисту: гіперзахищений корпус IP67/IP69K, стійкий до дрібного деревного пилу та вологи.

6. Ультразвуковий давач відстані Telemecanique XX518A3PAM12 (Schneider Electric).



Рисунок 4.7 – Ультразвуковий давач відстані Telemecanique XX518A3PAM12

Призначений для безконтактного високоточного вимірювання ширини дошки на підході до обрізного верстата. На основі його аналогових чи дискретних даних контролер автоматично визначає групу виробу (широка/вузька) та позиціонує рухому пилу.

Конструктивне виконання: циліндричний пластиковий корпус M18-1, довжина 79 мм.

Діапазон вимірювання: від 0,051 м до 0,1.

7. Інкрементальний енкодер Omron E6C2-CWZ6C.



Рисунок 4.8 – Інкрементальний енкодер Omron E6C2-CWZ6C

Оптичний давач кутового положення, який з'єднується з валом приводного барабана конвеєра. Призначений для точного вимірювання поточної лінійної швидкості стрічки та передачі високочастотних імпульсів на швидкісні лічильники контролера S7-1200.

Напруга живлення: 5-24 В постійного струму.

Роздільна здатність: 1000 імп./об (забезпечує прецизійний контроль швидкості).

Вихідна конфігурація: NPN з відкритим колектором.

Гранична частота відгуку: 100 кГц.

8. Кнопкові пости керування Schneider Electric Harmony XB4.



Рисунок 4.9 – Кнопкові пости керування Schneider Electric Harmony XB4

Застосовуються для реалізації контурів ручного дистанційного керування лінією, оперативного пуску, тестування привода та аварійної зупинки.

Пост аварійної зупинки: Кнопка грибоподібної форми із фіксацією та червоним підсвічуванням, контакти 2NC.

Пост ручного пуску/зупинки: двокнопковий блок (зелена/червона) із пружинним поверненням.

Номінальний струм контактів: 10 А при напрузі до 600 В змінного струму.

Впровадження сучасного комплексу обладнання дозволило повністю виключити із системи застарілі та нефункціональні елементи. Специфікація апаратної бази зведена у єдину відомість в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Специфікація апаратної бази зведена у єдину відомість

Поз. позначення	Найменування та технічна характеристика	Марка, тип, виробник	Кіл.	Примітка
QF1	Автоматичний вимикач захисту двигуна, 3P, I_n = 4,5 А, крива C	Siemens SIRIUS 3RV2011-1EA10	1	Захист силового кола живлення ЧРП
U1	Перетворювач частоти трифазний, P=0,55 кВт, $U_{вх}$=3~400 В	Siemens SINAMICS G120C (6SL3210-1KE11-8AF1)	1	Частотне регулювання швидкісних режимів
K1	Програмоване логічне реле, живлення =24 В, 8 діодних входів / 4 релейних виходи	Siemens LOGO! 24CE (6ED1052-1CC08-0BA0)	1	Реалізація логіки та таймерів алгоритму
PS1	Імпульсний стабілізований блок живлення, вихід =24 В DC, струм 1,3 А	Siemens LOGO! Power (6EP3331-6SB00-0AY0)	1	Живлення контролера та кіл керування
M1	Трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, P=1,5 кВт	AIP80B4	1	Приводний електродвигун конвеєра
B1	Оптичний лазерний датчик дифузійного	Omron E3FA-DP11	1	Реєстрація присутності паркетної дошки

	типу, PNP-вихід, дальність до 300 мм			
SB1	Кнопковий пост «СТОП» грибоподібний, з фіксацією, контакти 1NC	Schneider Electric Harmony XB4BS8442	1	Аварійна зупинка конвеєра
SB2	Кнопка «ПУСК» циліндрична, без фіксації, зелена, контакти 1NO	Schneider Electric Harmony XB4BA31	1	Ручний запуск технологічного циклу

Запропонований комплект обладнання є серійним, має високі показники напрацювання на відмову (понад 100000\ годин для ПЛК та ЧРП) та забезпечує повну автоматизацію дільниці з можливістю подальшої цифрової модернізації.

4.4 Функціональна схема автоматизації управління

Функціональна схема систем автоматизації технологічних процесів є основним технічним документом, що визначають структуру і характер систем автоматизації технологічних процесів, а також оснащення їх приладами й засобами автоматизації. На функціональній схемі надано спрощене зображення агрегатів, що підлягають автоматизації, а також приладів, засобів автоматизації і керування, зображуваних умовними позначками за діючими стандартами, а також лінії зв'язку між ними.

Принципи управління по кожному технологічному параметру визначаються по статичним і динамічним характеристикам об’єкта управління.

Функціональна схема автоматизації – це ключовий документ, який визначає функціональну та блокову структуру окремих вузлів автоматичного контролю, керування і регулювання технологічного процесу, а також обладнання об’єкта управління приладами і засобами автоматизації. У цьому документі використовуються умовні позначення для показу основного технологічного

обладнання, комунікацій потоків рідин, газів і пари, а також приладів і засобів автоматизації. Зображення технологічного обладнання на функціональній схемі автоматизації повинно відповідати його реальній конфігурації, воно зображується спрощено, без масштабу і додаткових конструкцій.

У функціональних схемах автоматизації інформація про контрольовані параметри і тип обробки представлена умовними позначеннями з послідовністю літерних позначень, розміщених в них (або поруч).

Групи приладів, які виконують єдину задачу, об'єднуються в контури контролю/регулювання, які на схемі з'єднані безперервними лініями. Всі первинні і вторинні прилади позначаються округлою формою. Ця форма може бути розділена горизонтальним діаметром, що вказує на установку приладу на щиті (місцевому або центральному). Передачу даних з приладу (датчика) вказує буквене позначення.

Вище і нижче діаметра наноситься буквено-цифрова інформація. Для полегшення читання схеми розриви в безперервних лініях для контурів маркується адресним числовим методом.

Основні літерні позначення вимірюваних величин та функціональних ознак приладів наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Основні літерні позначення вимірюваних величин та функціональних ознак приладів

№	Позначення	Найменування
1	LIC	Вимірювання рівня, що показує прилад, автоматичного регулювання
2	KICH	Виконання тимчасової програми, автоматичне/ручне регулювання
3	WE	Прилад, що вимірює масу, електрична величина
4	TIC	Вимірювання температури, що показує прилад, автоматичного регулювання
5	TIRC	Вимірювання температури, що показує реєструючий прилад, автоматичне регулювання
6	MIRCA	Вимірювання вологості, що показує реєструючий прилад із сигналізацією

7	FIKC	Вимірювання витрати, що показує прилад, з тимчасовою програмою, автоматичного регулювання
8	GE	Вимірювання переміщення, електрична величина
9	PIC	Вимірювання тиску, що показує прилад, автоматичне регулювання
10	SB	Кнопки місцевого управління
11	NS	Станція управління електроприводом

Автоматизоване управління лінією ламінування здійснюється на основі управління механізмами та окремими об'єктами лінії приладами за місцем у вигляді кінцевих, командних датчиків та вторинних приладів, а саме.

Вимірювання та автоматичне регулювання рівня тирси в циклоні 1 за допомогою приладу за місцем поз.1, а потім в бункер 2, рівнеміром поз. 2.

Вимірювання вологості в сушарці барабанного типу 3, за допомогою реєструючого приладу з вбудованою системою сигналізування відхилення показників від заданих технологічним процесом поз. 3. У сушарці також необхідно контролювати температурні показники за допомогою показуючого приладу, встановленого за місцем з реєстрацією показників поз. 4.

Регулювання вологості та температури в сушарці регулюється керуванням подачі суміші палива та повітря трубопроводом, тиск у ньому регулюється датчиком, а подача палива та повітря за допомогою запірних клапанів, які управляються автоматично та вручну.

Регулювання витрати повітря в сушильній камері по відношенню до палива вторинним приладом та регулювання (поз. 5), а також виконавчого механізму поз. 5в, 6в.

З сушарки сухі відходи проходять в металошукач 4, його система автоматизації та конструкція і розглядається в даному проєкті.

Регулювання маси здійснюється вторинним приладом і регулювання (поз. 8), а також виконавчого механізму поз. 8в.

Управління часом пресування (поз. 11. 2 та поз. 13.2) взаємопов'язаних певною логікою операцій, а також виконавчих механізмом, що керують приводом механізмів (ІМ) (поз.11в і 13в).

Автоматичний контроль та регулювання температури в пресі та сушильному тунелі здійснюється з установкою датчика температури (поз. 10, 12, 14) та вторинного приладу (поз. К8, К10, К12) та виконавчих механізмом, що керують приводом механізмів (ІМ) (поз. 10в, 12в, 14

Регулювання тиску в пресах та управління ним здійснюється приладами, де датчик встановлений на гідроприводі (поз. 11.1, 13.1), вторинним приладом та регулювання (поз.К9 та К11), а також виконавчого механізму поз. 11а, 13а.

Система управління рухом лінії ламінування. Сигнали для управління наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Сигнали для управління

№	Джерело	Характер	Короткий опис	Примітка
1	FTC1	NA	Наявність дошки на траспортері 1 «Зайнято»	фотодатчик
2	FTC2	NA	Наявність дошки на рольганзі 2 «Вільно»	фотодатчик
3	GTC3	NA	Під’ємний упор 3 «Опущено»/«Піднято»	датчик кута повороту
4	GTA4	NA	Доска застрягла або криво лежить «Останов»	ультразвуковий датчик
5	EMP1	NC	«Аварія»	кнопка
6	SB1	NA	Запуск «СТАРТ»	кнопка
7	SB3	NA	Скидання «Аварія»	кнопка

Всього – 7 входів.

Таблиця потрібних сигналів управління наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Потрібні сигнали управління

№	Об’єкт	Метод	Короткий опис
1	M1	Привод	Двигун обертання роликів транспортеру
2	M2	Клапан	Опускання/підняття упору
3	M3	Привод	Двигун обертання роликів рольгангу
4	M4	Привод	Рух обертання фіксованої пилки
5	M5	Привод	Рух обертання рухомої пилки
6	HL1	Лампа	«Рольганг вільний»
7	HL2	Лампа	«Мережа»
9	HL3	Лампа	«Аварія»

4.5 Розробка принципової електричної схеми та опис її функціонування

Принципова електрична схема (Е3) декомпозується на силові кола та кола керування.

1. Силові кола. Трифазна напруга живлення L1, L2, L3 через автоматичний вимикач QF1 подається на силові клеми L1, L2, L3 частотного перетворювача U1. Вихідні силові клеми U, V, W перетворювача підключаються безпосередньо до клем асинхронного двигуна M1. Застосування додаткових контакторів між ЧРП та двигуном є неприпустимим.

2. Кола керування. Реалізуються на безпечній напрузі 24В DC, що генерується зовнішнім блоком живлення PS1. Логіка роботи реалізується наступним чином:

– Ініціалізація. Подача живлення на схему. ПЛР K1 переходить в режим очікування.

– Запуск циклу. Замикання контакту кнопки «Пуск» SB2 подає сигнал на вхід I2 ПЛР. K1 активує свій вихід Q1, що подає команду «Start/Stop» на

дискретний вхід DI1 частотного перетворювача U1. U1, згідно з налаштованою рампою розгону, плавно запускає двигун M1 на номінальну швидкість

3. Адаптивне керування швидкістю:

– При наявності вантажу, сигнал з датчика B1 утримує вхід I3 ПЛР в активному стані. ПЛР не виконує жодних дій, двигун працює на номінальній швидкості.

– При зникненні вантажу сигнал на вході I3 зникає. ПЛР активує вихід Q2, що подає команду «Multispeed» на вхід DI2 перетворювача U1, змушуючи його перейти на попередньо налаштовану знижену швидкість. Одночасно ПЛР запускає внутрішній таймер T1 (напр., 60 с).

– Якщо протягом відліку таймера T1 сигнал на вході I3 з'являється знову, ПЛР скидає таймер та деактивує вихід Q2, повертаючи двигун до номінальної швидкості.

– Якщо таймер T1 завершує відлік, ПЛР деактивує вихід Q1, що подає команду «Stop» на вхід DI1 перетворювача. U1 виконує плавну зупинку двигуна.

4. Аварійна/планова зупинка. Натискання кнопки «Стоп» SB1 (з нормально-закритим контактом) розриває ланцюг на вході I1 ПЛР, що має найвищий пріоритет та призводить до негайної деактивації виходу Q1 та плавної зупинки двигуна.

Висновки. Розроблено та обґрунтовано доцільність застосування гібридної системи керування. Синтезований гібридний алгоритм, що поєднує зниження швидкості під час коротких пауз та повну зупинку під час тривалих простоїв, є найбільш технологічно досконалим рішенням. Він забезпечує економію енергії, близьку до максимальної, при цьому повністю усуваючи негативний вплив пускових процесів завдяки використанню частотного перетворювача для плавного керування швидкістю.

Розроблено завершене інженерне рішення для практичної реалізації. На основі синтезу структурно-функціональної та принципової електричної схем, а також обґрунтованого вибору апаратної бази (ПЛР, ЧРП, оптичний датчик),

запропоновано готове до впровадження схемотехнічне рішення. Це підтверджує, що розроблені заходи є не лише теоретично обґрунтованими, але й практично реалізованими з використанням стандартних компонентів промислової автоматизації.

Наведені усі необхідні вимоги до структури та функціонування системи АСУТП повинна, які відповідають ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення». Розроблені структурна, функціональна та принципова електрична схеми системи автоматизації лінії, обрані і обґрунтуванні технічні засоби САУ.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

5.1 Основні положення охорони праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально –профілактичних засобів і заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі роботи. Охорона праці включає організаційно-правові питання, техніку безпеки, виробничу санітарію і пожежну профілактику (ДСТУ 2293:2014).

Закон України «Про охорону праці» зобов'язав власника за свої засоби організувати проведення при прийомі на роботу медичних оглядів і протягом трудової діяльності лікарський контроль за поляганням здоров'я робочих, зайнятих на важких роботах, роботах з шкідливими і небезпечними умовами праці або таких, де є необхідність в професійному відборі, а також обов'язковий щорічний медичний огляд осіб у віці до 21 року незалежно від того, в яких умовах вони працюють.

У системі законодавства щодо гігієни праці ключове місце займає Закон України «Про забезпечення санітарного і епідемічного благополуччя населення». Положення, які мають пряме відношення до захисту здоров'я робітників і службовців якнайповніші освітлені в статті 7 «Обов'язку підприємств, установ і організацій». Ця стаття передбачає розробку і здійснення адміністрацією підприємств санітарних і протиепідемічних заходів; здійснення в необхідних випадках лабораторного контролю за дотриманням вимог санітарних норм щодо рівнів шкідливих чинників виробничого середовища; інформування органів і установ державної санепідеміологічної служби при надзвичайній події і ситуації, які представляють небезпеку для здоров'я населення; відшкодування в установленому порядку працівникам і громадянам збитків, які нанесені їх здоров'ю в результаті порушення санітарного законодавства.

Заходи з охорони праці спрямовані на профілактику травматизму, професійних захворювань та пожеж на виробництві. Для створення безпечних умов на виробництві необхідно дотримання вимог техніки безпеки, промислової санітарії та протипожежної профілактики, які слід широко пропагувати, а також навчати виробничий персонал. У центрі уваги охорони праці є завдання щодо збереження в процесі виробництва життя та здоров'я працюючих.

5.2 Загальні заходи з охорони праці

Ось загальні заходи з охорони праці для лінії ламінування паркетної плитки та її обрізки рухомими пилками:

Загальні заходи з охорони праці на лінії ламінування паркетної плитки та її обрізки рухомими пилками

На підприємстві, де функціонує лінія ламінування паркетної плитки та її обрізки рухомими пилками, необхідно запровадити комплекс заходів з охорони праці для забезпечення безпечних умов праці та запобігання травматизму. Ці заходи включають:

1. Навчання та інструктаж персоналу:

– вступний інструктаж: для всіх нових працівників, які приймаються на роботу, незалежно від їхньої освіти, стажу роботи та посади;

– первинний інструктаж на робочому місці: перед початком самостійної роботи на лінії ламінування та обрізки, з ознайомленням з конкретним обладнанням, технологічним процесом, небезпечними факторами та безпечними методами праці;

– повторний інструктаж: проводиться періодично (не рідше одного разу на 3-6 місяців, залежно від виду робіт та вимог нормативних актів) для оновлення знань з охорони праці.

– позаплановий інструктаж: проводиться у разі змін у технологічному

процесі, заміні обладнання, порушенні працівниками вимог охорони праці, перерві в роботі понад 30 календарних днів (для робіт підвищеної небезпеки).

– цільовий інструктаж: проводиться при виконанні разових робіт, не пов'язаних з основними обов'язками, ліквідації аварій, стихійного лиха тощо;

– навчання з питань охорони праці: проведення теоретичних та практичних занять з безпечної експлуатації обладнання, порядку дій у позаштатних ситуаціях, надання першої допомоги;

– перевірка знань: регулярна перевірка знань з охорони праці (комісіями підприємства) з оформленням протоколів.

Забезпечення та використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ):

– спецодяг та спецвзуття: забезпечення працівників відповідним спецодягом та спецвзуттям, що захищає від механічних пошкоджень, пилу, шуму;

– засоби захисту органів дихання: респіратори або протигази (залежно від рівня запиленості та наявності шкідливих газів/випарів від клеїв, лаків, тощо);

– засоби захисту органів зору: захисні окуляри або щитки для захисту від стружки, пилу, відблисків;

– засоби захисту органів слуху: протишумові навушники або вкладиші при роботі з підвищеним рівнем шуму (пили, двигуни).

– захисні рукавиці: для захисту рук від порізів, заноз, контакту з хімічними речовинами.

– забезпечення ЗІЗ відповідно до норм: видача ЗІЗ за встановленими нормами та контроль за їх правильним застосуванням, зберіганням та своєчасним ремонтом/заміною.

Технічні та організаційні заходи:

– огородження небезпечних зон: всі рухомі частини обладнання (пилки, транспортери, вальці), а також зони підвищеної небезпеки мають бути надійно огороджені або мати блокування, що запобігає доступу до них під час роботи;

– блокування: встановлення блокувань, що унеможливлюють запуск обладнання при відкритих захисних кожухах, знятих огородженнях або при неправильному положенні дошки/матеріалу;

– аварійні кнопки «СТОП»: розміщення легкодоступних аварійних кнопок «СТОП» по периметру лінії та у всіх небезпечних зонах для миттєвої зупинки обладнання;

– сигналізація: наявність світлової та звукової сигналізації про запуск, зупинку або аварійні ситуації на лінії;

– вентиляція: Ефективна припливно-витяжна вентиляція для видалення деревного пилу, випарів від клеїв та лаків, а також для забезпечення нормативного температурного режиму.

– прибирання робочих місць: регулярне прибирання робочих місць від стружки, пилу, відходів ламінування;

– освітлення: забезпечення достатнього та рівномірного освітлення робочих місць відповідно до санітарних норм;

– електробезпека: регулярна перевірка електроустановок, заземлення обладнання, відповідність електропроводки вимогам ПУЕ. Заборона використання пошкоджених кабелів та розеток;

– протипожежна безпека: забезпечення робочих місць первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники), розробка та вивішування інструкцій з пожежної безпеки, проведення тренувань з евакуації;

– регулярне технічне обслуговування та ремонт: своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів, налагодження та регулювання обладнання для запобігання поломкам та аваріям;

– маркування: чітке маркування всіх органів керування, небезпечних зон, маршрутів евакуації;

– обмеження доступу: допуск до роботи на лінії лише навченого та інструктованого персоналу;

– заборона стороннім особам: заборона перебування сторонніх осіб у небезпечній зоні роботи обладнання.

– медичні огляди: проведення періодичних медичних оглядів працівників, задіяних на лінії, відповідно до встановлених норм;

– розслідування нещасних випадків: своєчасне та об'єктивне розслідування кожного нещасного випадку, виявлення причин та розробка заходів щодо їх усунення та запобігання повторенню.

Особливості для рухомих пилок:

– захисні кожухи: обов'язкова наявність та правильне налаштування захисних кожухів на всіх пилках, що повністю закривають ріжучу кромку, коли пилка не працює або не контактує з матеріалом;

– система аспірації: ефективна система видалення тирси та пилу безпосередньо від пилок, щоб уникнути їх накопичення та покращити видимість;

– запобігання відкиданню заготовки: застосування пристроїв, що запобігають відкиданню обрізаної дошки або її частин у бік оператора;

– гострота інструменту: забезпечення гостроти пиляльних дисків, що запобігає заклинюванню та надмірному нагріванню;

– правильне налаштування: налаштування пилок та напрямних під конкретний розмір дошки та режим роботи, щоб уникнути заклинювання та розколів;

– дотримання цих заходів дозволить значно знизити ризики травматизму та створити безпечні умови праці на лінії ламінування паркетної плитки.

5.3 Охорона праці оператора АСУ ТП

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

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

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

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

Згідно глави 1.7 – «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ», обладнання має основну ізоляцію струмовідних частин, яка забезпечує захист від прямого дотику та подвійну, яка складається з основної та додаткової ізоляції, для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження основної ізоляції.

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

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

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

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

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» для робітників із застосування ЕОМ, передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години, а також обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження передбачені пристрої для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою

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

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

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

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

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

5.4 Охорона навколишнього середовища

Виробництво паркетної плитки, зокрема процес ламінування, неминуче спричиняє забруднення атмосфери. Основними джерелами забруднення при роботі лінії ламінування є продукти згоряння палива (природного газу або резервного мазуту), що використовується для забезпечення технологічних процесів (нагріву пресів, сушильних камер тощо).

До шкідливих викидів, що утворюються при спалюванні палива для лінії ламінування, належать:

– оксиди азоту (діоксид азоту, оксид азоту) – утворюються при високих температурах горіння. Спричиняють смог, кислотні дощі, мають токсичний вплив на дихальну систему;

– оксид вуглецю (чадний газ) – продукт неповного згоряння палива. Є токсичним для людини, сприяє парниковому ефекту;

– діоксид сірки – утворюється при спалюванні палива, що містить сірку (особливо мазуту). Спричиняє кислотні дощі, подразнює дихальні шляхи;

– п'ятиокис ванадію – може утворюватися при спалюванні мазуту. Є токсичним;

– фенол – хоча в тексті зазначено, що він входить до складу фонових концентрацій, його присутність у викидах лінії ламінування може посилювати загальне забруднення. Фенол є токсичним, має неприємний запах.

Залпові та аварійні викиди зазначених забруднюючих речовин, що утворюються при спалюванні палива для забезпечення роботи лінії ламінування, неможливі за умови належної експлуатації обладнання.

Зниження викидів, що походять від лінії ламінування, забезпечується комплексом заходів:

Автоматизація процесу горіння:

– регулювання подачі паливо-повітряної суміші для оптимізації згоряння та мінімізації утворення шкідливих речовин (особливо оксиду вуглецю);

– регулювання навантаження відповідно до потреб технологічного процесу для підтримання ефективного режиму роботи;

– постійний контроль за вмістом кисню у продуктах згоряння для забезпечення повного згоряння палива.

Підвищений виробничий контроль:

– забезпечення максимального коефіцієнта корисної дії (ККД) для відповідного навантаження обладнання лінії ламінування;

– постійний моніторинг процесу горіння палива з метою мінімального виходу забруднюючих речовин.

Виключення очищення поверхонь нагріву обладнання (наприклад, котлів або теплообмінників, що забезпечують лінію ламінування) у періоди, коли це може призвести до збільшення викидів. Заборона виконання пуско-налагоджувальних робіт (або їх мінімізація) у періоди несприятливих метеорологічних умов, коли розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері ускладнене. У періоди несприятливих метеорологічних умов робота лінії ламінування (або її енергозабезпечення) повинна здійснюватись відповідно до розроблених та затверджених заходів щодо регулювання викидів.

Висновки. У цій частині випускної кваліфікаційної роботи бакалавра була розглянута організація праці на лінії ламінування паркетної плитки. Проаналізувавши умови праці, виділили такі чинники, як виробничий шум, гострі пилки і рухливі частини обладнання, вібрація, температура повітря, вентиляція та освітлення, які перевищують гранично допустимі рівні, встановлені документами, які суттєво впливають на здоров'я персоналу.

6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

6.1 Порівняльний аналіз та економічне обґрунтування

Тариф на електроенергію приймаємо 6,0 грн/кВт·год.

Зведемо результати в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати аналізу сценаріїв роботи конвеєрної установки

Показник	Базовий варіант (IE1)	Сценарій 1 (Заміна на IE3)	Сценарій 2 (Встановлення ЧРП)	Сценарій 3 (Система «Старт-Стоп»)
Річне споживання енергії, кВт·год	1460	1356,0	1024,0	905,0
Річна економія енергії, кВт·год	0	104,0	436,0	555,0
Річна економія коштів, грн	0	624,0	2616,0	3330,0
Орієнтовні капіталовкладення, грн	-	12000,0	22000,0	10000,0
Простий термін окупності, років	-	19,2	8,4	3,0

Узагальнені результати техніко-економічного аналізу, що наведені у таблиці 2.1, дозволяють об'єктивно оцінити доцільність практичної реалізації кожного із запропонованих варіантів модернізації конвеєрної установки. Отримані розрахункові дані переконливо свідчать, що найвища ефективність досягається не шляхом екстенсивної заміни силового обладнання, а за умови впровадження інтелектуальної системи керування, спрямованої на ліквідацію головного деструктивного чинника – тривалої роботи привода в режимі холостого ходу.

Розгляд першого сценарію, який передбачає заміну базового асинхронного двигуна на аналог підвищеного класу енергоефективності IE3, вказує на його

повну економічну неспроможність у заданих умовах експлуатації. Прогнозований річний грошовий ефект у розмірі 624 грн є мізерним і не здатний у розумні терміни компенсувати капітальні витрати, які становлять 12 000 грн. Як наслідок, термін окупності такого заходу перевищує 19 років, що є абсолютно неприйнятним для промислового сектору. Другий сценарій, заснований на інтеграції перетворювача частоти, забезпечує помітне зниження енергоспоживання, проте через високу питому вартість частотно-регульованого електроприводу для низькопотужних машин термін повернення інвестицій досягає 8,4 року, що суттєво обмежує його інвестиційну привабливість.

Натомість третій сценарій, який передбачає впровадження дискретної системи автоматичного пуску та зупинки конвеєра за алгоритмом «Старт-Стоп», демонструє найкращі техніко-економічні показники. Цей підхід забезпечує максимальне зниження експлуатаційних витрат із річною економією на рівні 3 330 грн при мінімальних першочергових капіталовкладеннях у розмірі 10 000 грн. Отриманий у результаті термін окупності тривалістю 3 роки повністю задовольняє нормативні вимоги до капітальних інвестицій у промисловості. Таким чином, матриця порівняння доводить, що для даного профілю технологічного навантаження локальна автоматизація циклів роботи є найбільш раціональним інженерним вибором.

Для наочного підтвердження сформульованих тез на рисунку 2.1 представлено порівняльну діаграму річного споживання електричної енергії конвеєром при різних підходах до модернізації.

Графічна інтерпретація результатів у вигляді стовпчикового розподілу дозволяє миттєво оцінити питому вагу кожного інженерного рішення через зіставлення висоти відповідних векторів.

Початковою точкою відліку та деградаційним максимумом виступає стовпець базового варіанта з двигуном класу енергоефективності IE1, річне споживання якого становить 1460 кВт·год. Візуальний аналіз показує, що рівень енергоспоживання при заміні машини на клас IE3 зменшується лише номінально, що наочно підтверджує слабкий вплив внутрішнього коефіцієнта

корисної дії двигуна на загальну енергоємність дільниці ламінування.

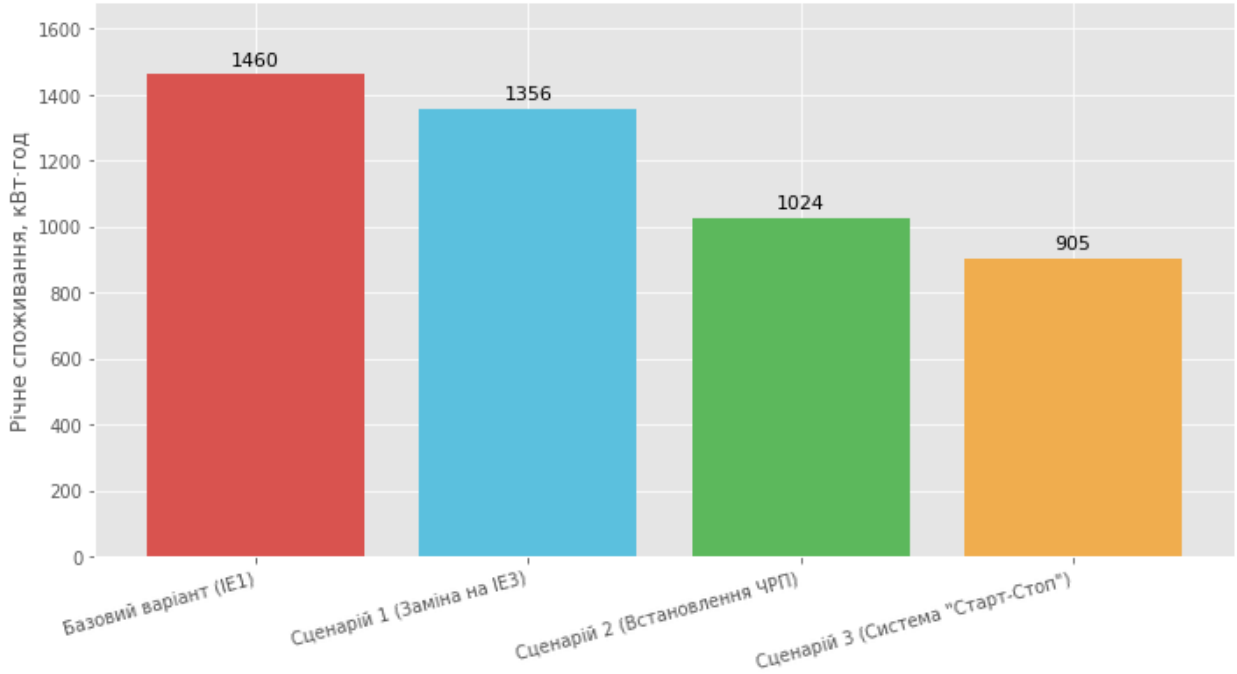


Рисунок 6.1 – Порівняння річного споживання електроенергії

Цей графічний дисбаланс є беззаперечним доказом того, що ключовий потенціал енергозбереження зосереджений саме в площині оптимізації алгоритмів керування електроприводом.

Значно більш суттєве зниження демонструють стовпці, що відповідають сценаріям зі зміною системи керування. Стовпець «Встановлення ЧРП» показує помітне падіння споживання, що свідчить про ефективність зниження швидкості в режимі холостого ходу. Проте найнижчим є стовпець «Система «Старт-Стоп», що візуально представляє максимальну економію енергії. Таким чином, графік беззаперечно доводить, що найбільшого результату досягають ті заходи, які спрямовані на повне усунення або кардинальне зниження енергоспоживання під час пауз у роботі конвеєра.

6.2. Обґрунтування ресурсного забезпечення проєкту

Для успішної реалізації проєкту впровадження гібридної системи керування конвеєром необхідна мобілізація матеріально-технічних, кадрових та фінансових ресурсів.

Головним принципом підбору ресурсів є уніфікація – використання стандартних промислових компонентів, що спрощує ремонт та знижує капітальні витрати.

1. Матеріально-технічне забезпечення.

Технічна реалізація проєкту базується на модернізації існуючих шаф керування або встановленні нових вузлів (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Матеріально-технічне забезпечення

Найменування ресурсу	Призначення та обґрунтування необхідності	Орієнтовна вартість
Частотний перетворювач (ЧРП) (потужність відповідно до двигуна)	Базовий елемент системи. Забезпечує плавний пуск, захист двигуна та регулювання обертів. Необхідний для реалізації режимів «Standby» (30%) та «Номінал».	18 000 грн
Програмований логічний контролер (ПЛК)(або вбудована логічна плата ЧРП)	«Мозок» системи. Виконує алгоритм гібридного керування, відраховує таймери (60 с) та приймає рішення про відключення живлення.	2 500 грн

Датчики наявності вантажу(оптичні/фотоелектричні)	«Очі» системи. Фіксують наявність продукції на стрічці. Без них неможливий перехід в автоматичний режим економії.	1 000 грн
Комутаційна апаратура (кабелі, автомати захисту, реле)	Забезпечення фізичного підключення та захисту електричних кіл від КЗ	500 грн
	РАЗОМ	22 000 грн

2. Кадрове забезпечення

Проєкт розроблений з урахуванням обслуговування наявним персоналом підприємства.

- інженер-проєктувальник;
- електромонтажник;
- оператор лінії.

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$В_{зп} = n \cdot ФОП, \quad (6.1)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу (n = 3 роб.);

ФОП – середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов’язковими нарахуваннями на соціальні збори.

Розрахуємо сердньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов’язковими нарахуваннями на соціальні збори:

$$ФОП = Ф_{зп} \cdot К_{ін}, \quad (6.2)$$

де $К_{ін} = 1,1$

$Ф_{зп}$ – щорічна витрата на зарплату робітника з урахуванням нарахувань на ФОП, грн.

$$Ф_{зп} = 12 \cdot ЗП \cdot Н_{зп}, \quad (6.3)$$

де ЗП – середня місячна зарплата робітника (ЗП = 15000 грн.);

$Н_{зп}$ – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

$$Ф_{зп} = 12 \cdot 15000 \cdot (1+0,2) = 216000, \text{ грн.}$$

$$ФОП = 216000 \cdot 1,1 = 237600, \text{ грн.}$$

$$В_{зп} = 3 \cdot 237600 = 712800, \text{ грн.}$$

3. Інформаційне та методичне забезпечення

Для забезпечення надійності та відтворюваності результатів використовуються:

– технічна документація – Власна розробка (інтелектуальна власність стартапу), що описує логіку переходів між режимами «Робота» – «Очікування» – «Сон»;

– паспорти на обладнання, інструкції з експлуатації, схеми підключення згідно з нормами ДСТУ/IEC.

4. Фінансове забезпечення

Фінансування пілотного проєкту передбачається за рахунок власних коштів або мікрогранту для малого бізнесу.

– капітальні витрати: 22 000 грн (обладнання);

– операційні витрати: мінімальні (періодичне протирання датчиків);

– джерело економії: зменшення рахунків за електроенергію (близько 3000 грн/рік на один двигун) та відсутність витрат на ремонт редукторів.

Отже, проєкт є ресурсно-ефективним, оскільки:

– не вимагає будівництва нових приміщень;

– базується на серійному обладнанні, яке легко придбати;

– може обслуговуватися штатним електриком підприємства після короткого інструктажу.

Для забезпечення функціонування бізнесу та надання ціннісної пропозиції команда проєкту зосередиться на наступних операційних процесах:

1. Програмна інженерія, створення інтелектуального алгоритму:

– розробка та оптимізація програмного коду для ПЛК;

– написання скриптів для вбудованих контролерів частотних перетворювачів різних брендів;

– тестування алгоритмів переходу між режимами для різних типів навантажень.

2. Виробництво та складання:

– комплектація шаф керування (ШК): монтаж ЧРП, комутаційної апаратури, клемників та систем охолодження;

– інтеграція сенсорів: підключення та калібрування оптичних датчиків до логічних входів контролера, що є критичним етапом для коректної роботи алгоритму.

3. Технічний консалтинг та енергоаудит.

– оскільки продукт складний, продаж відбувається через експертизу;

– проведення замірів енергоспоживання на підприємстві клієнта до впровадження;

– розрахунок індивідуального ТЕО для демонстрації реального терміну окупності;

– демонстрація пілотних версій на одній лінії замовника.

4. Сервіс та пусконалагодження:

– фізичний монтаж датчиків на конвеєрних лініях;

– тонке налаштування таймерів (наприклад, зміна часу очікування з 60 с на 45 с залежно від темпу виробництва).

– гарантійне обслуговування та навчання персоналу замовника.

1. Ключові партнери – для швидкого масштабування та зниження ризиків стартап будує мережу партнерських відносин:

а) Постачальники компонентів

– дистриб'ютори електротехніки: офіційні дилери брендів для закупівлі ЧРП та автоматики зі знижками для OEM-виробників.

– постачальники сенсорів: компанії, що спеціалізуються на промислових датчиках (оптичних, індуктивних), які є критично важливими для роботи алгоритму.

б) Енергосервісні компанії енергоаудитори – стратегічні партнери, які вже мають доступ до заводів і шукають способи зекономити енергію для своїх клієнтів.

в) Підприємства «Пілоти» – лояльні виробничі підприємства (наприклад, лінії розливу води, пакувальні цехи, елеватори), які погоджуються на встановлення тестових зразків.

г) монтажні організації (аутсорс) – місцеві бригади електриків або інжинірингові фірми.

6.3. Фінансове обґрунтування стартап-проекту

Метою фінансового плану є підтвердження економічної доцільності впровадження гібридних систем керування та розрахунок прибутковості бізнесу. Для запуску бізнесу (розробка фінального прототипу, реєстрація, маркетинг, закупівля першої партії комплектуючих) необхідний стартовий капітал.

Таблиця 6.3 – Обсяг початкових інвестицій

Стаття витрат	Примітка	Сума, грн
Розробка та прототипування	Закупівля тестового стенду (двигун, ЧРП, датчики) для налагодження ПЗ.	30000
Маркетинг та продажі	Створення лендінгу, презентацій, рекламні матеріали для B2B.	15000
Адміністративні витрати	Реєстрація ФОП/ТОВ, відкриття рахунків.	5000
Оборотні кошти (закупівля)	Закупівля компонентів для перших 3-х пілотних замовлень (3 х 22 000).	66000
Вирати на заробітну плату	Річні витрати на обслуговуючий персонал	712800
Резервний фонд (10%)	На випадок зміни курсу валют або логістичних проблем.	11600
	ВСЬОГО ІНВЕСТИЦІЙ	840400

Розрахунок маржинальності однієї одиниці продукції (шафи керування для двигуна 5 – 7,5 кВт).

– пряма собівартість: 22000 грн (обладнання та комплектуючі, розраховані раніше);

– накладні витрати на одиницю: 2000 грн (логістика, збірка, витратні матеріали);

– повна собівартість: 24000 грн.

– рекомендована ціна продажу: 32000 грн.

В ціну входить обладнання, інтелектуальна прошивка, монтаж та налаштування.

6.4. Обґрунтування рівня рентабельності (прибутковості) інноваційної ідеї

Рентабельність продажів продукції:

$$R = \frac{P - C}{P} \cdot 100\%\,, \qquad (6.4)$$

де Р – ціна продажу, грн.;

С – повна собівартість, грн.

$$R = \frac{32000 - 24000}{32000} \cdot 100\% = 25\ \%$$

Річна економія для клієнта розрахована в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахунок річної економії для клієнта

Стаття економії	Обґрунтування	Сума економії (рік)
Електроенергія	Пряма економія	2 916 грн
Амортизація (ремонти)	Уникнення заміни підшипників/муфт через відсутність ударних навантажень (середня вартість ремонту раз на рік).	5 000 грн

Подовження ресурсу	Двигун служить 15 років замість 10 (амортизація вартості нового двигуна).	4 000 грн
Уникнення простоїв	Консервативна оцінка: 1 година аварійного простою лінії може коштувати тисячі гривень втраченого прибутку. Приймаємо уникнення 2-3 годин простою на рік.	10 000 грн
	СУКУПНА ЕКОНОМІЯ	21 916 грн

Термін окупності:

$$О = \frac{Ц}{Е}, \qquad (6.5)$$

де Ц – вартість системи, грн.;

Е – сукупна економія, грн.

$$О = \frac{32000}{21916} = 1{,}5 \text{ роки}$$

Термін окупності у 1,5 роки є «золотим стандартом» для промисловості, що робить продукт легко продаваним.

Постійні місячні витрати стартапу (оренда майстерні, зв'язок, мінімальна зарплата засновника) оцінюються у 15 000 грн/міс.

Точка беззбитковості:

$$Б = \frac{В_п}{П}, \qquad (6.6)$$

де $В_п$ – постійні витрати, грн.;

П – прибуток з 1 одиниці, грн.

$$Б = \frac{15000}{8000} = 1{,}9 \text{ роки}$$

Отже, стартапу необхідно продавати мінімум 2 системи на місяць, щоб покривати свої операційні витрати та виходити в «нуль». Все, що більше 2-х продажів – чистий прибуток.

6.5. Цільові групи потенційних споживачів

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Стратегія збуту проєкту базується на поєднанні прямих продажів кінцевим споживачам (підприємствам) та побудові партнерської мережі для масштабування. Основний фокус робиться на демонстрації економічної вигоди через пілотні впровадження.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту наведена в таблицы 6.4.

Таблиця 6.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги гірничо-видобувних підприємств до товару
Зменшення зносу тягового органу	Полтавський ГЗК	Використання обладнання дешевого сегменту ринка	Доступність технології
Підвищення надійності АД	Південний ГЗК	Передбачається дублювання системи для підвищення надійності	Надійність впроваджуваної системи
Енергозбереження	Північний ГЗК	Швидке зношування стрічки конвеєрів	Окупність системи
Стабільність роботи	Інгулецький ГЗК	Нерівномірне надходження вантажу на конвеєри	Енергоефективність впроваджуваної системи

6.6 Бізнес-модель проєкту

У сучасних умовах постійного зростання тарифів на енергоносії промисловість потребує рішень, які забезпечують економію без шкоди для надійності обладнання. Даний стартап-проєкт пропонує впровадження гібридної системи керування конвеєрними лініями, що інтегрує переваги частотного регулювання та алгоритму повного відключення, дозволяючи одночасно знизити експлуатаційні витрати та подовжити ресурс механізмів.

Структура бізнес-моделі обладнання (технології) наведено в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Структура бізнес-моделі стартапу

Ключові партнери	Ключові види діяльності	Ключові ресурси	Цінність пропозиції
1.Дистриб'ютори електротехніки: Постачальники частотних перетворювачів та датчиків зі знижками для OEM. 2. Енергосервісні компанії: Партнери, що рекомендують систему під час проведення енергоаудитів на заводах. 3. Монтажні організації: Аутсорсинг фізичного встановлення та прокладання кабелів у регіонах. 4. Пілотні підприємства:	1. R&D (Розробка): Програмування ПЛК, удосконалення алгоритмів гібридного керування. 2. Виробництво (Збірка): Комплектація шаф керування, вхідний контроль якості компонентів. 3. Продажі: Проведення презентацій, розрахунок техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) для клієнтів. 4. Сервіс: Пусконалагоджу	1. Інтелектуальні: Унікальний алгоритм керування та програмний код. 2. Матеріальні: Комплектуючі (ЧРП, датчики, шафи), інструментарій для монтажу. 3. Людські: Інженери-програмісти, електромонтажники, менеджери з продажу. 4. Фінансові: Оборотний капітал для закупівлі техніки.	1. Економічна: Зниження витрат на електроенергію (економія до 3000 грн/рік на вузол) завдяки повному відключенню при простої. 2. Технічна: Збільшення ресурсу двигунів та редукторів на 30-40% завдяки «м'якому» пуску (на відміну від старт-стоп). 3. Експлуатаційна: Повна автоматизація процесу – система сама

Заводи, що надають майданчики для тестування в обмін на знижки.	вальні роботи та навчання персоналу замовника.		вирішує, коли економити, без участі оператора. 4. Фінансова: Швидка окупність інвестицій – 1,5–2 роки.
Канали збуту	Потоки надходження доходу	Структура собівартості	Взаємовідносини з клієнтами
1. Прямі продажі: Особисті зустрічі з головними інженерами заводів. 2. Партнерська мережа: Продажі через компанії, що займаються енергоаудитом. 3. Галузеві виставки: Демонстрація робочих стендів на форумах промисловців.	1. Продаж обладнання: Реалізація готових шаф керування (маржа 25%). 2. Послуги монтажу: Оплата за встановлення та підключення на об'єкті. 3. Сервісні контракти: Платне післягарантійне	1. Змінні витрати (на 1 виріб): – комплектуючі (ЧРП, датчики, автоматика) – 22 000 грн. – логістика та витратні матеріали – 1 000 грн. 2. Постійні витрати (щомісячні): - оренда приміщення/майстерні. - маркетинг та реклама.	1. Персональний супровід: Закріплення інженера за кожним проєктом. 2. Експертні консультації: Безкоштовний попередній розрахунок окупності до покупки. 3. Гарантійна підтримка:

4. Digital-маркетинг: Лендінг із калькулятором окупності.	обслуговування (опціонально).	- фонд оплати праці (адміністративний) 3. Витрати на розробку: - створення прототипу та тестування ПЗ (одноразово).	Оперативна заміна компонентів або переналаштування ПЗ. 4. Навчання: Інструктаж для штатних електриків підприємства.

У табл. 6.6 підводяться підсумки підготовки інноваційного стартапу та узагальнюються основні техніко-економічні показники.

Таблиця 4.9 – Узагальнюючі техніко-економічні показники

№	Найменування показника	Значення
1	Необхідні стартові інвестиції	127 600 грн
2	Собівартість одиниці продукції	24 000 грн
3	Рекомендована ціна реалізації	32 000 грн
4	Валовий прибуток з одиниці	8 000 грн
5	Рентабельність продажів	25 %
6	Прогнозована річна економія клієнта	21 900 грн (на 1 привід)
7	Термін окупності для клієнта	1,5 роки
8	Точка беззбитковості (місяць)	1,9 од. (округлено до 2)

Висновки. В теперішній час, як у вітчизняній, так і в зарубіжній практиці все більше уваги приділяється надійності роботи транспортуючих машин в тому проведеним вище маркетинговим аналізом стартап-проекту, можна зрозуміти,

що є реальна можливість ринкової комерціалізації даного стартап-проекту, так я є значний попит на вдосконалення систем електроприводу конвеєрів. Є значні перспективи для його розвитку, так як стрічковий конвеєр є найпоширенішим конвеєрним транспортом та має застосування майже у всіх галузях промисловості.

У ході роботи над стартап-проєктом було проведено комплексний аналіз проблеми енергоефективності промислових конвеєрних ліній та розроблено інноваційне рішення – гібридну систему керування електроприводом конвеєра.

Підтверджено технічну здійсненність ідеї. Розроблений алгоритм керування успішно вирішує дилему між збереженням механічного ресурсу та економією електроенергії.

Впровадження режимів зниження швидкості до 30% при коротких паузах) та повне відключення при простої дозволяє нівелювати недоліки класичних систем «Старт-Стоп» та традиційних ЧРП.

Система базується на доступних промислових компонентах, що гарантує високу ремонтопридатність та простоту масштабування.

Розрахунки демонструють високу інвестиційну привабливість як для розробника, так і для клієнта. Впровадження системи дозволяє скоротити споживання електроенергії в режимах очікування до 0 кВт, а також збільшити ресурс двигунів на 30-40%. Термін окупності інвестицій (з урахуванням ТСО) складає 1,5 роки, що є високим показником для промислового сектору.

Бізнес-модель характеризується рентабельністю продажів на рівні 25%. Точка беззбитковості досягається при продажу всього 2-х одиниць обладнання на місяць, що свідчить про фінансову стійкість проєкту.

Аналіз конкурентного середовища виявив вільну нішу для рішень середнього цінового сегменту, які пропонують інтелектуальну автоматизацію без необхідності впровадження дорогих SCADA-систем. Цільові сегменти ринку (харчова промисловість, логістика, виробництво будматеріалів) мають гостру потребу у зниженні операційних витрат через зростання тарифів на енергоносії.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання з автоматизації та підвищення енергоефективності конвеєрної установки для обрізання дощок у лінії виробництва паркету. Проведене дослідження режимів роботи обладнання виявило критично низьку ефективність базового електроприводу, який понад 40% часу функціонує в режимі холостого ходу, споживаючи при цьому майже номінальну потужність. Техніко-економічний аналіз довів безперспективність простої заміни двигуна на енергоефективний аналог через надмірно довгий термін окупності, що обумовило необхідність вдосконалення саме алгоритмів керування.

В результаті синтезовано та технічно реалізовано гібридну систему автоматичного керування, яка адаптує роботу конвеєра до реального вантажопотоку. Запропонований алгоритм поєднує зниження швидкості приводу під час короткочасних пауз та повну зупинку при тривалих простоях, що дозволяє мінімізувати втрати енергії без шкоди для механічної частини завдяки використанню частотного регулювання. Розроблене комплексне схемотехнічне рішення на базі сучасних засобів промислової автоматизації повністю відповідає чинним стандартам та готове до практичного впровадження.

Комерційний потенціал розробки підтверджено в межах представленого стартап-проєкту, який демонструє високу інвестиційну привабливість. Розрахунки показують, що модернізація забезпечує замовнику термін окупності в межах 1,5 роки за рахунок економії електроенергії та збільшення ресурсу обладнання на 30-40%, а бізнес-модель самого проєкту характеризується рентабельністю продажів на рівні 25% та низькою точкою беззбитковості, що свідчить про його фінансову стійкість та конкурентоспроможність на ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.

2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII Голос України. 2017. 27 верес. (№ 178-179). С. 10–22.

3. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. Вид. офіц. Київ. 1998. 45 с. (Інформація та документація).

4. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с.

5. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Інформація та документація).

7. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Чинний від 2002-01-01]. Київ : Мінпраці України, 2001. 45 с. (Інформація та документація).

8. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2014-12-30]. Київ : МВС України, 2014. 91 с. (Інформація та документація).

9. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [Чинний з 1997-10-06]. Київ : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Інформація та документація).

10. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинний з 1998-01-09]. Київ : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Інформація та документація).

11. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроям. [Чинний від 2018-05-18]. Київ : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. (Інформація та документація).

12. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний з 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. Київ : МОЗ України, 1999. 106 с. (Інформація та документація).

14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [Чинний з 01.01.2016]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

17. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).

18. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [Чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).

19. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [Чинний від 2018-02-23]. Київ : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).

20. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем : навч. посібник. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

21. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: справочник/ Под ред. Тимофеева Б.Б. Киев : Техника, 1983. 351 с.

22. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: http://wikipage.com.ua/1x400f.html (дата звернення: 13.02.2024).

23. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.11.2022).

24. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с.

25. Збірник наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука – 2020» : у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя : ЗНУ, 2020. Т.5. 280 с.

26. Зінченко Ю. М., Барішенко О. М. Теорія автоматичного управління : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 35 с.

27. Ніколаєнко А. М. Технічні засоби автоматизації. Цифрові регулятори : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 84 с.

28. Манько О. О. Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» для студентів заочної форми навчання. Рівне, 2012. 40 с.

29. Манько О. О., Кутя В. М. Методичні вказівки до виконання розрахунково – графічної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології». Рівне, 2010. 31 с.

30. Металургійна теплотехніка : збірник наукових праць Національної металургійної академії України. Дніпро : «ПП Грек О.С.», 2020. 364 с.

31. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності 151 «Автоматизація так комп'ютерно-інтегровані технології» / ред. А. М. Ніколаєнко. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 34 с.

32. Мочалін В. Н., Кочнев Н. В. Моделювання та дослідження систем автотичних управління з використанням ПЕОМ : нав. посіб. Череповець : ЧГІІ, 2005. 178 с.

33. Маренич К.М. Автоматизований електропривод машин і установок шахт і рудників / Маренич К.М., Товстик Ю.В., Турупалов В.В., Василець С.В., Лізан І.Я. // Навчальний почібник для студентів вищих навчальних закладів. – 2015. 149 с.

34. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В., Зеркалов Д. В., Сабарно Р. В., Полукаров О. І., Коз'яков В. С., Мітюк Л. О. Основи охорони праці : підручник. 2-ге вид. Київ: Основа, 2006. 448 с.

35. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР : метод. вказ. до практ. зан. / уклад. В.Г. Трегуб. Київ : НУХТ, 2008. 67 с.

36. Ніколаєнко А.М. Програмування ПЛК у Softlogic-системі. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 203с.

37. Солодовников В.В., Коньков В.Г. Мікропроцесорні автоматичні системи регулювання. Київ: Вища школа, 2021. 255 с.

38. Полянський Г.О. Методичні вказання к розрахунку надійності систем автоматизованого керування. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 24 с.

39. Печеник М.В. Особливості підвищення енергетичної ефективності електромеханічної систем конвеєра / М. В.Печеник, С. О. Бур'ян, А. О. Горбатовський // Вісник НТУУ"ХПІ", Серія : Проблеми автоматизованого електропривода теорія і практика. – Харків : 2013. – № 36. 155 с.

40. Пейсхахов А.Н., Кучер А.М. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» : учебник. Изд-во Михайлова., 2004. 407 с

41. Проектування систем керування : конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами»; уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленький, Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.

42. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html (дата звернення: 15.11.2025).

43. Рішан О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Курс лекцій для студентів спеціальностей: 7.092501 «Автоматизоване управління

технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заочн. форм. навчан. Київ : НУХТ, 2007. 162 с.

44. Розроблення стартап-проекту. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей. / Київ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2016. 35 с.

45. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації : навч. посіб. Київ : НМКВО, 2015. 80 с.

46. Тимофеев Б. Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. *Справочник*/ ред. Б. Б. Тимофеева. Киев : Техника, 1983. С. 87 – 88.

47. Емпіріко-теотетичні методи дослідження систем управління. URL: http://examen.od.ua/upravlen/page117.html (дата звернення 12.11.2025).

48. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.11.2025).

49. Автоматизація виробництва / Програмовані логічні контролери / Контролери для малих систем автоматизації / ПЛК150. Програмований логічний контролер. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://owen.ua (дата звернення 12.11.2025).

50. Bart Zeeuw van der Laan. System reliability analysis of belt conveyor / Bart Zeeuw van der Laan. – Transportation Engineering, 2016. – 73 с.