

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва, інформаційних та
управлінських технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та
гірництві»
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

**на тему «Модернізація системи автоматизації пресу СМ-2 в умовах
виробництва високоглиноземистих вогнетривів»**

Керівник роботи

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень та напрацювань.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело. Електронний та паперовий варіанти роботи є ідентичними.*

Кваліфікаційна робота містить інформацію з обмеженим доступом.

Здобувач

Ілля КУРІПКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Олег БОНДАР

Запоріжжя 2026



	ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет	автоматизації виробництва, інформаційних та управлінських технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
ОПП	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Вікторія МІРОШНИЧЕНКО

17.05.2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Куріпка Іллі Ігоровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Модернізація системи автоматизації пресу СМ-2 в умовах виробництва високоглиноземистих вогнетривів»

керівник роботи Мірошніченко Вікторія Ігорівна, доцент, канд. техн. наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 41/23.02.2026 від 23.02.2026 р.

2. Термін подання роботи 17.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління та сигналізації технологічних параметрів. 3. Реалізація запропонованої системи. 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи. 5. Охорона праці. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема структурна автоматизації. Схема функціональна автоматизації. Схема структурна комплексу технічних засобів. Блок-схеми алгоритмів

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1-5	Мірошніченко В.І., доцент кафедри АБЕРС

7. Дата видачі завдання 17.05.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.05.2026
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи автоматизації	30.05.2026
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	01.06.2026
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	12.06.2026
5	Розділ 5. Охорона праці	14.06.2026
6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	15.06.2026
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	17-18.06.2026
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	19-21.06.2026
9	Рецензування завершеної роботи. Захист	22-24.06.2026

Здобувач

(Ілля КУРІПКО)

Керівник роботи

(Вікторія МІРОШНИЧЕНКО)

АНОТАЦІЯ

Куріпко Ілля Ігорович. Модернізація системи автоматизації пресу СМ-2 в умовах виробництва високоглиноземистих вогнетривів. – Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в металургії та гірництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Об'єктом дослідження є технологічний процес напівсухого пресування вогнетривких виробів на механічному коліно-важільному пресі СМ1085. Предметом дослідження є апаратно-програмний комплекс системи автоматизованого керування та діагностики пресового обладнання.

У першому розділі проаналізована предметна область автоматизації пресового обладнання вогнетривкого виробництва. Надана загальна характеристика технологічного процесу напівсухого пресування та наявної системи автоматизації на базі застарілого контролера Schneider Electric Twido. Приведено аналіз рішень на аналогічних об'єктах, зокрема трьох інших пресових агрегатів цеху, що вже переведені на корпоративний стандарт SIEMENS. В результаті визначена необхідність модернізації наявної системи та сформульована невирішена частина проблеми.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації, визначено параметри об'єкту автоматизації, визначені задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтована запропонована трирівнева структура системи автоматизації на базі ПЛК SIMATIC S7-1200, наведено опис функціональної схеми системи автоматизації.

У третьому розділі обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації для спроектованої системи; розроблено прикладне програмне забезпечення мовою SCL у середовищі TIA Portal та людино-машинний інтерфейс (HMI) системи автоматизації на базі панелі KTP700 Basic.

У четвертому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої системи автоматизації, визначено капітальні інвестиції, річний економічний ефект та термін окупності проекту.

У п'ятому розділі наведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробництва та рекомендації щодо поліпшення умов праці інженерів АСУ ТП ділянки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АСУ ТП, АВТОМАТИЗАЦІЯ, УНІФІКАЦІЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, КОЛІНО-ВАЖІЛЬНИЙ ПРЕС, АБСОЛЮТНИЙ ЕНКОДЕР, ЦИКЛОГРАМА, ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	8
1.1 Аналітичний огляд за тематикою	8
1.2 Опис технологічного процесу (агрегату) як об'єкта автоматизації та його особливості	10
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ	12
2.1 Визначення вхідних та вихідних параметрів, збурювальних впливів та взаємозв'язок між ними.....	12
2.1.1 Вхідні параметри до початку процесу (уставки та передумови). 12	
2.1.2 Вхідні керуючі впливи (динамічні сигнали керування)	12
2.1.3 Вихідні керовані величини.....	12
2.1.4 Збурювальні впливи (неконтрольовані та аварійні фактори)	13
2.1.5 Взаємозв'язок параметрів у системі	13
2.1.6 Визначення завдань контролю, регулювання та управління.....	14
2.2 Постановка інженерних задач комплексної автоматизації пресового агрегату СМ1085.....	15
2.3 Аналіз технологічних параметрів як об'єктів контролю, сигналізації та керування.....	16
2.4 Обґрунтування запропонованої архітектури та структури системи управління	19
2.5 Обґрунтування структури та алгоритмів функціонування системи сигналізації технологічних параметрів	21
2.5.1 Алгоритм попереджувальної передпускової сигналізації	21
2.5.2 Структура аварійно-блокувальної сигналізації та захистів.....	21
2.5.3 Діагностично-інформаційна HMI-сигналізація на панелі SIMATIC KTP700.....	22
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	23
3.1 Схемотехнічні рішення та електрична інтеграція апаратного комплексу	23
3.2 Апаратне конфігурування та налаштування промислової мережі в TIA Portal.....	24
3.3 Розробка та оптимізація прикладного програмного забезпечення (SCL)25	
3.4 Проєктування людино-машинного інтерфейсу (HMI) в WinCC Basic 27	
3.5 Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень та концепція модернізації.....	28
3.5.1 Мінімізація фінансів та збереження частотного перетворювача Altivar 71.....	29



3.5.2 Резюме переходу з апаратної платформи Schneider Electric на SIEMENS.....	29
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ...	31
4.1 Розрахунок капітальних інвестицій (CAPEX).....	31
4.1.1 Витрати на апаратне забезпечення.....	31
4.1.2 Розрахунок загальних капітальних інвестицій.....	32
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат (ОРЕХ)	32
4.3 Розрахунок економічного ефекту від зменшення технологічних витрат	33
4.4 Оцінка ефективності капітальних інвестицій (NPV, PI, PP)	34
4.5 Висновки за розділом	34
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА.....	35
5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	35
5.2 Інженерно-технічні рішення з безпеки в запропонованій АСУ ТП	35
5.2.1 Апаратні (жорсткі) блокування	35
5.2.2 Програмні блокування та сигналізація (ПЛК S7-1200).....	36
5.3 Електробезпека	36
5.4 Пожежна безпека.....	36
ВИСНОВКИ	38
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	40

ВСТУП

Сучасне виробництво вогнетривких виробів вимагає дотримання жорстких стандартів якості та стабільності роботи обладнання. В умовах алюмосилікатного цеху виробництва вогнетривів ключовою проблемою експлуатації механічного преса CM1085 стала відсутність уніфікації апаратної бази. Існуюча система автоматизації побудована на застарілому контролері Schneider Electric Twido, тоді як інші три пресові агрегати цеху вже успішно переведено на актуальний корпоративний стандарт.

Така розбіжність створює значні труднощі: обслуговуючий персонал АСУ ТП змушений обслуговувати різні системи, підприємство має утримувати розширений номенклатурний резерв запчастин (ЗІП), а інтеграція в єдину загальнозаводську мережу SCADA стає неможливою. Крім того, релейно-контакторна логіка старої системи вичерпала свій ресурс, що призводить до регулярних планових простоїв. Тому уніфікація системи керування із застосуванням мікропроцесорних засобів SIEMENS є не просто технічним оновленням, а стратегічно важливим інженерним завданням для всього підприємства.

Метою дипломного проекту є повна уніфікація апаратно-програмної бази, підвищення надійності, безпеки та економічної ефективності роботи преса CM1085 шляхом розробки та впровадження сучасної АСУ ТП стандарту SIEMENS.

У межах дипломного проекту для реалізації поставленої мети визначено такі задачі:

- провести аналіз технологічного процесу та обґрунтувати необхідність уніфікації пресового парку цеху;
- обґрунтувати вибір сучасної апаратної платформи (ПЛК, HMI) та розробити структурну схему комплексу технічних засобів;
- забезпечити інтеграцію існуючого силового обладнання (ПЧ Altivar 71) та абсолютного енкодера в нову систему керування для мінімізації капітальних витрат;
- розробити прикладне програмне забезпечення мовою SCL у середовищі TIA Portal для точного виконання циклограми;
- спроектувати ергономічний людино-машинний інтерфейс (HMI) із розширеною діагностикою;
- розробити комплекс інженерних рішень щодо забезпечення охорони праці та апаратних блокувань;
- виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження проекту.

Об'єкт дослідження: технологічний процес напівсухого пресування вогнетривких виробів на механічному пресі CM1085.

Предмет дослідження: апаратно-програмний комплекс системи автоматизованого керування та діагностики пресового обладнання.



1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ


1.1 Аналітичний огляд за тематикою

Фундаментальною базою для міграції апаратної частини системи керування на контролери сімейства Siemens є офіційний технічний посібник розробника «Programming Guideline for S7-1200/1500» [1]. У цьому документі детально регламентовано сучасні стандарти створення структурованого та оптимізованого програмного коду в середовищі розробки TIA Portal. Документація обґрунтовує необхідність переходу до повністю символічної адресації та використання оптимізованих блоків даних, що суттєво підвищує швидкодію мікропроцесора. Крім того, наведені директиви щодо інтеграції функцій промислової безпеки (STEP 7 Safety) є критично важливими для забезпечення безвідмовної роботи та швидкої діагностики пресового обладнання після відмови від застарілих компонентів.

Окремим і найважливішим напрямком при модернізації важкого машинного обладнання є промислова безпека. Згідно з чинним стандартом ДСТУ EN ISO 13849-1:2015 [2], системи керування механізмами підвищеної небезпеки (до яких належать промислові преси) зобов'язані мати апаратні контури захисту. Стандарт жорстко регламентує використання інтегрованих реле безпеки, які мають фізично розривати ланцюги живлення виконавчих механізмів незалежно від поточного стану мікропроцесора ПЛК. Це повністю відповідає завданням нашого проекту при заміні апаратної частини та інтеграції світлових бар'єрів.

Модернізація системи керування пресовим обладнанням є не лише локальним технічним завданням, а й кроком до загальної промислової діджиталізації підприємства. Як зазначають вітчизняні дослідники Д. Костарєв та співавтори у своїй роботі [3], сучасне промислове виробництво вимагає безперервного моніторингу в реальному часі технологічного обладнання за допомогою інтелектуальних систем. Переведення преса на сучасну базу Siemens дозволить збирати розширені діагностичні дані, що є основою для проактивного управління — тобто передбачення можливих проблем та поломок механізмів ще до того, як вони виникнуть.

Технологічна специфіка об'єкта управління детально розкрита у сучасному посібнику О. Г. Кириченка та Д. В. Прутцькова [4]. Автори описують процеси підготовки сировини та напівсухого пресування, зазначаючи, що для отримання якісного шамотного виробу маса вологістю 5...8 % має витримуватися під тиском 80-100 МПа протягом 3-4 секунд. Саме забезпечення цих жорстких часових та силових параметрів циклограми пресування покладається на нову мікропроцесорну систему керування Siemens, яка здатна з мілісекундною точністю відпрацьовувати задані алгоритми.



Практична реалізація апаратної частини системи керування та людино-машинного інтерфейсу (HMI) спирається на сучасні міжнародні дослідження, зокрема роботу А. Салкіча та співавторів [5]. У статті досліджуються розширені можливості базового мікропроцесора Siemens S7-1200 щодо точного позиціонування механізмів та керування електроприводами. Автори доводять високу ефективність прямої інтеграції ПЛК із сенсорною панеллю оператора для зручного вибору режимів роботи та відображення діагностичної інформації. Це повністю відповідає завданням даного проєкту, де використання HMI-панелі та швидкісних лічильників для обробки сигналів з енкодерів є необхідною умовою для точного позиціонування виконавчих механізмів преса.

Безпосереднє керування головним електроприводом преса вимагає використання сучасних силових компонентів. Як зазначається у дослідженні С. О. Квітки та співавторів [6], застосування частотного регулювання для асинхронних двигунів є безальтернативним методом для оптимізації енергоспоживання та забезпечення плавного пуску важких механізмів. Інтеграція перетворювачів частоти з ПЛК Siemens у єдину інформаційну мережу дозволить гнучко налаштовувати швидкість руху прес-форм залежно від поточних технологічних вимог та зменшити механічні удари в трансмісії.

Крім локального керування пресом, сучасні вимоги до автоматизації передбачають обов'язкову інтеграцію обладнання у загальнозаводську інформаційну мережу. Питання диспетчеризації та збору даних детально розглядаються у навчальному посібнику О. М. Пупени та І. В. Ельперіна [7]. Автори наголошують, що впровадження SCADA-систем дозволяє не лише візуалізувати процес у реальному часі, а й вести архівування параметрів (тиску, часу витримки, зусилля), що є критично важливим для контролю якості виготовлення вогнетривів та оперативного реагування на позаштатні ситуації.

Безпосередня апаратна реалізація проєкту та конфігурування нового контролера базується на фундаментальних працях фахівців кафедри, зокрема у новітньому навчальному посібнику авторського колективу під керівництвом О. В. Разживіна, О. І. Сімкіна та О. О. Койфмана [8]. У праці детально розкриті сучасні підходи до параметрування станцій SIMATIC, організації зв'язку з периферійними пристроями та налаштування цифрових і аналогових модулів розширення, що є прямою інструкцією до дії в рамках нашої апаратної міграції

Ключовим технічним аспектом при модернізації преса є реалізація точного керування рухом (Motion Control). Офіційне галузеве керівництво Siemens [5] регламентує використання технологічних об'єктів для управління пресовим обладнанням, зокрема SimaPressServo. Запропоновані в документі стандартизовані алгоритми дозволяють мінімізувати помилки при програмуванні, забезпечуючи високу динамічну стабільність прес-форм та точність позиціонування виконавчих



механізмів, що є критично важливим для отримання виробів із заданими геометричними параметрами.

Фундаментом даного проєкту є технічна документація на промисловий прес СМ1085 [10], де детально описано алгоритми роботи застарілої системи керування на базі контролера Twido. Аналіз цих даних дозволив виявити обмеження фізичних можливостей старої системи та обґрунтувати необхідність її заміни на сучасну платформу Siemens.

1.2 Опис технологічного процесу (агрегату) як об'єкта автоматизації та його особливості

В якості базового об'єкта автоматизації розглядається механічний коліно-важільний прес СМ1085 (зокрема, модифікація СМ1085АМ), який експлуатується в алюмосилікатному цеху відділення виробництва вогнетривких виробів. Цей агрегат призначений для формування готової продукції (вогнетривкої цегли-сирцю марок ШКУ, ШЧУ, ШК тощо) з підготовленої пресової маси (шихти), що складається з глини, каоліну, обпаленого шамоту, браку власного виробництва (БСП) та осипу, змішаних із рідкою зв'язкою (шлікером, бардою або КМЦ). Технологічний процес напівсухого пресування потребує дотримання часових інтервалів, високої точності позиціонування механічних вузлів та стабільності зусилля пресування в умовах значних механічних навантажень та запиленості.

Прес СМ1085 є складним електромеханічним комплексом, робота якого базується на ексцентриковому механізмі. Основне пресувальне зусилля утворюється за рахунок обертання головного валу, що перетворює обертальний рух у поступальний рух пуансона. Об'єкт характеризується наявністю багатомоторного привода, розподіленою периферією та впровадженими контурами швидкісної синхронізації та безпеки [10].

Система приводів комплексу.

Головний привод преса – асинхронний електродвигун М1 потужністю 37 кВт. Керується частотним перетворювачем (на поточному етапі - серії ATV71), що забезпечує плавний розгін, регулювання робочої швидкості та гальмування за допомогою підключених зовнішніх гальмівних резисторів.

Привод мішалки-живильника – електродвигун М5 потужністю 5,5 кВт, який здійснює подачу маси до зони завантаження.


Привод регулятора засипки – електродвигун М2 потужністю 4 кВт, що функціонує у реверсивному режимі для зміни фізичної глибини камери прес-форми.

Привод ворошителя шихти – електродвигун М3 потужністю 2,2 кВт, розташований на завантажувальній каретці для вирівнювання шару маси.

Привод гідроштовхача – електродвигун М4 потужністю 0,2 кВт.

Механізм передачі моменту та гальмування:

Подача крутного моменту від маховика головного двигуна безпосередньо на колінчастий вал регулюється за допомогою



пневматичної муфти та механічного гальма, активація яких виконується за допомогою двох швидкісних електропневмоклапанів YA1 та YA2.

Контур позиціонування та циклової синхронізації.

Головною технологічною особливістю агрегату є використання абсолютного енкодера (з типом виходу Totempole), механічно пов'язаного з колінчастим валом преса. Енкодер транслює високочастотні імпульси (з кроком 1 імпульс = 1 градус повороту вала) на швидкісні входи мікропроцесорної системи. На основі цих даних програмно розраховуються точні зони (вікна) увімкнення/вимкнення ворошителя, завантажувальної каретки, пневматичного знімача готових виробів та зсувного конвеєра.

Електричний підігрів прес-форми.


Для усунення налипання вогнетривкої шихти на металеві поверхні штампа прес обладнаний системою ТЕНів. Їх живлення реалізовано через спеціальний понижуючий трансформатор.

Режими функціонування системи керування.

Налагоджувальний режим: Призначений для сервісних та ремонтних робіт. Головний привод обертається зі зниженою в 5 разів швидкістю (частота 10 Гц) , а керування всіма допоміжними механізмами відбувається без фіксації кнопок [10].

Напівавтоматичний режим: Використовується для поштучного формування виробів. Кожен повний хід пуансона ініціюється оператором з пульта, але логіка роботи механізмів каретки та ворошителя відпрацьовується автоматично за енкодером [10].

Автоматичний режим: Безперервний циклічний потік формування цегли з автоматичним підрахунком випуску за допомогою реверсивного лічильника [10].



2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

2.1 Визначення вхідних та вихідних параметрів, збурювальних впливів та взаємозв'язок між ними

Для представлення преса СМ1085 як структурованого об'єкта управління необхідно розділити всі технологічні параметри на відповідні категорії.

2.1.1 Вхідні параметри до початку процесу (уставки та передумови).

Базова геометрична уставка: Задане номінальне значення глибини засипки прес-форми.

Програмні кутові координати: Граничні значення кутів повороту колінчастого вала у градусах (від 0° до 360°), які визначають межі зон активації ворошителя, пневознімача, висунення каретки та ділянок уповільнення привода.

Часові уставки (параметри таймерів): Технологічна уставка передпускової сигналізації (5 секунд для таймера %ТМ0) , часова витримка на розгін ротора двигуна до ввімкнення муфти (%ТМ1, %ТМ2), а також інтервали роботи й паузи імпульсного прокачування системи змащення.

2.1.2 Вхідні керуючі впливи (динамічні сигнали керування)

Аналогова частотна уставка: Рівень вихідної частоти струму з перетворювача на статор двигуна М1, що задає швидкість пресування.

Дискретні команди керування приводами: Сигнали на включення контакторів мішалки (КМ5) , ворошителя (КМ3) , гідроштовхача гальма (КМ4) та реверсивної збірки контакторів засипки КМ1/КМ2.

Команди муфти та гальма: Дискретний сигнал на соленоїди електропневмоклапанів YA1 та YA2 (%Q2.2) для механічного зчеплення вала з маховиком.


Керування підігрівом: Сигнал на замикання котушки контактора КМ6 для активації трансформатора нагрівачів.

Керування змащенням: Імпульсний сигнал на соленоїд пневмоклапана розподільника мастила (%Q2.7).

2.1.3 Вихідні керовані величини

Кутове положення колінчастого вала: Поточна координата вала в градусах, що зчитується за допомогою каналів швидкісного лічильника.

Поточна глибина засипки: Фактичне просторове положення регулятора засипки камери штампа.



Рівень заповнення мішалки-живильника: Стан безконтактних індукційних датчиків PNP4–PNP7 (максимальний/мінімальний рівень маси в корпусі живильника).

Гідродинамічний стан системи змащення: Наявність або відсутність тиску в магістралі прокачування густого мастила (сигнал кінцевого вимикача SQ3, реле KV3).

Кількість готової продукції: Накопичене значення лічильника відпресованої цегли (%C0).

2.1.4 Збурювальні впливи (неконтрольовані та аварійні фактори)

Коливання вологості та гранскладу шихти: Викликає нерівномірність заповнення камери прес-форми, що призводить до коливань густини та геометрії виробу.

Температурні коливання штампа та налипання маси: Створює додатковий механічний опір при виштовхуванні виробу.

Зміна технічного стану пневмосистеми: Коливання тиску повітря, що впливає на чіткість спрацьовування пневмомуфти та гальма.

Аварійні дії персоналу та спрацьовування захистів: Перетин інфрачервоного променя світлового бар'єра, відкриття захисних дверцят преса (SQ1) або кожуха мішалки (SQ4).

Механічні перевантаження: Сплески струму та моменту на валу двигуна M1 під час проходження повзуном нижньої мертвої точки пресування.

2.1.5 Взаємозв'язок параметрів у системі

Математичні та логічні зв'язки в системі автоматизації преса мають жорсткий детермінований характер. Вихідна величина поточного кута колінчастого вала є головним аргументом у функціях керування допоміжними приводами. Коли вихідний параметр енодера збігається із вхідними уставками кутових меж зони ворошителя, система формує керуючий вплив на контактор KM3, запускаючи двигун M3.

Зв'язок у контурі регулювання засипки визначає якість продукції: якщо вихідна вага цегли змінюється (через обурюючий вплив вологості), оператор змінює вхідну уставку глибини засипки, що активує реверсивний привід M2.

Найбільш критичний взаємозв'язок реалізовано між обурюючими факторами безпеки та вихідними ланцюгами живлення. При виникненні обурення у вигляді перетину оптичного бар'єра, апаратне реле KV11 моментально перериває вихідний сигнал керування клапанами муфти YA1/YA2 (відбувається скидання повітря та накладання гальма) і одночасно знеструмлює контактор підігріву KM6. Програма ПЛК при цьому фіксує аварійний стан на дискретних входах, підсвічує НМІ-панель червоним кольором та блокує виконання подальших кроків циклу до моменту усунення обурення та ручного скидання помилки.

2.1.6 Визначення завдань контролю, регулювання та управління

На основі проведеного аналізу особливостей коліно-важільного преса SM1085 формується перелік завдань для системи автоматизації:

1) завдання високошвидкісного контролю та обробки сигналів позиціонування – організація безперервного зчитування імпульсів з абсолютного енкодера за допомогою швидкісних входів існуючого контролера, це необхідно для забезпечення прецизійного визначення кута повороту головного вала з точністю до 1 градуса для точної синхронізації механізмів;

2) завдання синхронізованого логічного управління допоміжними механізмами – програмна реалізація циклограми преса шляхом формування дискретних команд (%Q) на включення контакторів каретки, ворошителя (KM3) та пневмознімача у чітко визначених кутових положеннях обертання вала;

3) завдання автоматичного регулювання швидкості та гальмування привода – забезпечення стабільного керування головним двигуном M1 (37 кВт) через існуючий частотний перетворювач (типу ATV71), включає відпрацювання алгоритмів плавного розгону, електронного захисту від перевантажень та ефективного гальмування;


4) завдання управління реверсивним електроприводом глибини засипки – контроль та зміна положення штамп за допомогою команд «Засипка більше / Засипка менше»;

5) завдання дискретного моніторингу та регулювання рівня заповнення живильника – постійне опитування датчиків рівня маси у мішалці-живильнику (PNP4–PNP7) для формування технологічного сигналу готовності мішалки до прийому маси та автоматичної зупинки/пуску завантажувальних елеваторів;

6) завдання автоматичного циклічного управління та діагностики системи змащення – формування імпульсних команд на соленоїд консистентного змащення з відліком часу паузи та роботи. Важливим підзавданням є контроль датчика тиску мастила (SQ3) протягом виділеного технологічного вікна: якщо тиск не досягає норми, система повинна згенерувати тривожний сигнал «Аварія системи змащення» без аварійної зупинки головного привода;

7) завдання забезпечення апаратного протиаварійного захисту та блокувань – інтеграція сигналів від світлового бар'єра (реле KV11), дверцят огородження (SQ1) та кришки мішалки (SQ4) в єдину систему безпеки. Будь-яке порушення контуру безпеки викликає знеструмлення клапанів муфти та контактора силового підігріву KM6;

8) завдання управління передпусковою звуковою сигналізацією - реалізація жорсткої логічної затримки у 5 секунд (за допомогою таймерів %TM) між натисканням оператором кнопки пуску та безпосереднім увімкненням приводів. Протягом цієї паузи система зобов'язана подавати



живлення на промислову сирену (~220 В) для безпечної евакуації персоналу;

9) завдання обліку готової продукції – організація програмного реверсивного лічильника (%С) циклів пресування для підрахунку кількості виготовленої цегли-сирцю;

10) завдання поточного людино-машинного інтерфейсу (HMI) – відображення поточних параметрів (кут вала, глибина, лічильник випуску) на існуючій панелі оператора та можливість коригування установок таймерів і кутових зон.


2.2 Постановка інженерних задач комплексної автоматизації пресового агрегату СМ1085

Постановка інженерних задач автоматизації механічного коліно-важільного преса СМ1085, який функціонує у важких умовах формування вогнетривких виробів алюмосилікатного цеху полягає у тому, що на основі аналізу кінематики преса, специфіки технології напівсухого пресування та вимог до безпеки промислового персоналу сформувані та обґрунтовані дворівневу структуру системи автоматизованого керування, а також розробити комплексну архітектуру апаратної та людино-машинної сигналізації технологічних параметрів. Технологічний процес напівсухого пресування алюмосилікатних виробів характеризується циклічністю, високими механічними навантаженнями (зусилля пресування до 400 тонн) та жорсткими часовими інтервалами взаємодії допоміжних механізмів [10]. Будь-яка неузгодженість у русі каретки завантажувача, ворошителя шихти або штампа пуансона призводить до критичних аварій, механічного руйнування дорогої оснастки прес-форми або травмування оператора.

Діюча система автоматизації на базі ПЛК Schneider Electric Twido та текстового терміналу Magelis вичерпала свій технічний ресурс, а її функціональні можливості не дозволяють реалізувати сучасні вимоги до точності та диспетчеризації. Для усунення наявних дефектів та переведення обладнання на сучасну платформу SIEMENS SIMATIC S7-1200 визначено наступне коло інженерних задач.

Задача дискретно-логічного керування головними та допоміжними приводами: Забезпечення безперебійної координації роботи асинхронного двигуна головного вала М1 (37 кВт), привода змішувача-мішалки М5 (5,5 кВт), привода ворошителя маси М3 (2,2 кВт) та реверсивного механізму регулятора засипки шихти КМ1/КМ2. Усі алгоритми мають відпрацьовувати у трьох взаємовиключних режимах: «Налагоджувальний» (покроковий рух при утриманні кнопок), «Напівавтоматичний» (одиничний хід пресування) та «Автоматичний» (безперервний циклічний конвеєр).

Задача прецизійної кутової синхронізації (Циклограма процесу): Заміна на апаратну обробку сигналів абсолютного енкодера з виходом Totem pole. Система повинна в реальному часі з точністю до 1 градуса визначати положення кривошипно-шатунного механізму в діапазоні від 0°



до 359°. На основі цих даних програма контролера має формувати «вікна дозволу» для висування каретки завантажувача, включення ворошителя, опускання пуансона та спрацювання пневматичного знімача готової цегли.

Задача інтеграції та захисту силового електропривода: Безшовне поєднання нової керуючої логіки SIEMENS із існуючим частотним перетворювачем Altivar 71. Необхідно реалізувати програмне формування команд на розгін, гальмування та підтримку налагоджувальної частоти (10 Гц), а також забезпечити безперервний моніторинг дискретного сигналу справності ПЧ (контакт R1A/R1C) для захисту двигуна від перевантажень.

Задача побудови безвідмовної системи безпеки та апаратних блокувань: Програмна та фізична інтеграція засобів захисту персоналу, що працює в зоні пресування. Задача включає обробку сигналів інфрачервоного світлового бар'єра, кінцевих вимикачів захисного заскленого огородження штампа (SQ1) та кришки змішувача (SQ4), а також реле контролю тиску в контурі централізованого змащення (SQ3).

Задача створення ергономічного HMI-інтерфейсу та багаторівневого захисту: Розробка графічних екранів для сенсорної панелі KTP700 Basic, які б повністю замінили кнопкуватий монохромний дисплей. Сюди входить задача візуалізації мнемосхеми преса, виведення лічильника продукції та розробка дворівневої системи доступу до технологічних уставок (паролі для майстра цеху та інженера-електронника).

Задача мережевої інтеграції (Промисловий зв'язок): Перехід із повільного послідовного протоколу Modbus RTU на високошвидкісну шину Industrial Ethernet стандарту PROFINET для забезпечення передачі даних на верхній рівень АСУ ТП підприємства.

Формально задачу комплексної автоматизації пресового агрегату можна сформулювати як забезпечення максимальної продуктивності $Q \rightarrow \max$ та мінімізації часу аварійних простоїв $T_{пр} \rightarrow \min$ за умови безумовного виконання критеріїв безпеки персоналу (функціонування контурів апаратних блокувань) та дотримання заданої часової циклограми роботи механізмів: $t_{циклу} \leq const$.

2.3 Аналіз технологічних параметрів як об'єктів контролю, сигналізації та керування

Для успішного синтезу структури системи автоматизації проведено ретельну класифікацію та аналіз усіх фізичних параметрів пресового комплексу CM1085. Всі сигнали розділено на вхідні (контроль та діагностика) та вихідні (керування), а також визначено їх характер та рівень напруги в колах автоматики. Результати аналізу технологічних параметрів зведено в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз технологічних параметрів

Технологічний параметр / Сигнал	Тип сигналу	Електричний рівень	Тип первинного датчика	Роль у системі (Керування/ Сигналізація)
Кутове положення колінчастого вала преса (0–359°)	Дискретний (Квадратурний)	=24 В, Totempole	Абсолютний оптичний енкодер вала	Керування циклограмою, компарація, сигналізація кута на HMI
Режими роботи преса (Налагодження/ Автомат/Напівавтомат)	Дискретний (4 канали)	=24 В	Кулачковий перемикач SA2 на пульті	Керування вибором структури програмної логіки в ПЛК
Стан інфрачервоного світлового бар'єра безпеки	Дискретний	=24 В / ~220 В	Оптична завіса (приймач-передавач) + реле KV11	Критичне аварійне блокування муфти, сигналізація тривоги
Контроль зачинення дверей захисного огороження штампа	Дискретний	=24 В	Кінцевий вимикач SQ1 + проміжне реле KV1	Блокування запуску циклу, захисна сигналізація на панелі
Стан кришки змішувача вогнетривкої маси	Дискретний	=24 В	Кінцевий вимикач SQ4 + проміжне реле KV4	Блокування привода мішалки M5, технологічна сигналізація
Тиск у магістралі централізованого змащення	Дискретний	=24 В	Реле тиску мастила SQ3 + проміжне реле KV3	Блокування муфти при падінні тиску, Alarm-сигналізація

Продовження табл. 2.1

Технологічний параметр / Сигнал	Тип сигналу	Електричний рівень	Тип первинного датчика	Роль у системі (Керування/ Сигналізація)
Готовність / Аварія частотного перетворювача головного двигуна	Дискретний	=24 В	Внутрішні сухі контакти реле R1A/R1C ПЧ Altivar 71	Контроль працездатності електропривода, вивід коду помилки
Крайні положення завантажувальної каретки прес-форми	Дискретний (2 канали)	=24 В	Індуктивні безконтактні датчики PNP типу (BK1, BK2)	Синхронізація ходу каретки, захист від зіткнення з пуансоном
Рівень вогнетривкої шихти в прийомному бункері преса	Дискретний (4 канали)	=24 В	Ємнісні датчики рівня (PNP1–PNP4) у стінках бункера	Сигналізація рівня (заповнений/ пустий), дозування засипки
Керування головним двигуном M1 (Вперед / Назад / Налагодження)	Дискретний (4 канали)	=24 В / Сухий контакт	Транзисторні виходи ПЛК %Q0.0–%Q0.3 + реле Finder	Виконавче керування швидкісними режимами частотного ПЧ
Включення фрикційної пневмомуфти та розтискання гальма вала	Дискретний	=24 В	Транзисторний вихід ПЛК через силове проміжне реле	Виконавче керування соленоїдами пневмоклапанів YA1/YA2

Продовження табл. 2.1

Технологічний параметр / Сигнал	Тип сигналу	Електричний рівень	Тип первинного датчика	Роль у системі (Керування/ Сигналізація)
Активація елементів електричного підігріву пресформи	Дискретний	~220 В / ~380 В	Вихід модулю розширення ПЛК + магнітний контактор КМ6	Керування температурним режимом штампування вогнетривів
Попереджувальне звукове сповіщення персоналу перед пуском	Дискретний	~220 В	Релейний вихід ПЛК %Q0.4 + проміжне реле KV5	Акустична передпускова сигналізація безпеки (промислова сирена)

2.4 Обґрунтування запропонованої архітектури та структури системи управління

Для реалізації комплексу інженерних задач автоматизації преса SM1085 у дипломному проєкті розроблено та обґрунтовано централізовану трирівневу ієрархічну структуру системи керування на базі сучасного мікропроцесорного комплексу (див. графічну частину дипломного проєкту: «Схема структурна комплексу технічних засобів»). На відміну від децентралізованих рішень, які є економічно недоцільними для окремо розташованого локального пресового агрегату, представлена структура мінімізує довжину кабельних ліній та зосереджує обчислювальні ресурси в одній захищеній силовій шафі керування.

Розроблена структура системи управління включає наступні ієрархічні рівні:

Нижній (Польовий / Виконавчий) рівень.

Цей рівень безпосередньо взаємодіє з технологічним процесом. До його складу входять первинні вимірювальні перетворювачі (енкодер, індуктивні, ємнісні датчики та кінцеві вимикачі) та виконавчі механізми (магнітні пускачі КМ1-КМ6, електропневматичні клапани муфти YA1/YA2, перетворювач частоти Altivar 71). Усі сигнальні ланцюги від датчиків приведені до уніфікованого рівня напруги безпечного постійного струму =24 В, що підвищує завадостійкість системи в умовах високих пускових струмів важкого цехового обладнання.



Середній (Контролерний / Логічний) рівень.

Ядром середнього рівня є програмований логічний контролер SIEMENS SIMATIC S7-1200 у складі CPU 1214C DC/DC/DC, підсилений модулями розширення SM 1221 та SM 1223. Вибір саме цієї архітектури обґрунтовано наступними інженерними факторами:

Висока швидкодія: Час виконання базової логічної інструкції процесора становить 0,08 мкс, що дозволяє миттєво обробляти логічні контури блокувань без затримок циклу програми ПЛК[5].

Наявність вбудованих швидкісних лічильників HSC: Модуль CPU 1214C має апаратні канали обробки сигналів із частотою до 100 кГц [5]. Це дозволяє безпосередньо підключити фази А і В квадратурного енкодера колінчастого вала до входів %I0.0 та %I0.1. Підрахунок кута здійснюється на рівні операційної системи ПЛК, що гарантує точність циклограми незалежно від поточного часу сканування робочої програми (Scan Time).

Надійність транзисторних каскадів (DC/DC/DC): Заміна релейних виходів старого ПЛК Twido на транзисторні ключі процесора Siemens повністю усуває проблему електричного та механічного зносу контактів при циклічній високочастотній роботі пневмомуфти преса CM1085. Комутація котушок пускачів виконується через зовнішні проміжні реле Finder, що робить систему ремонтпридатною та захищеною від вигорання вихідних плат ПЛК.

Верхній (Людино-машинний / Диспетчерський) рівень.

Представлений графічною сенсорною панеллю оператора SIMATIC HMI KTP700 Basic Color PN. Панель реалізує повний функціонал людино-машинного інтерфейсу (HMI), здійснює первинне архівування технологічних подій, відображає мнемосхему пресового вузла та забезпечує введення уставок.

Взаємодія між середнім та верхнім рівнями організована через промисловий некерований комутатор SCALANCE XB005 по шині PROFINET (Industrial Ethernet) за топологією «Зірка». Швидкість обміну даними у 100 Мбіт/с повністю ліквідує затримки відображення кута енкодера та аварійних повідомлень, які були присутні у старій системі Modbus RTU (RS-485). Вільні порти комутатора SCALANCE дозволяють без додаткових витрат інтегрувати прес CM1085 у загальноцехову мережу ЛОМ для передачі звітів про продукцію (дані лічильника цегли) до MES-системи управління підприємства ПрАТ «Запоріжвогнетрив».

Враховуючи важкі умови експлуатації алюмосилікатного цеху (підвищена запиленість та вібраційні навантаження), все проектоване обладнання середнього рівня (ПЛК, комутатор, джерело живлення) розміщується в пилозахисній силовій шафі керування з класом захисту не нижче IP54. Сенсорна панель оператора SIMATIC HMI KTP700, що монтується на дверцятах пульта, має фронтальний клас захисту IP65, що повністю унеможлиблює потрапляння дрібнодисперсного пилу шихти всередину пристрою.

2.5 Обґрунтування структури та алгоритмів функціонування системи сигналізації технологічних параметрів

Специфіка експлуатації важких коліно-важільних пресів вимагає створення розгалуженої, надійної та інформативної системи сигналізації. Запропонована у проєкті структура сигналізації технологічних параметрів розділена на три функціональні групи: попереджувальна (передпускова), аварійно-блокувальна (захисна) та діагностично-інформаційна.

2.5.1 Алгоритм попереджувальної передпускової сигналізації

Для запобігання травмуванню обслуговуючого персоналу при випадковому або плановому запуску масивних рухомих частин преса, у програмній логіці ПЛК TIA Portal впроваджено жорсткий алгоритм звукового оповіщення:

При натисканні кнопки «Пуск преса» в автоматичному чи напівавтоматичному режимі, ПЛК спочатку аналізує ланцюг готовності. Якщо умови виконані, контролер активує дискретний вихід Cmd_Siren (%Q0.4).

Вмикається цехова сирена (~220 В, підключена через реле KV5). Одночасно запускається програмний таймер типу TON (блок "Timer_Siren_5s") із уставкою 5 секунд.


Протягом 5 секунд сирена видає переривчастий звуковий сигнал високої гучності. Рух будь-яких двигунів або замикання муфти в цей час програмно заблоковано.

Лише після успішного закінчення відліку 5 секунд сирена вмикається, програмний біт таймера встановлює маркер дозволу "Permit_VFD_Start", і ПЛК починає плавну видачу команд на частотний перетворювач Altivar 71 та запуск пневмомуфти вала.

2.5.2 Структура аварійно-блокувальної сигналізації та захистів

Цей контур сигналізації призначений для захисту життя оператора та збереження цілісності обладнання. Він поєднує в собі апаратний (релейний) та програмний рівні захисту:

Оптичний світловий бар'єр (Апаратна безпека): Відповідно до вимог промислової безпеки та стандартів з охорони праці (зокрема ДСТУ EN ISO 13849 щодо безпеки систем управління), інфрачервона завіса встановлена безпосередньо перед небезпечною зоною ходу пуансона[2]. При перетині променя руками оператора, приймач оптичної системи миттєво знеструмлює силове безпекове реле KV11. Контакти цього реле розривають ланцюг живлення соленоїдів пневмомуфти YA1/YA2 (відбувається миттєве скидання повітря та накладання колодкового механічного гальма колінвала) та повністю знеструмлюють контактор KM6 системи електричного підігріву прес-форми. Цей захист працює на апаратному рівні в обхід ПЛК, що гарантує відпрацювання зупину навіть



при теоретичному зависанні контролера. Одночасно сухий контакт реле KV11 передає сигнал на вхід ПЛК для фіксації аварії.

Контроль механічних блокувань (SQ1, SQ4): При спробі оператора відкрити захисні засклені дверцята штампа під час роботи в автоматі, розмикається кінцевий вимикач SQ1, знеструмлюючи реле KV1. Сигнал на вході ПЛК %I0.2 переходить в логічний «0», програма миттєво знімає сигнал з виходу муфти %Q0.2, зупиняючи циклічний хід. Аналогічно працює захист кришки мішалки маси (SQ4 / KV4 / вхід %I0.5) — при її відкритті негайно вимикається пускач KM5 двигуна мішалки[10].

Контроль системи змащення (SQ3): Колінчасті та важільні вузли преса SM1085 потребують постійного подання густого мастила під тиском. Якщо реле тиску SQ3 фіксує падіння тиску в магістралі, реле KV3 розмикає вхід ПЛК %I0.4. Контролер дозволяє пресу завершити поточний хід (для виходу пуансона з матриці, щоб уникнути заклинювання форми), після чого блокує наступний запуск пневмомуфти[10].

2.5.3 Діагностично-інформаційна HMI-сигналізація на панелі SIMATIC KTP700

Усі вищеперераховані аварійні та технологічні події зводяться в єдину програмну систему діагностики Alarm Logging у середовищі WinCC Basic панелі оператора. Текстова панель Magelis могла виводити лише короткі цифрові коди помилок, що ускладнювало роботу. Нова сенсорна панель KTP700 кардинально змінює цей процес.

При переході будь-якого захисного входу (Низький тиск мастила, Спрацювання бар'єра, Помилка частотника ATV71 тощо) в аварійний стан, екран HMI автоматично перериває поточний вивід менмосхеми та відкриває на весь екран червоне вікно тривоги (Alarm Window).

На екран виводиться чітке текстове повідомлення українською мовою із зазначенням точного часу події (наприклад: *«13:04:12 — АВАРІЯ: Спрацював оптичний світловий бар'єр безпеки штампа! Перевірте робочу зону!»*).

Система сигналізації підтримує функцію обов'язкового квітування (Acknowledge). Це означає, що навіть якщо оператор прибрав руки з зони бар'єра і реле KV11 знову замкнулося, прес не запуститься автоматично, а аварійне вікно не зникне, доки оператор фізично не прочитає повідомлення та не натисне на сенсорну кнопку «Скидання аварії (Квітувати)» на панелі KTP700. Це повністю виключає випадковий та несанкціонований запуск пресового агрегату SM1085.

Таким чином, запропонована постановка задач, розроблена структура керування на базі ПЛК Siemens S7-1200 та комплексна система сигналізації технологічних параметрів забезпечують повну відповідність модернізованого преса SM1085 сучасним стандартам промислової безпеки, надійності та вимогам Industry 4.0 для вогнетривкого виробництва.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

На основі рішень, обґрунтованих у попередніх розділах, виконано розробку інтеграції нового обладнання компанії SIEMENS, покрокове налаштування апаратних модулів у середовищі TIA Portal, розробку прикладного програмного забезпечення та проектування Людино-машинного інтерфейсу (HMI) для сенсорної панелі оператора та представлено повну практичну та програмно-апаратну реалізацію модернізованої автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСУ ТП) механічного коліно-важільного преса SM1085 №2.

3.1 Схемотехнічні рішення та електрична інтеграція апаратного комплексу

Електрична інтеграція мікропроцесорного комплексу SIMATIC S7-1200 у структуру силової шафи та локального пульта керування преса SM1085 вимагала повної реконфігурації кіл автоматики із збереженням існуючого силового комутаційного обладнання. Модернізація охоплює розділення та узгодження трьох основних рівнях напруги: силового трифазного ланцюга живлення електродвигунів (~380 В, 50 Гц), ланцюга живлення кіл керування та підігріву матриці (~220 В, 50 Гц) та низьковольтного завадостійкого ланцюга живлення логіки ПЛК, датчиків та HMI (=24 В постійного струму).


Для забезпечення стабільного та незалежного функціонування мікропроцесорного ядра системи впровадено імпульсне стабілізоване джерело живлення SITOP PSU100C потужністю 60 Вт (випускний струм 2,5 А). Воно підключається до фазної напруги ~220 В після загального фільтра завад. Вихідна напруга =24 В захищена секційними автоматичними вимикачами та розподіляється на три ізольовані гілки:

Гілка живлення процесорного модуля та модулів розширення: забезпечує постійний струм для CPU 1214C, SM 1221 та SM 1223;

Гілка польової периферії: постачає напругу для абсолютного енкодера, індуктивних безконтактних датчиків каретки BK1–BK2 та ємнісних датчиків рівня шихти в бункері PNP1–PNP4;

Гілка людино-машинного інтерфейсу та зв'язку: окрема лінія живлення для панелі KTP700 та комутатора SCALANCE XB005 для мінімізації впливу комутаційних завад.

Особливу увагу приділено схемотехніці узгодження транзисторних виходів ПЛК типу DO (24 V DC Sink/Source) із котушками магнітних пускачів та соленоїдів, які працюють на змінному струмі ~220 В. Безпосереднє підключення змінного навантаження до напівпровідникових виходів CPU 1214C неможливе, тому у проекті реалізовано проміжний релейний каскад на базі колодкових модулів Finder серії 48 (48.52.9.024.0050). Кожен транзисторний вихід ПЛК (від %Q0.0 до %Q0.3) живить котушку відповідного реле Finder (=24 В, струм споживання всього



20 mA). Потужні дугостійкі срібно-нікелеві контакти (AgNi) цих реле розраховані на струм до 8 A і безпосередньо комутують кола ~220 В котушок лінійних пускачів регулятора засипки (KM1, KM2), привода ворошителя (KM3) та мішалки (KM5).

3.2 Апаратне конфігурування та налаштування промислової мережі в TIA Portal

Апаратна реалізація системи та створення конфігурації обладнання виконується у спеціалізованому графічному редакторі Device Configuration інженерного інструментарію TIA Portal. Створення віртуальної копії фізичного пульта автоматики здійснюється шляхом послідовного додавання компонентів із каталогу (Hardware Catalog) з точним дотриманням замовних кодів (MLFB) та версій вбудованого програмного забезпечення (Firmware). На DIN-рейку центрального стійки (Rack 0) встановлюється базовий модуль CPU 1214C DC/DC/DC (версія FW 4.5). Праворуч від процесора додається модуль розширення дискретних входів SM 1221 DI 16 x 24VDC. Третім у стійці монтується комбінований модуль розширення SM 1223 DI 16 / DO 16 x Relay.

Наступним кроком є конфігурування мережевих параметрів інтерфейсу PROFINET для організації обміну даними за топологією «Зірка». У вкладці властивостей Ethernet-інтерфейсу (Ethernet addresses) процесорного модуля задаються унікальні статичні мережеві реквізити, узгоджені з регламентом IT-служби ПрАТ «Запоріжвогнетрив»: IP-адреса ПЛК 192.168.0.1 та маска підмережі 255.255.255.0. Аналогічно для панелі KTR700 встановлюється IP-адреса 192.168.0.2, після чого створюється логічне з'єднання типу *HMI Connection_1*.

Параметризація вбудованого швидкісного лічильника HSC1 (High-Speed Counter 1), який відповідає за зчитування кута нахилу колінвала з абсолютного енкодера. Конфігурування виконується за наступним алгоритмом:

Function -> Counter type: обирається режим *Counting* (простий дискретний підрахунок)

Operating phase: встановлюється значення *A/B counter*. Процесор аналізує фазовий зсув на 90° між імпульсами: якщо фаза А випереджає фазу В, лічильник рахує на збільшення, якщо В випереджає А — на зменшення

Event configuration: активується функція автоматичного циклічного скидання за верхньою межею, яка жорстко встановлюється на значення 359. При надходженні 360-го імпульсу апаратний регістр скидається в 0.

Після успішної параметризації середовище TIA Portal автоматично виділяє для лічильника апаратну адресу пам'яті периферійного подвійного слова %ID1000. Значення оновлюється миттєво по кожному імпульсу енкодера на апаратному рівні.


3.3 Розробка та оптимізація прикладного програмного забезпечення (SCL)

Програмна реалізація алгоритмів виконана у середовищі TIA Portal мовою високого рівня SCL (Structured Control Language), що є стандартом IEC 61131-3. Використання SCL замість традиційних релейно-контакторних схем (LAD) дозволяє більш компактно, гнучко та читабельно описувати складні логічні умови, таймери та математичні компаратори циклограми.

Структура програми побудована за модульним принципом відповідно до стандартів чистого коду промислової автоматизації. Головний організаційний блок Main OB1 здійснює послідовний циклічний виклик функціональних підпрограм, оформлених у вигляді окремих логічних функцій (FC) та функціональних блоків (FB). Для забезпечення надійного збереження уставок та глобального обміну даними з HMI-панеллю створено енергонезалежний блок даних DB1 "DB_Refractory_Press".

Таблиця 3.1 – Перелік статичних змінних (Static Tags) блока даних

Назва змінної (Static Tag)	Тип даних	Початкове значення	Функціональне призначення параметра в АСУ ТП
HSC_Current_Angle	DINT	0	Поточний кут колінчастого вала преса в градусах (від 0 до 359)
Agitator_Angle_Start	DINT	45	Нижня межа дозволу включення ворошителя шихти (уставка)
Agitator_Angle_End	DINT	135	Верхня межа дозволу включення ворошителя шихти (уставка)
Siren_Duration_Set	TIME	T#5s	Час тривалості роботи передпускової звукової сирени оповіщення
Clutch_Delay_Set	TIME	T#5s	Часова затримка розгону двигуна 37 кВт перед включенням муфти
Total_Shift_Products	DINT	0	Енергонезалежний накопичувальний лічильник готових виробів за зміну



Нижче наведено лістинг програмної реалізації базових алгоритмів керування пресом мовою SCL:

Алгоритм 1. Попереджувальна сирена та таймер затримки пуску. При переході системи в режим «Автомат» або «Напівавтомат» та дотриманні умов безпеки запускається сирена та відраховується час передпускового оповіщення:

(Лістинг коду мовою SCL. вбудована в TIA Portal і є повноцінним текстовим еквівалентом блоків LAD.)

```
// Умова запуску сирени при дотриманні безпеки  
IF ("Mode_Auto" OR "Mode_SemiAuto") AND "Safety_Doors_OK" AND  
"Safety_Mixer_OK" THEN  
    "Cmd_Siren" := TRUE;  
ELSE  
    "Cmd_Siren" := FALSE;  
END_IF;
```

```
// Виклик екземпляра таймера TON (5 секунд)  
"Timer_Siren_5s"(IN := "Cmd_Siren",  
    PT := "DB_Refractory_Press".Siren_Duration_Set,  
    Q => "Permit_VFD_Start");
```

Алгоритм 2. Керування розгоном привода та муфтою. Після отримання дозволу запускається частотний перетворювач Altivar 71. Другий таймер формує затримку на час розгону ротора 37 кВт перед зчепленням пневмомуфти:

(Лістинг коду мовою SCL. вбудована в TIA Portal і є повноцінним текстовим еквівалентом блоків LAD.)

```
// Запуск частотника Altivar 71  
IF "Permit_VFD_Start" THEN  
    "Cmd_VFD_Forward" := TRUE;  
ELSE  
    "Cmd_VFD_Forward" := FALSE;  
END_IF;
```

```
// Таймер затримки пневмомуфти на час розгону двигуна 37 кВт  
"Timer_Clutch_Delay"(IN := "Cmd_VFD_Forward",  
    PT := "DB_Refractory_Press".Clutch_Delay_Set,  
    Q => "Cmd_Clutch_YA1_YA2");
```

Алгоритм 3. Логіка віконного компаратора циклограми ворошителя. Здійснюється безперервне зчитування апаратного регістра %ID1000. Привід ворошителя активується строго в заданому діапазоні кутів:

(Лістинг коду мовою SCL. вбудована в TIA Portal і є повноцінним текстовим еквівалентом блоків LAD.)

```
// Зчитування енкодера та компарація IN_RANGE
"DB_Refractory_Press".HSC_Current_Angle := "%ID1000";

IF ("DB_Refractory_Press".HSC_Current_Angle >=
"DB_Refractory_Press".Agitator_Angle_Start) AND
("DB_Refractory_Press".HSC_Current_Angle <=
"DB_Refractory_Press".Agitator_Angle_End) THEN
  "Cmd_Agitator_KM3" := TRUE; // Включення ворошителя
ELSE
  "Cmd_Agitator_KM3" := FALSE; // Зупинка ворошителя
END_IF;
```

Алгоритм 4. Алгоритм обліку продукції за зміну. Підрахунок відпресованої цегли базується на одночасному досягненні кута виштовхування (270°) та спрацюванні датчика пневматичного знімача:

(Лістинг коду мовою SCL. вбудована в TIA Portal і є повноцінним текстовим еквівалентом блоків LAD.)

```
// Логіка спрацювання лічильника (кут 270 градусів + датчик знімача)
"Pulse_Product" := ("DB_Refractory_Press".HSC_Current_Angle = 270) AND
"Sensor_Pneumatic_Cylinder";

// Виклик системного блоку CTU
"Counter_Production_CTU"(CU := "Pulse_Product",
  R := "HMI_Reset_Button",
  PV := 10000,
  CV => "DB_Refractory_Press".Total_Shift_Products);
```

3.4 Проєктування людино-машинного інтерфейсу (HMI) в WinCC Basic

Проєктування та графічна розробка інтерфейсу оператора виконані в інтегрованому середовищі WinCC Basic, що входить до складу TIA Portal. Створений людино-машинний інтерфейс для панелі SIMATIC HMI KTP700 Basic розрахований на роботу в промислових умовах та має трирівневу структуру екранів, орієнтовану на підвищення ергономіки та інформативності (рис. 3.1).

Мнемосхема процесу (Головний екран) представляє кольорову графічну структуру преса CM1085. Всі виконавчі вузли (головний двигун M1, мішалка M5, каретка завантаження, система мастила) відображаються у вигляді векторних об'єктів. Для забезпечення наочності налаштовано динамічну зміну кольору залежно від стану тегів ПЛК: сірий

колір об'єкта — механізм знеструмлений; зелений колір — механізм успішно запущений і працює в штатному циклі; блимаючий червоний колір — зафіксовано аварійне відключення або спрацювання теплового захисту вузла. У верхній частині екрана розміщено велике цифрове поле виведення типу *IO Field*, пов'язане з апаратною змінною "DB_Refractory_Press".HSC_Current_Angle, яке відображає поточний кут вала в реальному часі від 0° до 359°.

Екран параметризації призначений для введення числових констант. Доступ до полів захищено системою безпеки *User Administration* за двома паролями. Рівень «Майстер цеху» відкриває доступ до зміни часових констант таймерів сирени та змащення. Рівень «Інженер КВПіА» надає повний доступ до критичної геометрії циклограми, налаштування кутів ворошителя та калібрування енкодера.

Система діагностики базується на підсистемі дискретних тривог *Discrete Alarms*. При розмиканні будь-якого ланцюга безпеки (наприклад, спрацював світловий бар'єр) екран автоматично перемикається на сторінку аварій, забарвлюючись у червоний колір, і виводить розгорнутий текст українською мовою. У системі активовано функцію обов'язкового квітування (Acknowledge) - прес не запуститься, доки оператор фізично не натисне кнопку підтвердження прочитання аварії.

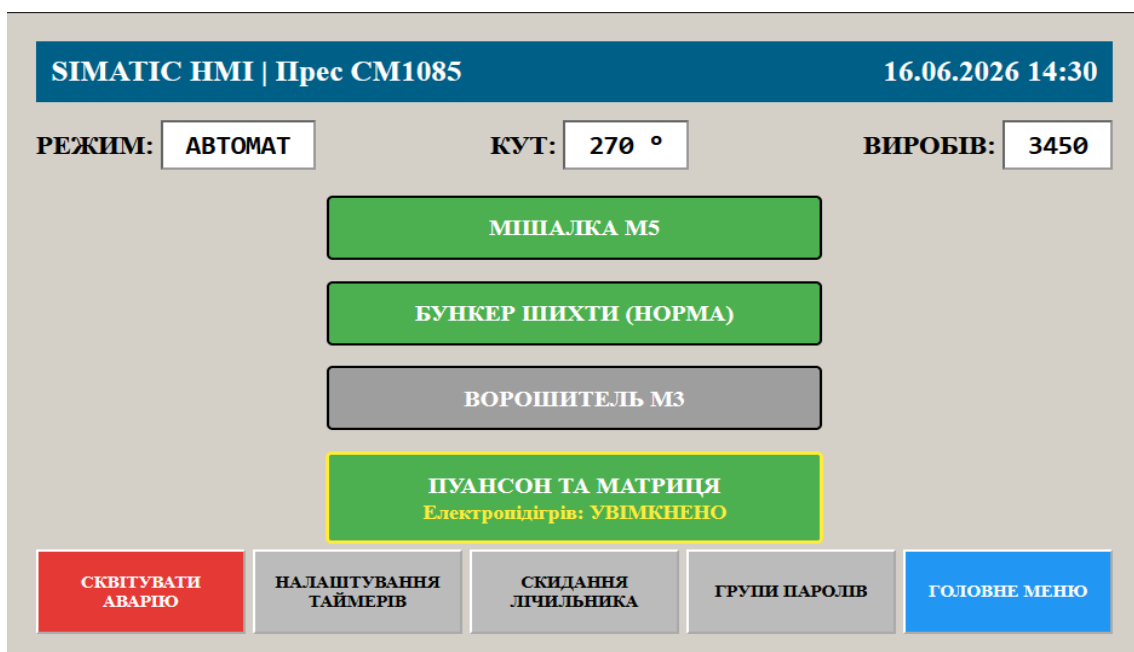


Рисунок 3.1 – Панель керування

3.5 Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень та концепція модернізації

Розроблений проект реалізації АСУ ТП базується на збалансованому підході, який поєднує глибоку модернізацію керуючої логіки із жорсткою оптимізацією капітальних витрат підприємства.

3.5.1 Мінімізація фінансів та збереження частотного перетворювача Altivar 71

Принциповим інженерним рішенням проекту, спрямованим на мінімізацію фінансових витрат, є відмова від пропозиції щодо заміни існуючого і повністю працездатного частотного перетворювача головного привода на новий аналог (наприклад, дорогий пристрій серії Siemens Sinamics). Як детально прописано в алгоритмі керування (Алгоритм 2), силова частина електропривода на 37 кВт на базі перетворювача Altivar 71 (ATV71HD55N4) повністю зберігається в системі автоматизації.

В межах модернізації змінюється лише спосіб та логіка керування частотним перетворювачем. Замість застарілих релейних вихідних каналів старого контролера Schneider Electric TWIDO, кола керування ATV71 тепер комутуються через швидкодійні транзисторні виходи нового процесора SIEMENS SIMATIC S7-1200 із використанням проміжних гальванічних реле Finder серії 48. Такий підхід дозволяє зберегти високий силовий та експлуатаційний потенціал дорогого силового обладнання, економить підприємству ПрАТ «Запоріжвогнетрив» десятки тисяч гривень на закупівлі нових силових блоків, але при цьому виводить систему автоматизації на сучасний технологічний рівень.


3.5.2 Резюме переходу з апаратної платформи Schneider Electric на SIEMENS

Впроваджені програмно-апаратні рішення забезпечують повноцінне перенесення та оптимізацію всієї технологічної логіки роботи преса CM1085 із архітектури Schneider Electric в екосистему SIEMENS TIA Portal за такими ключовими напрямками як:

Модернізація таймерних затримок: Застарілі внутрішні таймерні блоки типу %TM0, %TM1 середовища TwidoSoft повністю замінено на системні функціональні блоки затримок увімкнення TON, які відповідають міжнародному стандарту IEC 61131-3, що підвищило стабільність відпрацювання технологічних пауз передпускової сигналізації та пневмомуфти.

Еволюція людино-машинного інтерфейсу: Морально застаріла кнопкувата текстова панель Magelis XBTN-401 повністю демонтована. Замість неї розроблено сучасний динамічний сенсорний інтерфейс оператора на базі кольорової графічної панелі SIMATIC HMI KTP700 Basic, що кардинально покращило ергономіку, надало можливість двоступеневого парольного захисту уставок та забезпечило виведення розгорнутих текстових інструкцій у вікні аварійної діагностики (Alarm Logging).

Оптимізація обробки даних командоапарата: Обробка сигналів кутового положення вала з абсолютного енкодера переведена з повільних логічних маркерів TWIDO на апаратний підрахунок інтегрованого високошвидкісного лічильника HSC1 контролера S7-1200. Оновлення



даних у системному подвійному слові %ID1000 виконується на рівні операційної системи ПЛК із частотою до 100 кГц. Це дозволяє зчитувати інформацію енкодера набагато швидше і точніше, повністю нівелюючи вплив часу сканування основної циклічної програми контролера (Scan Time) на якість та геометрію формування циклограми напівсухого пресування вогнетривів.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА

Цей розділ є одним із найважливіших у кваліфікаційній роботі, оскільки механічний прес СМ1085 є обладнанням підвищеної небезпеки. Впровадження нової системи автоматизації на базі ПЛК SIEMENS S7-1200 не лише підвищує продуктивність, але й кардинально покращує умови праці та рівень безпеки оператора.

5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

При роботі преса СМ1085 на оператора та обслуговуючий персонал можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори (згідно з ГОСТ 12.0.003-2015):

– *фізичні небезпеки*: рухомі частини механізмів (пуансон, матриця, каретка завантаження, лопаті мішалки), які можуть призвести до травмування кінцівок;

– *електричні небезпеки*: ураження електричним струмом від силових кіл (380 В) та кіл керування, накопичення статичної електрики;

– *санітарно-гігієнічні фактори*: підвищений рівень промислового пилу (вогнетривка шихта), підвищений рівень шуму та вібрації від роботи головного привода та пневматичної системи;

– *термічні небезпеки*: опіки від нагрітих поверхонь (система електропідігріву пуансона та матриці).

5.2 Інженерно-технічні рішення з безпеки в запропонованій АСУ ТП

У розробленій системі автоматизації застосовано комплексний підхід до безпеки. Логіка керування побудована таким чином, щоб унеможливити запуск або продовження роботи преса при порушенні умов безпеки.

5.2.1 Апаратні (жорсткі) блокування

Згідно з правилами безпеки, критичні контури захисту не повинні залежати виключно від програмного забезпечення ПЛК. Тому в проекті реалізовано апаратні блокування.

Кнопки «Аварійна зупинка» (E-Stop): встановлені на пульті HMI та по периметру преса. Їх натискання фізично розриває коло живлення котушок контакторів головного привода та пневмомуфти через спеціальне реле безпеки, минаючи ПЛК.

Світловий бар'єр (фотоелектричний захист): встановлений у зоні пресування. Якщо оператор перетинає промінь рукою під час руху пуансона, реле безпеки миттєво знеструмлює електропневматичний клапан (YA1), і пневмомуфта розмикається, зупиняючи вал.

5.2.2 Програмні блокування та сигналізація (ПЛК S7-1200)

Програмна частина системи (TIA Portal) забезпечує додатковий, превентивний рівень безпеки.

Контроль захисних огорожень: кінцеві вимикачі (SQ1, SQ4) контролюють закриття дверцят мішалки та огороження штампа. ПЛК не видасть дозвіл на запуск, якщо дверцята відчинені.

Передпускова сигналізація: перед кожним запуском головного привода ПЛК автоматично вмикає звукову сирену на 5 секунд, попереджаючи персонал про початок роботи механізмів.

НМІ Діагностика: панель оператора КТР700 миттєво виводить текстові повідомлення про причину зупинки (наприклад: «Аварія: Відкрито кришку мішалки»), що викликає необхідність оператору самостійно шукати несправність у небезпечних зонах. Кнопка «Сквітувати аварію» гарантує, що оператор свідомо підтвердив усунення небезпеки перед повторним пуском.

5.3 Електробезпека

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом передбачено наступні заходи.

Безпечна напруга: усі польові датчики (кінцевики, датчики рівня, енкодер) та панель оператора живляться від безпечної напруги 24 В постійного струму (через блок живлення SITOP з гальванічною розв'язкою).

Захисне заземлення: металеві корпуси шафи керування, станини преса, корпусів електродвигунів та лотків надійно приєднані до загальноцехового контуру заземлення. Опір заземлювального пристрою не перевищує 4 Ом.

Захист від струмів короткого замикання: використання сучасних автоматичних вимикачів та пристроїв захисного відключення (ПЗВ) у силових колах живлення 380 В.


Ступінь захисту оболонки: шафа керування має ступінь захисту IP54, що унеможлиблює потрапляння всередину струмопровідного пилу та вологи, знижуючи ризик короткого замикання.

5.4 Пожежна безпека

Зважаючи на наявність потужних електричних машин та системи електропідігріву матриці, передбачено такі заходи пожежної безпеки:

1) використання кабельної продукції з індексом «нг-LS» (не поширює горіння, зі зниженим димо- та газовиділенням);

2) наявність теплових реле в складі частотного перетворювача Altivar 71 та автоматів захисту двигунів (для мішалки та ворошителя), що відключають живлення при перегріві обмоток;



3) забезпечення робочого місця вуглекислотними (ВВК) та порошковими (ВП) вогнегасниками, які підходять для гасіння електроустановок під напругою до 1000 В.

Запропонована модернізація системи керування пресом SM1085 повністю відповідає сучасним нормам і правилам охорони праці. Завдяки впровадженню світлових бар'єрів, дублюючих апаратних блокувань та розширеної діагностики через HMI-панель, ризик виробничого травматизму зведений до мінімуму, а умови праці оператора та інженерного персоналу значно покращені.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне інженерне завдання з модернізації автоматизованої системи керування технологічним процесом механічного преса CM1085. В результаті виконання роботи досягнуто поставленої мети - підвищено надійність, безпеку та економічну ефективність роботи обладнання шляхом переходу із застарілої апаратної бази Schneider на сучасний мікропроцесорний комплекс SIEMENS.

За підсумками проведеної роботи можна зробити такі основні висновки.

Уніфікація апаратно-програмної бази: заміна застарілого ПЛК Schneider на контролер SIEMENS SIMATIC S7-1200 дозволила привести прес CM1085 до єдиного технологічного стандарту підприємства (інші три пресові агрегати вже функціонують на базі SIEMENS). Це стратегічне рішення кардинально спрощує технічне обслуговування, оптимізує складський запас (ЗІП), дозволяє інженерному персоналу працювати в єдиному середовищі TIA Portal та відкриває можливість об'єднання всіх пресів у спільну загальноцехову мережу SCADA.

Оптимізація капітальних витрат: при переході на нову платформу прийнято раціональне рішення щодо збереження існуючого силового перетворювача частоти Altivar 71. Це дозволило суттєво знизити загальний бюджет модернізації без втрати функціональності привода.

Підвищення точності керування: впроваджено систему безперервного позиціонування головного вала за допомогою абсолютного енкодера та апаратного швидкісного лічильника (HSC). Програмний код, розроблений мовою SCL із застосуванням логіки IN_RANGE, забезпечив прецизійне виконання циклограми, що прямо впливає на зниження відсотка браку вогнетривких виробів.

Покращення ергономіки та діагностики: розроблено сучасний людино-машинний інтерфейс на базі панелі KTP700 Basic. HMI забезпечує інтуїтивне керування, гнучке налаштування таймерів через систему паролів та миттєву діагностику аварій, значно скорочуючи час реакції оператора на позаштатні ситуації.

Забезпечення найвищого рівня безпеки: Розроблено комплексну систему захисту, яка включає апаратні та програмні блокування. Інтеграція світлового бар'єра та кнопок E-Stop через незалежні реле безпеки унеможливорює травматизм персоналу навіть у разі збоїв у роботі ПЛК.

Доведення високої економічної ефективності: техніко-економічний розрахунок підтвердив інвестиційну привабливість проєкту. При загальних капітальних інвестиціях 189 924 грн, річний економічний ефект від ліквідації простоїв та браку становить 219 951 грн. Проєкт генерує NPV у розмірі 547 352 грн (за 5 років) і має швидкий термін окупності - 0,86 року (близько 10 місяців).



Запропонована система є повністю готовим високотехнологічним рішенням. Її реалізація завершує процес комплексної стандартизації пресового обладнання цеху на базі SIEMENS, дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати та гарантує безпеку виробничого процесу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

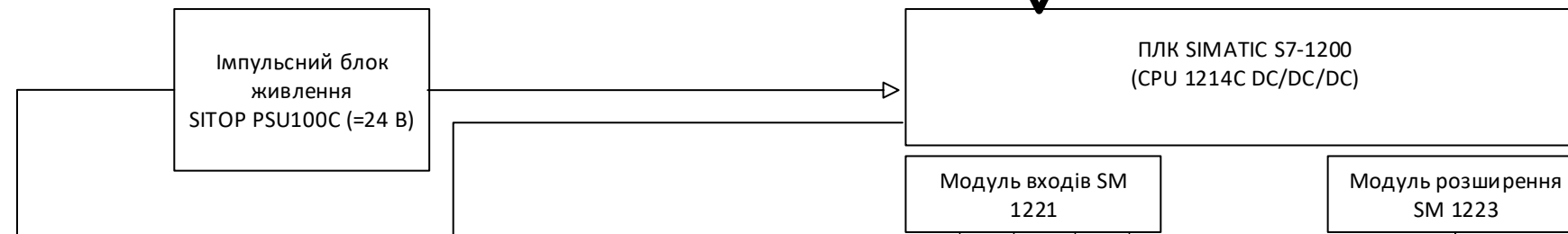
1. Programming Guideline for S7-1200/S7-1500. Nuremberg : Siemens Industry Online Support, 2018. 126 р. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/81318674> (дата звернення: 23.06.2026).
2. ДСТУ EN ISO 13849-1:2015. Безпека машин. Частина систем керування, пов'язані з безпекою. Частина 1. Загальні принципи проектування. [Чинний від 2016-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 88 с.
3. Проблеми створення інструментальних засобів проактивного управління промисловим підприємством / Д. Костарев та ін. Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Івано-Франківськ, 6–8 лип. 2023 р.). Івано-Франківськ, 2023. С. 20–23.
4. Кириченко О. Г., Прутцьков Д. В. Вогнетриви металургійного виробництва : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 78 с.
5. Salkić A., Muhović N., Jokić D. Siemens S7-1200 PLC DC Motor control capabilities. IFAC-PapersOnLine. 2022. Vol. 55, iss. 4. P. 103–108.
6. Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти / С. О. Квітка та ін. Праці ТДАТУ. Вип. 13, т. 2. С. 164.
7. Пупена О. М., Ельперін І. В. Розробка систем людино-машинного інтерфейсу та SCADA-систем : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2019. 320 с.
8. Конфігурування та параметрування станцій ПЛК SIMATIC S7-1500 та ET200 : навч. посіб. / О. В. Разживін та ін. Одеса : Олді+, 2026. 350 с.
9. SIMATIC S7-1500 – All about Motion Control : System Manual. V1.2. Nuremberg : Siemens Industry Online Support, 2025. 186 р. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109803969> (дата звернення: 23.06.2026).
10. Прес СМ1085. Опис принципу роботи системи керування : тех. паспорт / АОЗТ завод «Красный Октябрь». Харків, 2008. 12 с.
11. Загальна схема технологічного потоку АЦ ВВВ. ПрАТ «Запоріжвогнетрив».
12. Загальна інструкція з охорони праці №13-01. ПрАТ «Запоріжвогнетрив».
13. Положення про організацію освітнього процесу у ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». 2024. URL: <https://metinvest.university/data/file/cb/0e/cb0ecabda8df4b5a959ca0ddd1b94704.pdf> (дата звернення: 23.06.2026).
14. Інструкція з експлуатації лінії приготування технологічного потоку пресової ділянки АЦ ВВВ. ІЕ 104-ЛП-014-2008. ПрАТ «Запоріжвогнетрив».

ВЕРХНІЙ РІВЕНЬ (ДИСПЕТЧЕРСЬКИЙ)

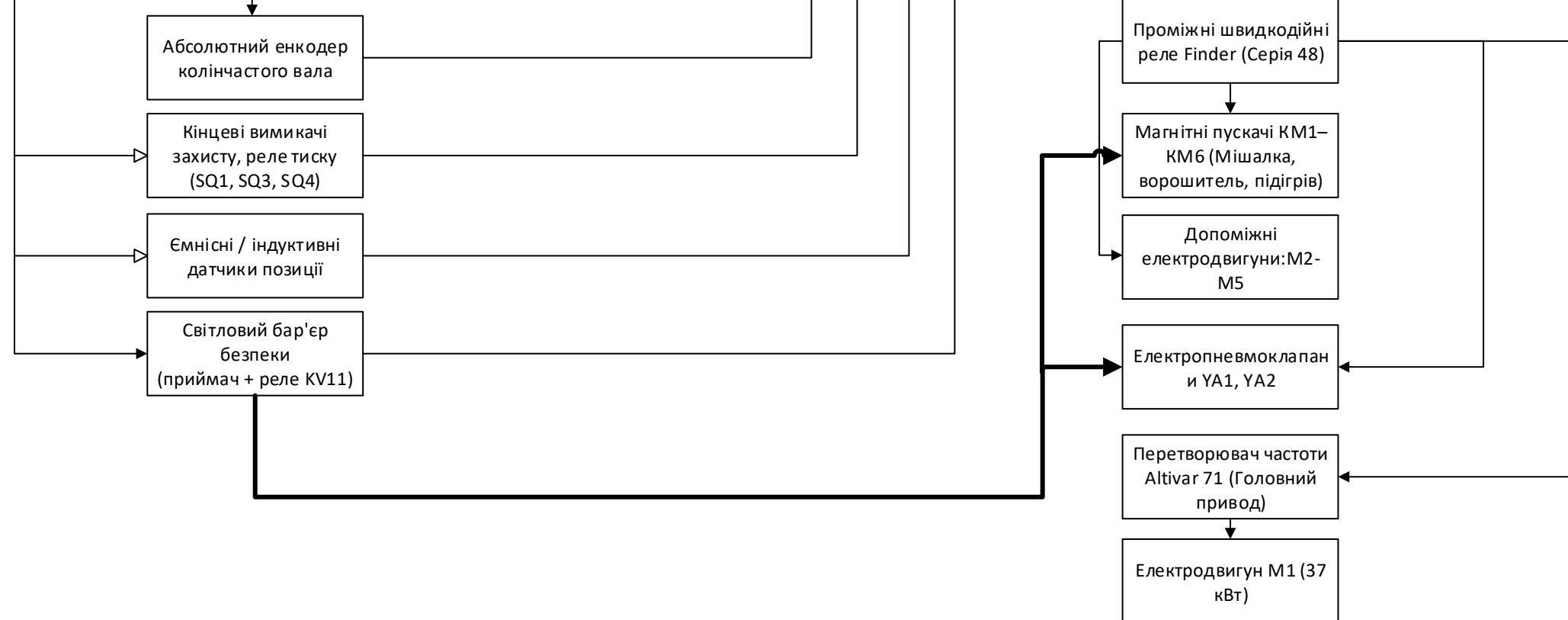
Сенсорна панель
SIMATIC HMI KTP700

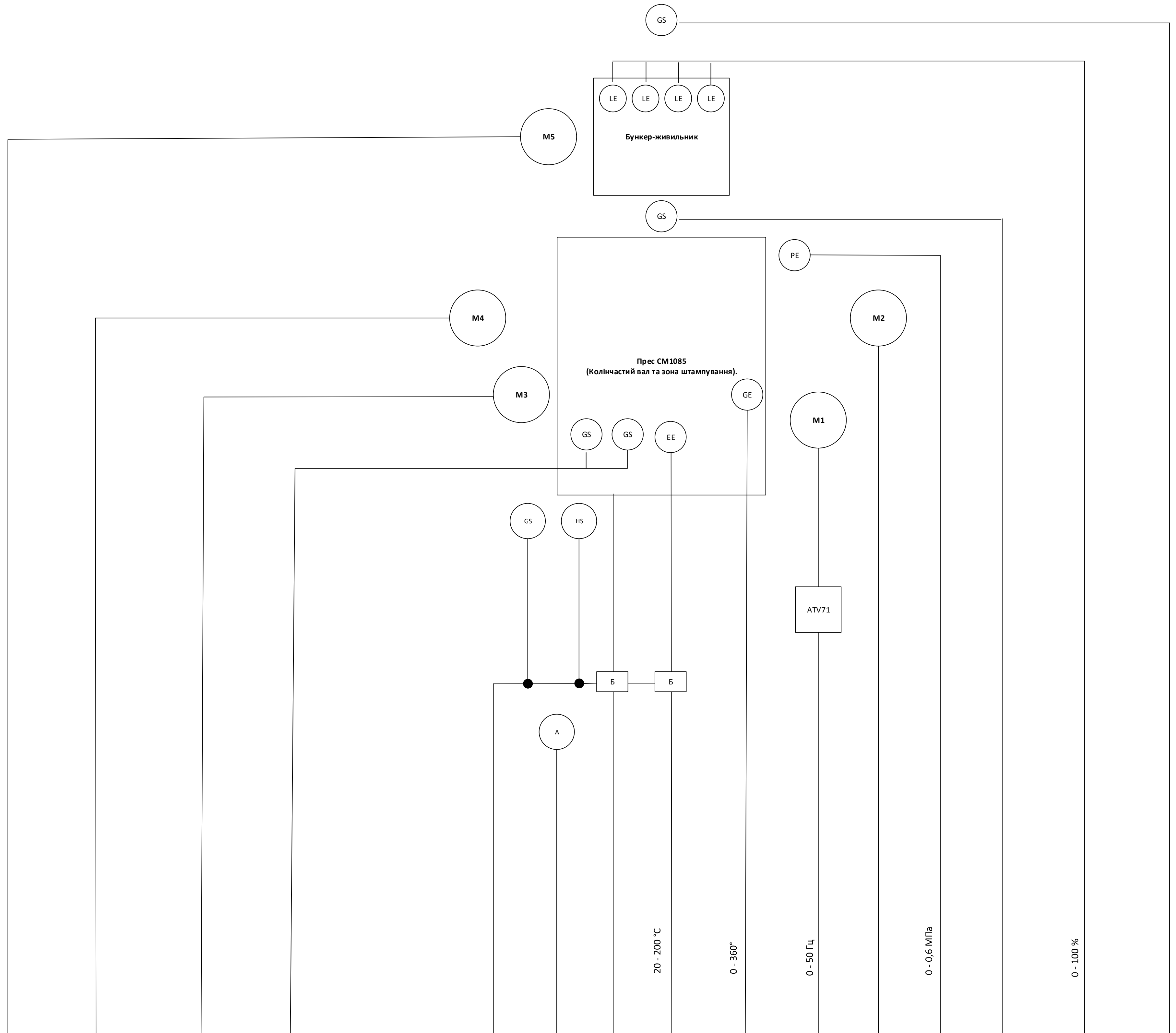
Промисловий
комутатор SCALANCE
XB005

СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (ЛОГІЧНИЙ / ШАФА
КЕРУВАННЯ)



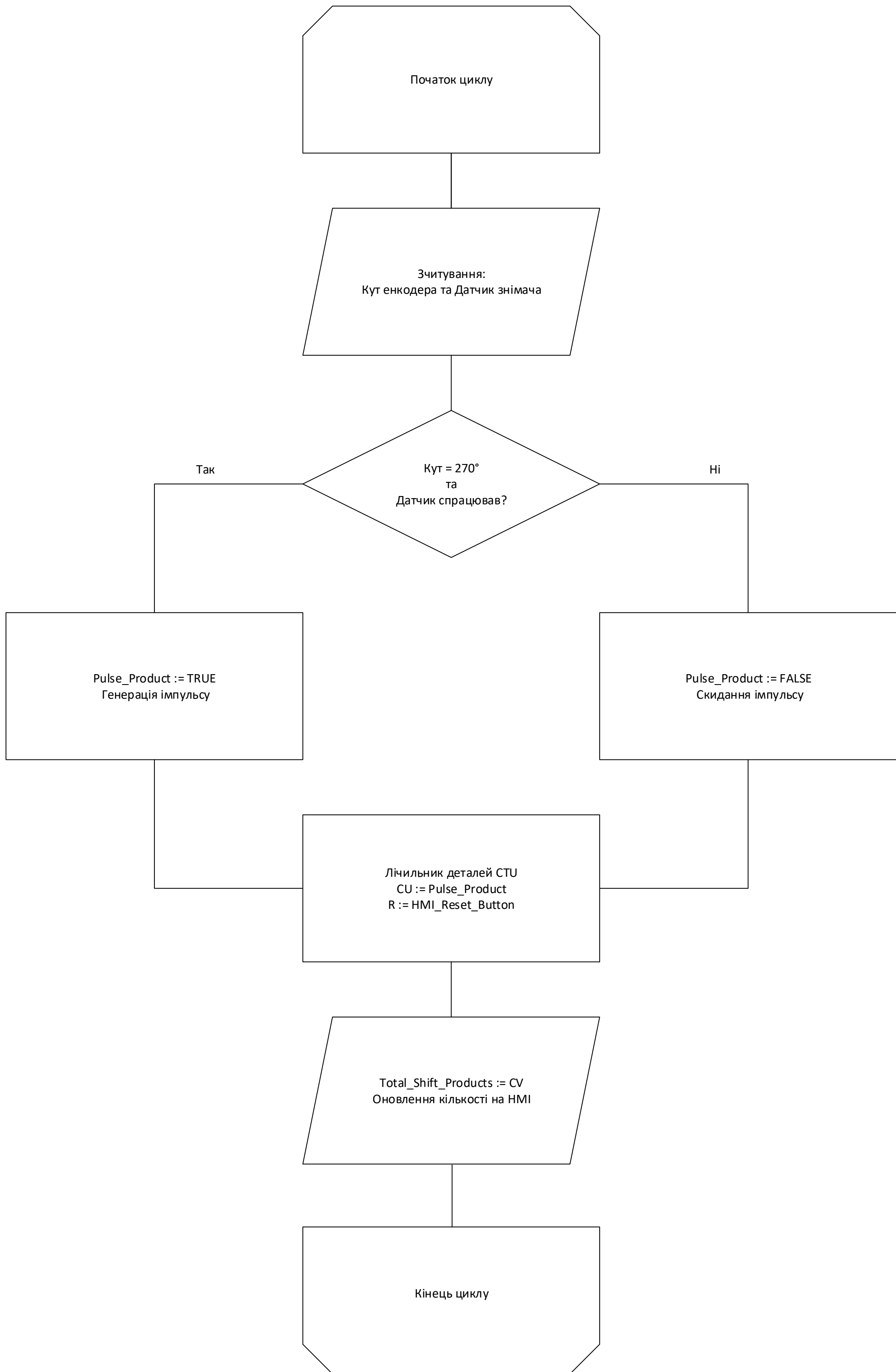
НИЖНІЙ РІВЕНЬ (ПОЛЬОВИЙ / ВИКОНАВЧИЙ)





Прилади на місці																
SIMATIC 57-1200 CPU 1214C DC/DC/DC	ES 1	ES 2	ES 3	GSA 4	SA 5	SA 6	ES 7	ES 8	GCA 9	SC 10	ES 11	PIA 12	GSA 13	LIA 14	GSA	
SIMATIC HMI KTP700	SIMATIC HMI KTP700															
Функції та параметри	Контроль пуску живильника	Контроль пуску гідроштовхача	Контроль пуску воронителя	Контроль положення каретки знімача		Контроль стану ланцюга безпеки	Передпускова звукова сигналізація	Керування пневмомуфтою	Керування підгірвом штамп	Контроль кута повороту юлінавала	Контроль пуску головного привода	Керування приводом регулятора засиски	Контроль тиску в системі змащення	Контроль захисного огороження преса	Контроль рівня шихти в бункері	Контроль положення кришки мішалки

АВЕРС.1Н11а.КРБ14209288.АТХ-4В					
Алюмосилікатний цех					
Зм.	Кіл.	Арх.	№ док.	Підп.	Дата
Розробив	Курілко І.І.				
Перевірив	Мраочиченко В.І.				
Т.контур					
Н.контр					
Затвердив					
Схема функціональна автоматизації					СМ1085 №2
					Н
					1
					1
					ТОВ "ТУ "МЕТІВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА" ФАБІЛ, АВЕРС 151-22-1, 2026



						ABERC.1n11a.14209288.ATX-4B					
						Алюмосилікатний цех					
Зм.	Кіл.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	СМ1085 №2			Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив			Куріпко І.І.						Н	1	1
Перевірів			Мрошніченко В.І.			Блок схема Алгоритм обліку продукції за зміну			ТОВ "ТУ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА" ФАВЦТ, АВЕРС 151-22-1, 2026		
Т.контур											
Н. контр											
Затвердив											