

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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Мехатроніка у гірничо-металургійному комплексі» за спеціальністю
133 Галузеве машинобудування
на тему «Модернізація системи управління складського стелажного
крану в умовах ТОВ "МЕТІНВЕСТ МАШИНЕРІ»

Керівник роботи

Олег СУБОТІН

*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.*

Здобувач

Наталія КОЛЬКОВА

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

Голова ЕК

Андрій ЛЕОНОВ



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»	
Факультет	автоматизації виробництва, інформаційних та управлінських технологій
Кафедра	автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	133 Галузеве машинобудування
ОПП	Мехатроніка у гірничо-металургійному комплексі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

«24» березня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Колькової Наталії Петрівні

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Модернізація системи управління складського стележного крану в умовах ТОВ "МЕТІНВЕСТ МАШИНЕРІ"

керівник роботи Суботін Олег Володимирович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом Університету від 23.02.2026 р. № 41/23.02.2026

2. Строк подання роботи 22.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна та методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, державні стандарти, науково-дослідницькі роботи з обраної тематики, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ТОВ «МЕТІНВЕСТ МАШИНЕРІ» м. Кривий Ріг, результати власних експериментів та досліджень тощо.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки Анотація. Зміст. Вступ (актуальність теми; наукова новизна та практичне значення; об'єкт, предмет та методи дослідження, апробація роботи). 1. Аналіз предметної області (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури системи управління(2.1 Завдання на проектування автоматизації, 2.2 Визначення завдань та методів дослідження. 2.3 Вибір додаткового обладнання та засобів контролю. 2.4 Розрахунок схем елементів системи управління. 2.5 Розрахунок блоку живлення системи управління. 3. Вибір обладнання та технічних засобів автоматизації (3.1 Принципова схема системи управління. 3.2 Проектування схем сполучення. 3.3 Алгоритмічне забезпечення системи керування. 4. Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Принципова схема стабілізованого мережевого перетворювача напруги. Принципова схема вузла клавіатури. Принципова схема цифро-аналогового перетворювача. Принципова схема блоку сигналізації. Принципова схема дешифратора адрес пристроїв виведення. Принципова схема дешифратора адрес пристроїв введення. Принципова схема вхідний гальванічної розв'язки. Схема оптронного ключа із захистом по струму. Принципова схема вихідний гальванічної розв'язки змінного струму не створює перешкод

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


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
2	Начальник Енергомеханічної служби Лактіонов Є.О.
3	Начальник Енергомеханічної служби Лактіонов Є.О.

7. Дата видачі завдання 24.03.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	20.04.2026 – 24.04.2026
2	Розділ 2. Постановка задач автоматизації та обґрунтування запропонованої структури комп'ютерної системи управління	27.04.2026– 01.05.2026
3	Розділ 3. Реалізація запропонованої системи автоматизації	04.05.2026– 08.05.2026
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованої системи автоматизації	11.05.2026– 15.05.2026
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, анотація	18.05.2026 – 22.05.2026
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	25.05.2026 – 29.05.2026
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	01.06.2026 – 19.06.2026
8	Рецензування завершеної роботи. захист	22.06.2026 – 26.06.2026

Здобувач


(підпис)

Наталія КОЛЬКОВА
(ПІБ)

Керівник


(підпис)

Олег СУБОТІН
(ПІБ)

АНОТАЦІЯ

Колькова Наталія Петрівна. Модернізація системи управління складського стелажного крану в умовах ТОВ "МЕТІНВЕСТ МАШИНЕРІ - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Мехатроніка у гірничо-металургійному комплексі» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Метою кваліфікаційної роботи є автоматизація з розрахунком схем управління та блоку живлення роботи стелажного крану.

Об'єктом дослідження є мехатронна система стелажного крану.

Предметом дослідження є автоматизація системи позиціонування стелажного крану.

У першому розділі розглянуто питання стосовно роботи стелажного крану та основних його частин.

У другому розділі проведено аналіз технічної частини стелажного крану.

У третьому розділі детально виконаний проєктування та розрахунок засобів автоматизації та системи управління.

У четвертому розділі наведено техніко-економічне обґрунтування.

У графічній частині наведені: принципова схема стабілізованого мережевого перетворювача напруги; принципова схема вузла клавіатури; принципова схема цифро-аналогового перетворювача; принципова схема блоку сигналізації; принципова схема дешифратора адрес пристроїв виведення; принципова схема дешифратора адрес пристроїв введення; принципова схема вхідний гальванічної розв'язки.

СТЕЛАЖНИЙ КРАН, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ДАТЧИК, СТЕЛАЖ, БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ, КОНТРОЛЛЕР, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, СХЕМА СПОЛУЧЕННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВОД

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ПИТАННЯ	8
1.1 Аналіз конструкції та функціонал роботи стелажного крану	8
1.2 Система управління та електрообладнання	17
1.3 Управління крана	21
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ	23
2.1 Завдання на проєктування автоматизації	23
2.2 Визначення завдань та методів дослідження	23
2.3 Вибір додаткового обладнання та засобів контролю	28
2.4 Розрахунок схем елементів системи управління	30
2.5 Розрахунок блоку живлення системи управління	34
3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	36
3.1 Принципова схема системи управління	36
3.2 Проєктування схем сполучення	44
3.3 Алгоритмічне забезпечення системи керування	45
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	48
4.1 Розрахунок собівартості виробу	48
4.2 Визначення ціни виробу	51
ВИСНОВКИ	52
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53
ДОДАТОК А ПРИНЦИПОВІ СХЕМИ ЗАСОБУ АВТОМАТИЗАЦІЇ	55



ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

ГС – гідросупорт.

КВТ – кіловат.

СКШ – стелажні крани-штабелери.

АС – змінний струм.

ASIC – інтегральна схема спеціального призначення.

DC – постійний струм.

DSP – цифрова обробка сигналів.

JP – джемпер.

ON – команда для дозволу роботи перетворювача.

ORCM – команда для орієнтованого гальмування.

RE – команда для нулювання захистів.

SR/SF – команди для керування напрямком обертання двигуна.

TLH – команда для обмеження моменту на високому рівні.

TLL – команда для обмеження моменту на низькому рівні.



ВСТУП

Сучасне складське господарство прагне до максимальної ефективності, проте класична підлогова техніка (навантажувачі) суттєво обмежує корисну площу через необхідність широких робочих коридорів (AST) та низьку конструктивну висоту підйому. Вирішенням цієї інженерної проблеми стало впровадження стелажних кранів-штабелерів (AS/RS - Automated Storage and Retrieval Systems), які кардинально змінюють підхід до внутрішньоскладської логістики. Ці механізми дозволяють раціонально використовувати простір, заощаджувати трудові ресурси та створювати передумови для переходу до безлюдних технологій. Саме тому вдосконалення конструкції та систем управління стелажних кранів для роботи в автоматичному режимі є надзвичайно актуальним сьогодні.

Еволюція складських систем, спрямована на максимізацію місткості та продуктивності, зумовила інтеграцію високоінтенсивного підйомно-транспортного обладнання. Застосування стелажних кранів-штабелерів забезпечує оптимальне використання усього корисного об'єму приміщення завдяки переходу до висотного вертикального зберігання (понад 12-40 метрів) та мінімізації міжстелажних проходів до ширини самого вантажу. Разом із цим досягається істотне скорочення витрат на лінійний персонал, оскільки мінімізується людський фактор, знижується ризик пошкодження товарно-матеріальних цінностей та оптимізуються операційні витрати (OPEX).

Найголовніше - таке обладнання закладає надійний фундамент для повної автоматизації логістичних процесів завдяки синхронізації з системами управління складом (WMS) та архітектурою програмного забезпечення класу WCS.

З огляду на це, модернізація стелажних кранів для інтеграції в сучасні роботизовані складські комплекси є пріоритетним науково-технічним завданням. Вона передбачає розробку та впровадження високоточних алгоритмів позиціонування (на основі лазерних далекомірів та систем машинного зору), оптимізацію динамічних характеристик приводу за допомогою частотного регулювання, а також інтеграцію інтелектуальних систем енергорекуперації для підвищення загальної енергоефективності складського терміналу.

1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Аналіз конструкції та функціонал роботи стелажного крану

Стелажні крани-штабелери (СКШ) виступають головним системоутворювальним елементом у контурі автоматизації сучасних високоінтенсивних логістичних комплексів. Цей клас підйомно-транспортного обладнання розроблений для прецизійного обслуговування зон зберігання з високою щільністю забудови, де вертикальний габарит систем сягає висоти $H = 10\text{--}25$ метрів. Впровадження СКШ дозволяє кардинально оптимізувати коефіцієнт використання складської кубатури, мінімізувати ширину міжстелажних робочих проходів до технологічного мінімуму та забезпечити безперервний матеріальний потік у режимі 24/7.

Залежно від статичної схеми, особливостей розподілу навантажень та способу інтеграції в будівельні конструкції, крани класифікують за трьома основними конструктивними виконаннями.

Мостові крани-штабелери пересуваються по надземних рейкових коліях, що монтуються безпосередньо на тримні елементи будівлі або на верхні яруси самих стелажних конструкцій, що раціонально для складів середньої висоти.


Стелажні (опорні) крани є найбільш поширеними у висотному сегменті; вони спираються на нижню напрямну рейку, яка приймає на себе всю сукупність вертикальних статичних і динамічних навантажень від маси крана та вантажу, тоді як верхня напрямна виконує виключно функцію стабілізації вертикальності та сприйняття перекидальних моментів.

Підвісні конструкції переміщуються по підвісних двотаврових або спеціальних коліях, закріплених на фермах чи перекриттях стелі, що накладає певні обмеження на граничну вантажопідйомність, але забезпечує гнучкість планування підлогового простору.

Конструктивна архітектура та функціональні вузли.

З інженерної точки зору СКШ є складною просторовою електромеханічною системою з кількома ступенями вільності. Механізм підйому забезпечує вертикальне переміщення вантажопідйомника і в базових виконаннях може спиратися на механічні штовхачі або канатні/ланцюгові системи. Для досягнення високої точності позиціонування та плавності пуско-гальмівних режимів класичні двошвидкісні електродвигуни з допоміжним мікроприводом (що здійснюють перехід на повзучу швидкість перед зупинкою) у процесі модернізації замінюються на асинхронні двигуни з частотно-регульованим приводом або сучасні сервоприводи.

Тяговий орган, виконаний у вигляді навивального барабана або зірочок, конструктивно інтегрується в межах нижньої рами крана. Таке компонування є найбільш раціональним, оскільки зміщує центр ваги всієї



системи максимально вниз, підвищуючи динамічну стійкість і знижуючи амплітуду коливань високої вертикальної колони при різких прискореннях. Поворотна або фіксована колона виконує роль вертикальної несучої щогли, що зазнає складного опору матеріалів на згин та кручення, забезпечуючи жорсткість усього каркаса та точний напрямок руху вантажопідйомної платформи.

Механізм пересування є повнопривідною або комбінованою рейковою ходовою частиною з кінцевими колесами (часто з поліуретановим покриттям для зниження шуму та зносу), яка гарантує стабільну лінійну траєкторію ходу вздовж міжстележного коридору.

Безпосередню взаємодію з об'єктами зберігання здійснює вантажозахватний пристрій, конфігурація якого адаптується під морфологію вантажу. Найчастіше застосовуються телескопічні вила одно- або подвійної глибини висування, здатні симетрично відпрацьовувати робочий хід в обидва боки від осі руху для ефективного обслуговування лівої та правої ліній стележів без розвороту самої колони.

Системи автоматичного керування, позиціонування та безпеки.

Максимальна продуктивність СКШ прямо залежить від досконалості алгоритмів керування та архітектури засобів автоматизації. Прецизійне позиціонування вантажопідйомника навпроти цільової комірки забезпечується дворівневим алгоритмом уповільнення, де режим «дотягування» на низькій частоті обертання двигуна повністю нівелює інерційний вибіг і виключає механічні удари. В сучасних системах для зворотного зв'язку замість дискретних герконових або фотоелектричних датчиків застосовують лазерні далекоміри (абсолютні енкодери), що контролюють координати в реальному часі з точністю до міліметра.

Архітектура безпеки базується на апаратних та програмних блокуваннях, які, наприклад, унеможливають високошвидкісний горизонтальний рух крана за умови висунутого телескопічного захоплення або динамічно обмежують суміщення швидкостей підйому й пересування задля запобігання небезпечному розгойдуванню колони. Комплексний багаторівневий захист включає:


1) електронні тензометричні обмежувачі вантажопідйомності, що блокують привід при перевищенні номінальної ваги вантажу;

2) кінцеві вимикачі аварійного перебігу та гідравлічні буфери в тупикових зонах колії;

3) механічні ексцентрикові або клинові уловлювачі, які миттєво фіксують вантажну платформу на колоні у разі критичного послаблення або обриву тягового каната;

4) оптичні та ультразвукові сканери для запобігання зіткненням з випадковими перешкодами чи елементами конструкцій у проході.

Управління комплексом може реалізовуватися в трьох режимах: ручному (з кабіни оператора, обладнаної ергономічними джойстиками), напівавтоматичному (дистанційне введення координат з підлогового терміналу) або повністю автоматичному, за якого бортовий



програмований логічний контролер (ПЛК) отримує завдання безпосередньо від верхнього рівня системи керування складом (WMS) через промислові бездротові протоколи Wi-Fi або Industrial Ethernet.

Об'єкт модернізації: одноколонний кран типу СК-0,5.

У межах поточного інженерного проєкту розглядається глибока модернізація одноколонного стелажного крана-штабелера моделі СК-0,5, що має номінальну вантажопідйомність 0,5 тонни (500 кг). Ця машина спроектована для виконання повного циклу складських операцій, включаючи автоматичне взяття тари, її просторове переміщення за оптимізованою траєкторією, точне центрування та укладання в комірки комірчастого типу. Завдяки двосторонньому висувному механізму захоплення, об'єкт здатний з високою щільністю обслуговувати два суміжні стелажні масиви паралельно.

Залежно від специфіки логістичного процесу, конструкція СК-0,5 має дві базові модифікації. Виконання з одним телескопічним захопленням орієнтоване на класичну пакетну обробку вантажів, де палета або лоток переміщуються монолітно від зони приймання до комірки зберігання. Модифікація з двома незалежними телескопічними захопленнями адаптована під процеси інтенсивного відбору та комплектування замовлень безпосередньо всередині міжстелажного простору, перетворюючи кран на динамічне робоче місце оператора.

Технологічний алгоритм комплектування в такій модифікації реалізується за замкненим циклом. Оператор, перебуваючи в захищеній кабіні, жорстко фіксує порожню комплектувальну тару на нижньому захватному пристрої. Під час руху вздовж стелажної лінії за оптимізованим WMS-маршрутом кран виконує зупинку навпроти потрібного адресного вікна.

Верхнє телескопічне захоплення висувається в комірку, забирає донорський піддон з деталями та втягує його на платформу. Оператор у ручному режимі здійснює відбір строго визначеної кількості компонентів, перекладає їх у нижню комплектувальну тару, після чого верхній механізм повертає донорську палету назад у комірку зберігання, мінімізуючи загальний час циклу.

Перспективи розвитку та важкі модифікації.

Для логістичних терміналів з надвисоким вантажообігом та важкою номенклатурою товарів розробляються посилені двоколонні модифікації СКШ, спроможні оперувати масами до 2 тонн. У таких машинах вантажопідйомна платформа переміщується між двома паралельними щоглами, що кардинально підвищує загальну жорсткість системи на кручення.

Вони оснащуються двома важкими телескопічними захватами вантажопідйомністю по 1 тонні кожен, між якими розташовується кабіна з ергономічним двостороннім оглядом і прямим доступом до обох вантажних майданчиків.

З метою мінімізації фізичного навантаження на персонал та уникнення травматизму, верхня балка вантажопідйомного візка таких важких кранів додатково комплектується консольною монорейкою з мініатюрною електричною таллю або ручним вакуумним маніпулятором вантажопідйомністю $Q = 0,1-0,15$ тонни (100–150 кг). Це дозволяє оператору без значних зусиль піднімати, кантувати та переміщувати поодинокі важкі вузли або деталі з донорського піддону в консолідаційну тару, що суттєво підвищує ергономічні показники праці, оптимізує таймінг складських операцій та виводить загальну ефективність модернізованого комплексу на новий технологічний рівень.

Конструктивна схема одноколонного стелажного крана-штабелера СК-0,5 показана на рисунку 1.1.

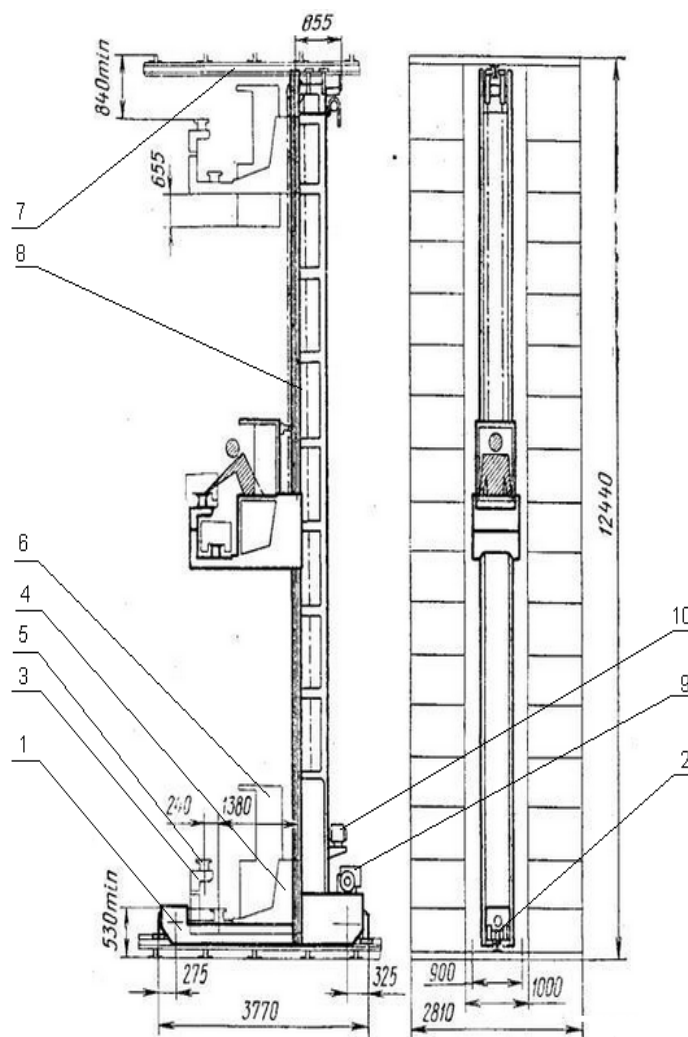



Рисунок 1.1 – Конструктивна схема одноколонного стелажного крана-штабелера СК-0,5:

- 1 - ходова балка; 2 – холосте колесо; 3 - телескопічний захват;
- 4 - консольний вантажопідйомник; 5 - вантаж; 6 - кабіна оператора;
- 7 - горизонтальні ролики; 8 - колона; 9 - канатний механізм підйому;
- 10 - шафа з електрообладнанням



Процес комплектування замовлень за допомогою спеціалізованого обладнання базується на принципах механізації та оптимізації складського простору. Нижче наведено детальний опис функціонування та будови стелажного крана-штабелера.

Організація процесу комплектування замовлень.

Алгоритм відбору товарів та формування замовлень у даній системі багато в чому повторює класичні схеми автоматизованого складування, проте має свої специфічні особливості.

Цикл вилучення вантажу: Оператор, керуючи краном, позиціонує його навпроти потрібного осередку стелажа. За допомогою висувного телескопічного захоплення пакет з вантажем витягується зі стелажної конструкції та переміщується на вантажопідйомну платформу крана.

1) перекомплектування: залежно від ваги та габаритів товарів, перекладання вантажів на інший піддон (формування цільового замовлення) здійснюється або вручну оператором, або із застосуванням допоміжних механізмів, наприклад, електричної талі. Після завершення операції первинний піддон повертається у вільну нішу стелажа;

2) оптимізація продуктивності: конструкція сучасних кранів дозволяє здійснювати укладання вантажів пакетами. Суттєвою перевагою є можливість одночасного транспортування двох пакетів, що значно скорочує кількість холостих пробігів обладнання та підвищує загальну пропускну здатність складу;

3) технічні обмеження: попри високу ефективність, такі крани мають певні недоліки. Зокрема, вони характеризуються підвищеною металоємністю конструкції, що збільшує навантаження на підлогу складу. Також збільшена габаритна довжина крана вимагає ширших міжстелажних проходів, що дещо знижує коефіцієнт використання корисної площі.


Конструктивна будова крана.

Стелажний кран - це складна інженерна споруда, що складається з кількох ключових вузлів, які забезпечують стабільність та точність рухів:

1) ходова частина: в основі крана лежить нижня ходова балка (1) звареної посиленої конструкції; на ній базується рухома система, що складається з приводного колеса (11), яке відповідає за горизонтальне переміщення, та холостого колеса (2), що виконує функцію опори;

2) вертикальна стійка (колона): на балці жорстко змонтована вертикальна колона (8). У верхній частині колони встановлені спеціальні горизонтальні ролики (7), які взаємодіють з верхньою напрямною рейкою та утримують кран у строго вертикальному положенні, запобігаючи розгойдуванню під час руху;

3) вантажопідйомний вузол: по напрямних колони вгору та вниз переміщується консольний вантажопідйомник (4). Він оснащений канатним механізмом підйому (9), який забезпечує плавний та точний рух;



4) електрообладнання: всі системи керування зосереджені в шафі з електрообладнанням (10), яка надійно заріплена на колоні за допомогою спеціального кронштейна.

Робоче місце оператора та механізми захоплення.

Особливу увагу приділено ергономіці та максимальному використанню висоти приміщення:

1) кабіна оператора (6): встановлена безпосередньо на вантажопідйомнику. Головною конструктивною особливістю є наявність вільного ходу кабіни відносно платформи. Це дозволяє оператору підніматися вище рівня вантажу, що дає змогу обслуговувати найвищі яруси стелажів («під саму стелю»). Для реалізації цього механізму на кабіні встановлені власні напрямні, а на вантажопідйомнику - спеціальні обмежувальні упори;

2) телескопічні захоплення (3): призначені для безпосередньої роботи з вантажем (5). Вони здатні висуватися в обидва боки від осі крана, що дозволяє обслуговувати стелажі по обидва боки проходу;

3) L-подібна рама: консольний вантажопідйомник базується на L-подібній рамі. На її вертикальній частині розташовані ролики обкату, канатний блок (або кріплення для ланцюга) та уловлювачі — критично важливий елемент безпеки, який автоматично блокує платформу у разі обриву каната.

Алгоритм роботи обладнання.

Послідовність дій одноколонного стелажного крана в робочому циклі виглядає наступним чином:

1) позиціонування: отримання сигналу на переміщення до заданої координати (стелажа та ярусу);

2) висування захоплень: активація телескопічного механізму для підхоплення піддона;

3) транспортування: підйом/опускання вантажу паралельно з горизонтальним рухом до зони вивантаження або комплектації;

4) маніпуляція з кабіною: у разі потреби роботи на граничних висотах, спрацьовує механізм вільного ходу кабіни для забезпечення кращого огляду та доступу оператора до вантажу.

Процес роботи починається на стартовому завантажувальному майданчику, де за допомогою телескопічного захоплення 3 вантаж 5 бережно встановлюється на вантажопідйомник 4. Щойно об'єкт зафіксовано, система автоматично активує приводи підйому та пересування. Завдяки їхній одночасній роботі вантаж плавно транспортується по діагональній траєкторії безпосередньо до заданої комірки стелажа, що значно оптимізує час циклу.

Коли механізм досягає потрібної координати, приводи вимикаються, зупиняючи вантажопідйомник таким чином, щоб об'єкт знаходився точно над рівнем полиці з технічним зазором у 50...100 мм. Наступним кроком вантажний захоплювач висувається вперед, вносячи вантаж у внутрішню порожнину стелажа.

Після цього вантажопідійомник 4 переходить у режим настановної швидкості та плавно опускається на 80...100 мм, забезпечуючи м'яке приземлення об'єкта на опору.

Після того як вантаж надійно зафіксовано на полиці, телескопічне захоплення повертається у своє вихідне (транспортне) положення на вантажопідійомнику. Завершуючи операцію, механізм знову задіює комбіноване переміщення в горизонтальній і вертикальній площинах, щоб найкоротшим шляхом повернутися до завантажувального майданчика. Як тільки система повертається у вихідну точку, цикл завантаження складу повторюється для наступної одиниці товару.

На рисунку 1.2 показаний графік роботи стелажного крана при установці вантажу в осередок стелажа складу.

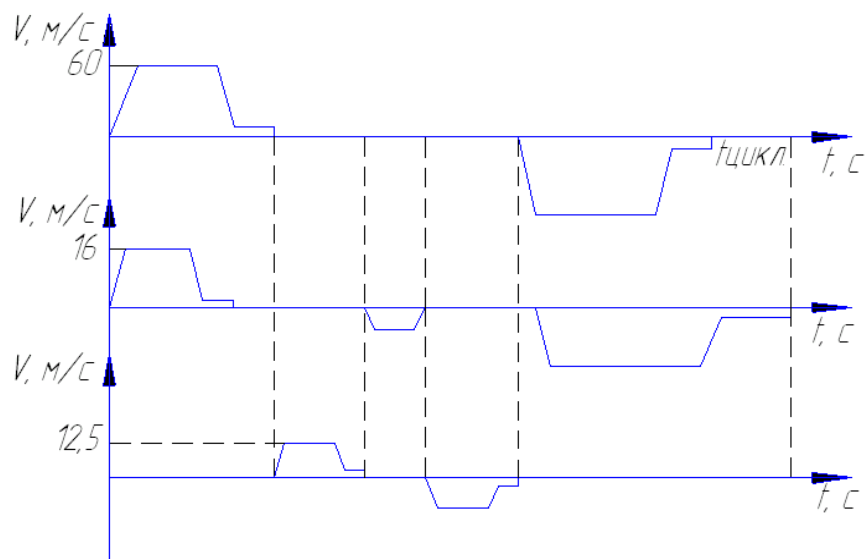


Рисунок 1.2 - Графік роботи стелажного крана при установці вантажу в осередок стелажа

Цикл по розвантаженню складу стелажним краном відбувається подібним чином в зворотній послідовності.

Описуваний стелажний кран, як об'єкт автоматизації, має наступні технічні характеристики:

- 1) швидкість:
 - пересування візка - 60 м / хв;
 - підйому вантажу - 16 м / хв;
 - висунення захоплення - 12,5 м / хв;
- 2) розмір тари в плані - 600 × 800 × 600 мм;
- 3) вантажопідійомність - до 500 кг;
- 4) висота підйому - до 12 м;
- 5) кількість обслуговуваних осередків:
 - по горизонталі - 255;
 - по вертикалі - 16 шт.;

- 6) тип управління - ручний;
- 7) вантаж - в спеціальній тарі.

На стелажних кранах застосовують висувні вилочні або телескопічні захоплення.

Більш економічні висувні телескопічні захоплення. Такий тип і застосований на цьому стелажному крані.

Захоплення складається з трьох секцій: нерухою, проміжною, і висувною. Остання служить опорною майданчиком для установки вантажу. Вона розташована трохи вище за інших секцій, щоб при висуненні вантаж не зачіпав за нерухому і проміжну секції. Проміжна секція має ролики, завдяки яким вона може пересуватися по напрямних нерухої секції. У свою чергу, висувна секція за допомогою роликів рухається по проміжній секції. Ширина всіх секцій однакова і дорівнює максимальній ширині вантажу, що перевозиться.

Проміжна секція висувається приблизно на половину її довжини. Висувна секція виступає з проміжної на ту ж величину. Обидві секції висуваються одночасно за допомогою приводу. Захоплення може висуватися в обидві сторони проходу. Таким чином, узятий з завантажувального пристрою вантаж може бути встановлений в будь-яку сторону без будь-якого повороту вантажного захоплення. Завдяки цьому ширина проходу між стелажми може бути знижена до мінімального розміру, що визначається шириною вантажу, що перевозиться з урахуванням необхідних зазорів між вантажем і стелажми.

На рисунку 1.3 показана схема висувного телескопічного захоплення з горизонтальним розташуванням секцій.

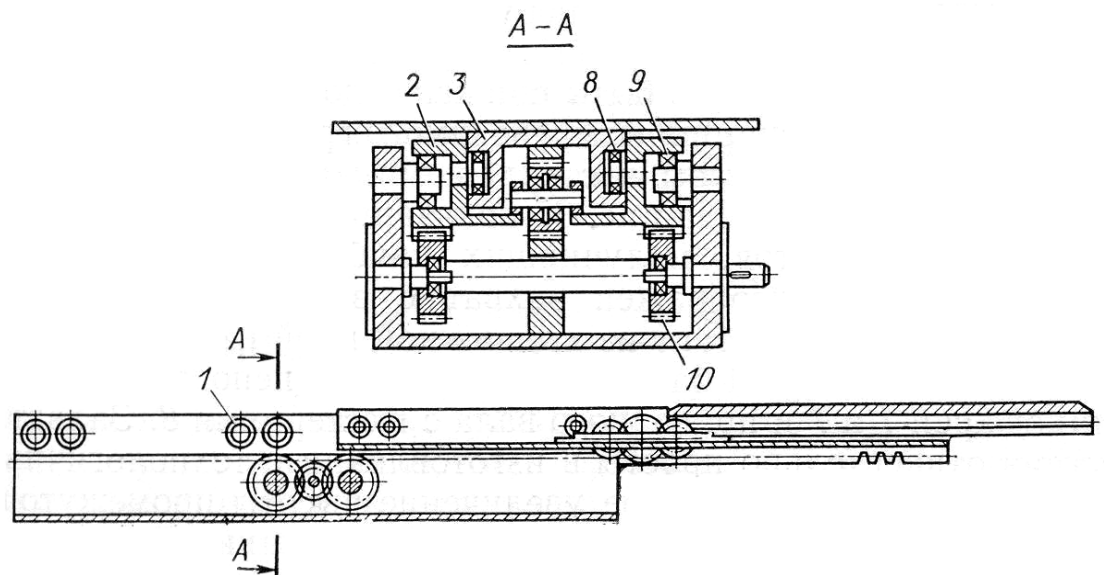



Рисунок 1.3 - Схема висувного телескопічного захоплення з горизонтальним розташуванням секцій



Захоплення виконано так: на висувної секції, встановленої на вантажопідйомнику, кріпляться ролики 9, по яких переміщається проміжний елемент 2, що несе на собі ролики 8, службовці для пересування висувного майданчика 3. На валу проміжного елемента змонтована шестерня, що входить одночасно в зачеплення з зубчастої рейкою, наявної на висувної секції і зубчастої рейкою, закріпленою на нерухомої секції захоплення.

Привод захоплення складається з електродвигуна, редуктора і гальма. На вихідному валу редуктора розміщена шестерня, що входить в зачеплення з шестірнею приводу вала захоплення, що має також дві шестерні, зв'язані з зубчастими рейками, встановленими на проміжному елементі захоплення.

Працює захоплення так. При включенні приводу шестерні за допомогою зубчастих рейок надають поступальний рух проміжному елементу 2, розташована на останній шестерні, що рухається разом з проміжним елементом, входить в зачеплення з нерухомою зубчастої рейкою і змінює рух з подвоєною швидкістю зубчастої рейки, встановленої на висунутій секції захоплення. Таким чином, проміжний і висувний елементи захоплення рухаються одночасно, але основний елемент переміщається вдвічі швидше першого.

Стелажний кран повинен мати підвищену точність зупинки вантажозахоплювального органа. У зв'язку з цим він обладнаний приводами, що забезпечують стійкі установчі швидкості. З тих же міркувань механізми стелажного крана обладнуються гальмами.

Для приводу підйому використовується найбільш поширений канатний привід. Він скомпонований з нормальних вузлів, що застосовуються на підйомно-транспортних машинах інших типів.

Електричні талі, особливо двохшвидкісні, дуже зручні для стелажних кранів. Співвідношення номінальної і настановної швидкостей становить 1:4.

В даному стелажному крані використаний механізм підйому електричних талів серії ТЕ, встановлений на лапах. На рис. 1.4 показаний механізм підйому на базі серійної електроталі типу ТЕ-1 вантажопідйомністю 500 кг. Приводом підйому служить електродвигун, статор 7 якого вбудований в барабан 5, який має праву і ліву нарізки для укладання троса. Барабан обертається в корпусі 4 на шарикопідшипниках. Ротор електродвигуна 6 через двоступеневий редуктор 2 передає обертання на барабан. На валу ротора встановлено електромагнітне гальмо 3 нормально замкнутого типу. Обмотка статора отримує живлення через кільцевий струмознімач 8. Механізм підйому виконується двошвидкісним, так як для точної зупинки вантажу в осередку стелажів потрібні малі установчі швидкості.

В якості приводу підйому використана електроталь, встановлена на нижній балці. Вантажний канат приводу підйому проходить через блоки,

розташовані на верхньому кінці колони і опускається до вантажоприймача.

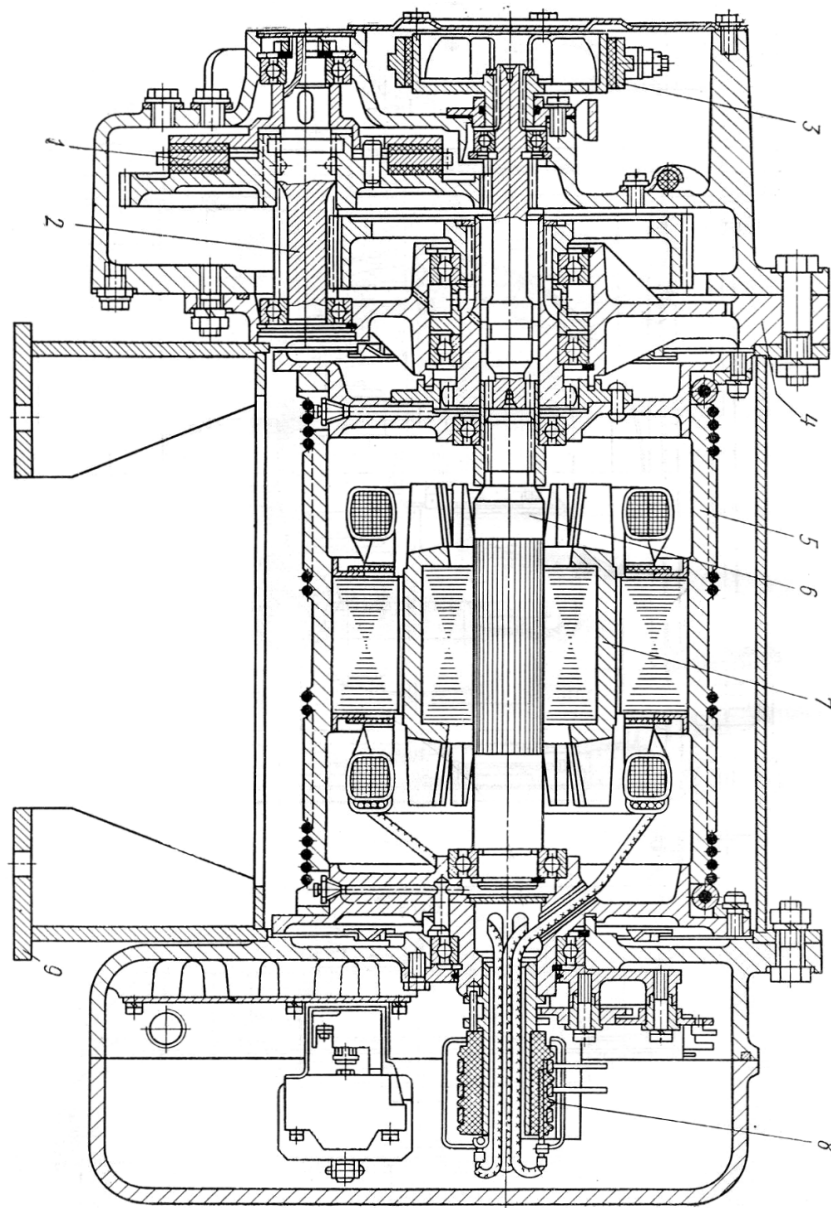


Рисунок 1.4 - Механізм підйому на базі серійної електроталі типу ТЕ-1

1.2 Система управління та електрообладнання


Система управління релейно-контакторне. Наведені нижче електродвигуни в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Двигуни базової системи управління

Механізм	Тип двигуна	Число полюсів	P_H , кВт	n_H , Об / хв.	Режим роботи ПВ, %
Пересування крана	4A132M412 / E	4 12	3,5 1	1430 460	25 15
Підйому каретки	4A160M4 / 16	4 16	5,5 1,0	1440 350	40 15
Висунення захоплення	4AX80B12 / 4EE	4 12	0,37 0,12	1420 455	40 15

Сучасна архітектура системи керування та механічної конструкції даного стележного крана-штабелера базується на інтеграції перевірених часом, стійких до відмов релейно-контакторних схем та передових безконтактних засобів технологічного контролю. Для прецизійного визначення просторового положення рухомих вузлів у міжстележному просторі застосовуються виключно безконтактні колійні датчики (індуктивного, магнітного або оптичного типу), які мають практично необмежений ресурс комутаційної зносостійкості завдяки відсутності механічного стирання елементів. Традиційні електромеханічні кінцеві вимикачі змонтовані лише як резервні елементи в контурах апаратної безпеки для аварійного розриву кіл живлення у разі виходу за межі кінцевих робочих зон.

Головними силовими агрегатами механізмів підйому та пересування виступають двошвидкісні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, які забезпечують ступінчасту зміну крутного моменту. Оскільки номінальні робочі швидкості лінійного переміщення щогли та висунення секцій телескопічних вантажних захоплень є досить високими, виникає потреба у забезпеченні широкого діапазону регулювання частоти обертання вала для безпечного підходу до вантажу. Процес примусового сповільнення реалізується за допомогою перемикання обмоток статора двигуна з більшої кількості полюсів на меншу, що дозволяє перейти з високої транспортної швидкості на малу, так звану «установчу». У цей момент керування безпосередньо переходить до оператора, який оцінює точність позиціонування візуально.




Він змушений працювати в режимі короткочасних увімкнень (режим «поштовхів»), переводячи кран на повзучу швидкість близько 6–8 м/хв. Цей інтенсивний процес маніпуляцій триває до моменту точного суміщення вантажопідйомника з геометрією цільового складського осередку.

Конструктивне виконання кінематичних схем механізмів пересування та підйому виконано за класичною трикомпонентною схемою вантажопідйомного машинобудування. Кожен функціональний вузол є відокремленим блоком, що містить трифазний асинхронний електродвигун, циліндричний або конічно-циліндричний редуктор для трансформації крутного моменту та дискове або колодкове гальмо. Важливою інженерною особливістю є інтеграція спеціальних гальмівних муфт, які одночасно виконують функцію з'єднання вихідного вала двигуна з вхідним валом редуктора та слугують шківом для гальмівних колодок.

Застосування гальм виключно нормально-замкнутого типу є критичною вимогою безпеки: за відсутності напруги масивні кручені пружини тримають колодки щільно затиснутими. Вони розмикаються за допомогою електромагнітного або електрогідроштовхача одночасно з подачею живлення на обмотки двигуна, що гарантує миттєву механічну фіксацію вантажу та запобігає його самовільному опусканню при раптовому знеструмленні мережі. Після фіксації мосту крана у заданій точці оператор активує автономний привід телескопічного захоплення, кінематика якого також базується на асинхронному двигуні, оснащеному індивідуальною гальмівною системою. Для мінімізації динамічних ударів, запобігання небезпечним коливанням високої щогли та збереження металоконструкцій від утворення втомних тріщин, величина прискорення та уповільнення при пускогальмівних режимах суворо обмежена на рівні $0,3 \text{ м/с}^2$. Додатково для стабілізації вантажу відносно вил та нівелювання сил інерції на робочі поверхні висувних секцій захоплень наклеюються зносостійкі гумові килимки з високим коефіцієнтом зчеплення, які додатково демпфують вібрації та захищають тару транспортувальних об'єктів від механічних пошкоджень та подряпин.

Експлуатація такої базової релейно-контакторної системи з ручним керуванням виявляє комплекс експлуатаційних та технологічних недоліків, які лімітують загальну пропускну здатність логістичного комплексу. Ключова деструктивна роль тут належить людському фактору, оскільки оператор здійснює координацію гальмування на основі суб'єктивного зорового сприйняття відстані. Передчасна зупинка або, навпаки, проїзд повз цільову клітинку змушують водія здійснювати додаткові реверсивні пуски двигунів. Такі коригувальні цикли суттєво перегрівають обмотки електродвигунів через кратне зростання пускових струмів, які у 5–7 разів перевищують номінальні значення.

Це також прискорює ерозію контактів магнітних пускачів та фрикційних накладок гальм, паралельно збільшуючи загальний час



виконання логістичної операції та знижуючи ефективність використання складської площі.


Технологічний процес просторової орієнтації вантажопідйомника за ручного керування супроводжується нераціональними траєкторіями руху. Хоча механічна частина дозволяє одночасно здійснювати переміщення крана по підлоговій рейці та підйом вантажної каретки, оператору фізично вкрай важко синхронізувати ці процеси самостійно. Необхідність одночасного відстеження двох координат у просторі призводить до критичного когнітивного навантаження. Через це на практиці оператори використовують роздільний, послідовний алгоритм: спочатку здійснюється лінійний рух крана до потрібного вертикального ряду стелажної системи, і лише після повної зупинки мосту починається підйом або опускання каретки до цільового ярусу. Така роздільна схема руху породжує значні технологічні паузи, не дозволяє оптимізувати вектор швидкості по діагоналі та веде до перевитрати електроенергії через підвищену кількість перехідних процесів у приводах.

Окремим критичним чинником є важкі умови праці персоналу всередині кабіни, що безпосередньо впливає на надійність усієї ергатичної системи «людина-машина». Робота в режимі високої інтенсивності вантажопереробки викликає у водіїв специфічну психофізіологічну втому набагато швидше, ніж стандартні фізичні навантаження. Постійне перебування в обмеженому просторі рухомої кабіни, необхідність безперервного фокусування зору в умовах обмеженої освітленості міжстелажних проходів та монотонне миготіння вертикальних стійок стелажів викликають стійкий стрес і стробоскопічний ефект. Протягом робочої зміни це призводить до зниження швидкості реакції, швидкої втрати концентрації уваги, збільшення кількості помилок при позиціюванні та створює серйозні передумови для виникнення аварійних ситуацій через пошкодження конструкцій стелажів висувними захватами.

Радикальна модернізація та перехід на повністю автоматичну систему керування кардинально змінює кінематику та динаміку робочого циклу стелажного крана, трансформуючи дискретні рухи у плавні безперервні процеси. Замість жорсткої релейної логіки впроваджується програмований логічний контролер (ПЛК), який взаємодіє з розвинутою мережею оптичних, лазерних або кодованих датчиків відстані (абсолютних енкодерів), розміщених уздовж підкранових колій та на вертикальній щоглі. Автоматика безперервно вираховує поточну координату в режимі реального часу та математично моделює оптимальну криву сповільнення.

Це забезпечує точну зупинку вантажопідйомного органу безпосередньо навпроти геометричного центру осередку без будь-якого втручання людини та без використання неефективного ручного режиму «поштовхів».

Ключовою перевагою автоматизованого комплексу є реалізація алгоритмів суміщення просторових рухів декількох приводів за



оптимізованою траєкторією. Інтелектуальна система керування одночасно подає команди на приводи пересування та підйому, розраховуючи їхні швидкості так, щоб траєкторія руху вантажу наближалася до найкоротшої прямої лінії у двовимірній системі координат. Вимкнення та гальмування кожного вузла відбувається незалежно та покровоко, щойно відповідна вісь досягає заданої програмою цільової координати. Це повністю усуває часові затримки, зумовлені обмеженістю людської реакції, мінімізує тривалість перехідних процесів та динамічні удари в трансмісії завдяки застосуванню частотно-регульованих електроприводів замість ступінчастого перемикачів обмоток.

Впровадження автоматизації вищого рівня дозволяє підвищити техніко-економічні показники логістичного центру в геометричній прогресії. Завдяки усуненню паразитарних гальмівних шляхів, оптимізації швидкісних режимів та паралельному відпрацюванню технологічних команд, реальна продуктивність автоматизованих кранів-штабелерів демонструє колосальну перевагу. Математичне моделювання та практичний досвід експлуатації підтверджують, що за абсолютно ідентичних механічних характеристик та потужностей двигунів, стелажний кран із ручним керуванням програє в загальній ефективності автоматизованому аналогу на 20–40%, що робить повну автоматизацію безальтернативним та критично важливим кроком для сучасних високоінтенсивних складських комплексів:


- 1) пересування крана - з 60 м / хв до 120 м / хв;
- 2) підйому вантажу - з 16 м / хв. до 25 м / хв;
- 3) висунення захоплення - з 12,5 м / хв. до 20 м / хв.

1.3 Управління крана

Модернізація базової системи управління передбачає використання вже встановлених на об'єкті двигунів постійного струму, проте їхню роботу буде переведено на керування від сучасних тиристорних приводів. Таке рішення дозволить значно підвищити робочі швидкості та суттєво розширити діапазон їхнього регулювання.

Для реалізації високої швидкості пересування, що сягає близько 150 м/хв, зазвичай доцільно застосовувати прискорення в межах $0,3 \dots 0,5 \text{ м/с}^2$, що відповідає тривалості пуску від 5 до 8 секунд.

Варто зауважити, що у випадках інтенсивного режиму роботи технологічних кранів та за наявності достатнього запасу потужності двигуна можливе використання і більших показників прискорення. Спираючись на нормативні рекомендації, для даного проєкту було визначено наступні параметри: швидкість пересування крана становитиме 120 м/хв, швидкість підйому - 25 м/хв, а швидкість висунення захоплення - 20 м/хв. При цьому для всіх зазначених механізмів стелажного крана прийнято уніфіковане прискорення на рівні $0,5 \text{ м/с}^2$.



Особлива увага приділяється процесу сповільнення: під час гальмування з настановної швидкості до повної зупинки показник прискорення витримується в межах $0,2 \dots 0,25 \text{ м/с}^2$. Це критично важливо для забезпечення точності позиціонування, яка для автоматизованих стелажних кранів має становити $5 \dots 10 \text{ мм}$. Досягнення такої прецизійності можливе лише за умови переходу на знижену швидкість близько $0,4 \dots 0,6 \text{ м/хв}$.

З огляду на те, що номінальна швидкість візка крана складає 120 м/хв , необхідний діапазон регулювання сягає співвідношення $200:1$. Важливо враховувати, що просте зниження швидкості не є панацеєю, оскільки розгойдування вантажу під час перехідних процесів може нівелювати зусилля щодо точного позиціонування. Саме тому для гарантування високої точності фіксування вантажу система керування має забезпечувати плавне зниження швидкості до рівня $10 \dots 15\%$ від номінальної, підтримуючи при цьому виняткову м'якість пусків та гальмувань у всьому робочому циклі.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Завдання на проєктування автоматизації

Система модернізації автоматизованої системи керування стелажного крану СК-0,5 має забезпечувати високоточний автоматичний пошук та ідентифікацію необхідного осередку в стелажній структурі за заданою координатною адресою, що дозволить мінімізувати вплив людського фактора на швидкість виконання складських операцій. Для досягнення максимальних експлуатаційних показників необхідно розробити алгоритми динамічного суміщення рухів різних виконавчих механізмів, зокрема одночасного горизонтального переміщення крана та вертикального підйому вантажозахоплювального пристрою, із забезпеченням оптимальних траєкторій та плавного регулювання швидкостей електроприводів.

У межах розширення функціональних можливостей обладнання передбачається розробка та впровадження системи дистанційного керування краном із віддаленого диспетчерського пункту або іншого приміщення за допомогою заводських промислових мереж чи бездротових каналів зв'язку із низькою затримкою сигналу. Водночас архітектура системи повинна мати дворівневу структуру, яка гнучко інтегрує режим ручного керування з локального пульта, повністю зберігаючи весь раніше наявний базовий функціонал та забезпечуючи безумовний пріоритет захисних блокувань. Важливим інженерним аспектом модернізації є розрахунок та оптимізація перехідних процесів для збільшення робочих швидкостей руху механізмів, що безпосередньо зумовлює підвищення загальної пропускної здатності та продуктивності підйомно-транспортного комплексу.

Окрему увагу в проєкті приділено підвищенню рівня безпеки складських робіт шляхом інтеграції сучасних сенсорних систем, оптичних бар'єрів, пристроїв контролю маси вантажу та кінцевих вимикачів нового покоління, які унеможливають виникнення аварійних ситуацій чи колізій. Завершальним етапом роботи є виконання глибокого техніко-економічного обґрунтування прийнятих у проєкті інженерних рішень, що включає розрахунок капітальних витрат, оцінку терміну окупності впроваджуваного обладнання та підтвердження його енергетичної та експлуатаційної ефективності в умовах сучасного логістичного центру.

2.2 Визначення завдань та методів дослідження.

У цьому дослідженні будуть розглянуті наступні задачі:

- 1) розрахунок та вибір двигунів;
- 2) вибір додаткового обладнання та засобів контролю;
- 3) розрахунок схем сполучення елементів системи управління;
- 4) розрахунок блоку живлення системи управління.

$R = R_{\Pi} + R_{\text{Я}}$ - активний опір якірного ланцюга перетворювач-двигун.

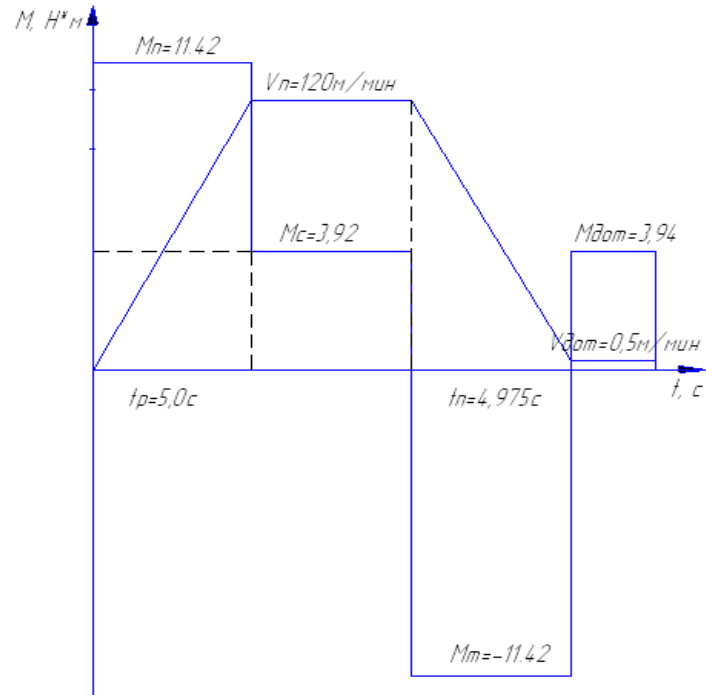


Рисунок 2.1 - Навантажувальна діаграма роботи приводу

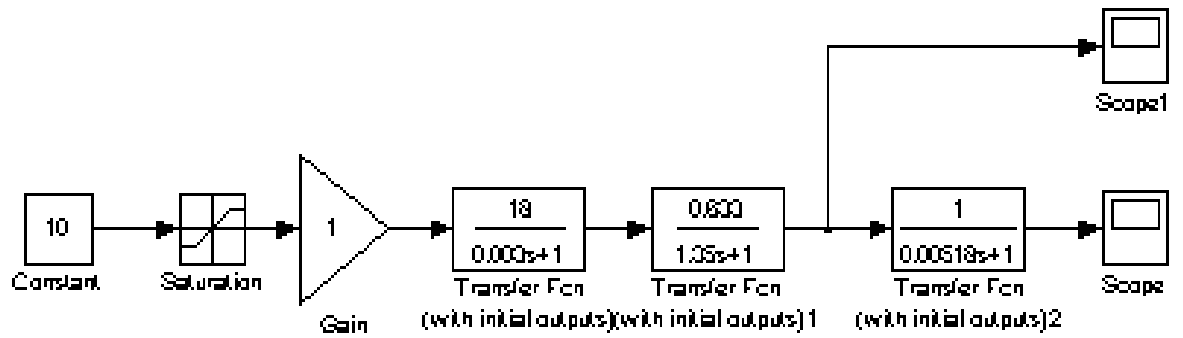


Рисунок 2.2 – Структурна схема моделі об'єкта

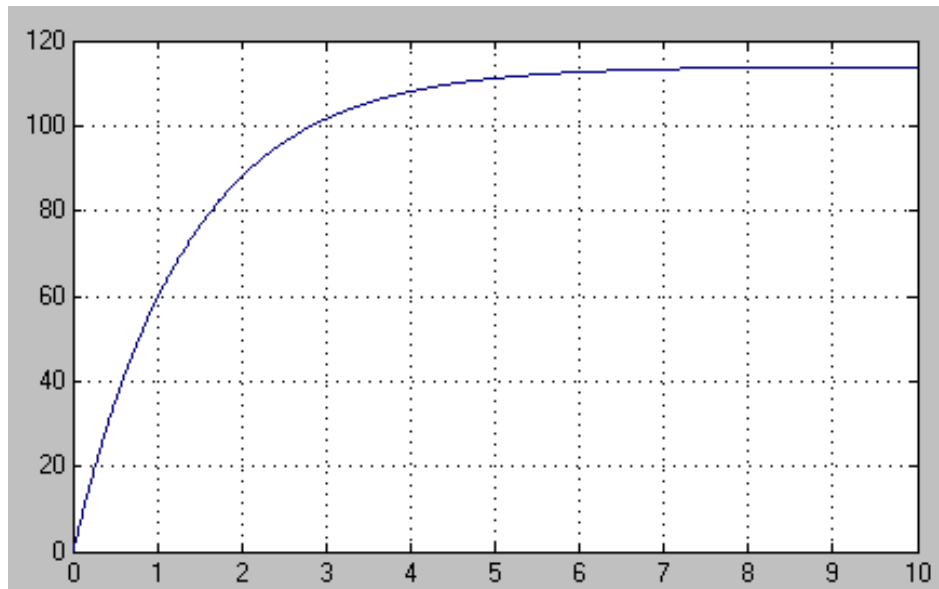


Рисунок 2.3 – Перехідний процес по швидкості

На приводах підйому і пересування застосовані електродвигуни постійного струму з тиристорним регулюванням швидкості, що забезпечують досить широке регулювання швидкості, а також пуск і гальмування механізму з прискоренням (уповільненням) не більше $0,5$. Великий діапазон регулювання швидкості, дозволяє при робочих швидкостях 120 і 25 мати установчі швидкості відповідно 6 і 1.25 м / хв, що забезпечує точність зупинки вантажу в заданих координатах.

За обраним двигунів зробимо вибір реверсивних тиристорних приводів фірми SIEMENS з довідника [5].

Перетворювачі SIMOREG 6RA70 є повністю цифровими компактними приладами для підключення до трифазного напруги, і служать для точного регульованого харчування контурів якоря і збудження приводів постійного струму з регульованою швидкістю обертання. Зазначений на таблиці перетворювача номінальний постійний струм (дорівнює максимально допустимому сталому току) в роботі може бути перевищений в 1,5 рази. Максимальний час перевантаження залежить як від тимчасових характеристик струму перевантаження, так і від попередньої навантаження приладу і є специфічним для приладу параметром.

З каталогу [5] вибираємо наступні тиристорні приводу:

- 1) привод пересування візка - 6RA7 018-6DV62 -0;
- 2) привод висунення захоплення - 6RA7 013-6DV62 -0;
- 3) привод підйому каретки - 6RA7 025-6DV62 -0.

Технічні характеристики приводу 6RA7 018-6DV62 -0 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики приводу 6RA7018-6DV62-0

Номінальна. напруга підключення, В	3АС400 (+ 15% / - 20%)
Номінальна. напруга живлення електроніки, В	2АС400 (+ 15% / - 25%); In = 0,5 А
Номінальна. напруга підключення вентилятора, В	3АС400 (\pm 15%); 0,24А, 95Вт Витрата повітря: 570 м ³ / год Шум вентилятора: 63 дБА
Номінальна. напруга живлення регулятора обмотки збудження, В	2АС400 (+ 15% / - 20%);
Номінальна. частота, Гц	Прилади адаптуються автоматично в діапазоні частоти напруги мережі від 45 до 65 Гц (якір і поле є незалежними).
Номінальна. постійна напруга якоря, В	420
Номінальна. постійний струм якоря, А	30
Допустиме перевантаження	макс. 1,5 кратний нормований постійний струм
Номінальна потужність, кВт	12
Втрата потужності при номінальному струмі, Вт	440
Номінальна. постійна напруга збудження, В	310
Номінальний постійний струм збудження, А	3
Оточуюча температура під час роботи, С °	від 0 до 45 при номінальному струмі з власним охолодженням

Технічні характеристики приводу 6RA7 013-6DV62-0 наведені в таблиці 2.2 та таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики приводу 6RA7013-6DV62-0

Номінальна. напруга підключення, В	3AC400 (+ 15% / - 20%)
Номінальна. напруга живлення електроніки, В	2AC400 (+ 15% / - 25%); $I_n = 0,5 \text{ A}$
Номінальна. напруга вентилятора, В	3AC400 ($\pm 15\%$); 0,24А, 95Вт. Витрата повітря: 570 м ³ / год Шум вентилятора: 63 дБА.
Номінальна. напруга живлення регулятора обмотки збудження, В	2AC400 (+ 15% / - 20%);
Номінальна. частота, Гц	Прилади адаптуються автоматично
Номінальна. постійна напруга якоря, В	420
Номінальний постійний струм якоря, А	15
Перевантаження	до 1,5 кратний нормований постійний струм
Номінальна потужність, кВт	6
Втрата потужності при номінальному струмі, Вт	440
Номінальна напруга збудження, В	310
Номінальний струм збудження, А	1,5
Температура оточення під час роботи, С °	від 0 до 45 при номінальному струмі з власним охолодженням
Постійна системи регулювання	$\Delta n = 0,01\%$ нормованої швидкості обертання при аналог. тахометрі

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики приводу 6RA7025-6DV62-0

Характеристика	Значення
Номінальна. напруга підключення, В	3AC400 (+ 15% / - 20%)
Номінальна. напруга живлення електроніки, В	2AC400 (+ 15% / - 25%); $I_n = 0,5 \text{ A}$
Номінальна. напруга підключення вентилятора, В	3AC400 ($\pm 15\%$); 0,24А, 95Вт. Витрата повітря: 570 м ³ / год. Шум вентилятора: 63 дБА
Номінальна. напруга живлення регулятора обмотки збудження, В	2AC400 (+ 15% / - 20%)


Продовження таблиці 2.3

Характеристика	Значення
Номинальна частота, Гц	Прилади адаптуються автоматично
Номинальна. постійна напруга якоря, В	420
Номинальний постійний струм якоря, А	30
Допустиме перевантаження	до 1,5 кратний нормований постійний струм
Номинальна потужність, кВт	12
Втрата потужності при номінальному струмі, Вт	440
Номинальна постійна напруга збудження, В	310
Номинальний постійний струм збудження, А	3
Температура оточення під час роботи, С °	від 0 до 45 при номінальному струмі з власним охолодженням
Постійна системи регулювання	$\Delta n = 0,01\%$ нормованої швидкості двигуна при аналог. тахометрі

2.3 Вибір додаткового обладнання та засобів контролю

Для забезпечення автоматичного та безпомилкового пошуку заданої комірки з вантажем на стележних конструкціях впроваджується дискретна кодова система адресування. Навпроти кожного вертикального ряду осередків монтуються спеціалізовані кодові пластини, які формують унікальну комбінацію для кожної позиції. Зчитування інформації здійснюється за допомогою блоку з 8 безконтактних датчиків, жорстко закріплених на ходовій балці крана-штабелера. Використання 8-розрядного двійкового коду - або оптимізованого коду Грея для виключення динамічних помилок зчитування на стиках пластин - дозволяє закодувати до 256 унікальних положень, що повністю задовольняє вимогу адресації 255 осередків по горизонталі. При русі ходової балки датчики формують паралельний цифровий сигнал, який передається в систему керування для безперервного порівняння поточного координатного значення з цільовим.

Вертикальне переміщення вантажопідйомника контролюється аналогічним чином за допомогою кодових пластин, розміщених на щоглі або колоні крана-штабелера навпроти кожного ярусу зберігання. Блок зчитування, що складається з 4 безконтактних датчиків, інтегрується безпосередньо на рухому платформу вантажозахоплювального механізму. Чотири розряди забезпечують формування 16 унікальних



комбінацій для точної ідентифікації 16 вертикальних рівнів. Для гарантування безпеки та виключення аварійних ситуацій на крайніх межах ходу додатково встановлюються два кінцеві датчики фіксування граничного верхнього та нижнього положень, які працюють у парі з відповідними упорними пластинами та дублюють логіку обмеження руху на апаратному рівні для безпечного виконання операцій «покласти» та «взяти» вантаж.


Вантажозахоплювальний механізм оснащується комплексом датчиків для контролю трипозиційного циклу роботи телескопічних вил, що включає ліве висування, вихідне середнє положення та праве висування.

Система містить датчики точного зупину в нульовій центральній точці, а також кінцеві вимикачі лівого та правого положень. Для мінімізації динамічних ударних навантажень на механічні передачі під час підходу до крайніх точок застосовуються датчики уповільнення, які завчасно перемикають привід на понижену швидкість позиціонування. Додатково алгоритм безпеки розширюється датчиками контролю стану «захоплення засунуто» та «захоплення висунуто», що апаратно блокує вертикальне або горизонтальне переміщення самого крана-штабелера до моменту повного повернення вил у габарити безпеки.

Враховуючи значну протяжність кабельних трас уздовж усього складського прогону та високий рівень індустриальних завад від силового електроприводу, до датчиків позиціонування висуваються підвищені вимоги щодо завадозахищеності. Доцільно застосувати транзисторні безконтактні датчики положення типу БТП-201. Ці пристрої мають номінальну відстань спрацьовування 10–12 мм, працюють від стандартної напруги живлення 24 В постійного струму та видають чіткий логічний сигнал амплітудою 24 В, що забезпечує високе співвідношення сигнал/шум. Підключення датчиків виконується екранованим кабелем типу «кручена пара», який прокладається в гнучких кабельних лотках або кабель-треках для захисту від механічного зносу та електромагнітних наведень від силових ланцюгів.

Головний приводний двигун ходової балки, силовий редуктор, розподільні муфти та центральна шафа керування компонуються безпосередньо на нижній ходовій платформі крана-штабелера. Для реверсування та вибору напрямку руху без зміни напрямку обертання вала головного двигуна застосовуються електромагнітні багатодискові муфти типу ЕТМ 082. Дані муфти розраховані на керуючу напругу 24 В постійного струму та споживають струм 1.3 А, що дозволяє комутувати їх через проміжні реле шафи керування або безпосередньо через транзисторні виходи промислового контролера (PLC) за умови використання захисних діодних модулів для гасіння зворотного сплеску самоіндукції при відключенні котушок.

Для жорсткої фіксації виконавчих механізмів у просторі після відпрацювання координати та зняття крутного моменту з приводів



використовується система електромагнітних гальмівних муфт. Муфта E6 забезпечує екстрене та статичне гальмування ходової балки по осі X, муфта E7 відповідає за утримання вантажної платформи на заданій висоті по осі Y, запобігаючи самовільному опусканню під дією сили тяжіння вантажу, а муфта E8 гарантує надійну фіксацію телескопічного захоплення по осі W під час транспортування. Алгоритм керування передбачає випереджувальне ввімкнення гальмівних муфт відразу після спрацьовування датчиків точного зупину відповідної осі, що повністю виключає інерційний вибіг механізмів за межі допустимого інженерного допуску.

2.4 Розрахунок схем елементів системи управління


Уніфікація апаратних рішень є ключовим фактором підвищення надійності та ремонтпридатності промислових систем управління. Оскільки всі вхідні інформаційні сигнали надходять від безконтактних датчиків (індуктивних, ємнісних або оптичних), вхідні канали системи виконані за ідентичними схемними рішеннями. Це дозволяє стандартизувати процеси діагностики та обслуговування модулів введення-виведення.

Для захисту чутливої цифрової логіки системи управління від високовольтних завад, комутаційних сплесків та контурів заземлення, вхідні кола датчиків гальванічно розв'язані з внутрішніми шинами за допомогою високошвидкісних оптронів. Крім функції бар'єра іскрозахисту та завадостійкості, вузол введення виконує погодження рівнів напруги, перетворюючи стандартний промисловий сигнал 24 В постійного струму у внутрішній логічний рівень 5 В, необхідний для коректної роботи мікропроцесорного комплексу.

Для забезпечення синхронізації та виключення втрати даних поточний стан датчиків фіксується в буферному регістрі даних. Цей регістр тимчасово зберігає інформацію та дозволяє центральному процесору зчитувати актуальний стан периферії за визначеною адресою в просторі пам'яті або введення-виведення, мінімізуючи вплив перехідних процесів і брязкоту контактів.

Для комутації індуктивного навантаження, яким є електромагнітні гальмівні муфти, застосовуються спеціалізовані транзисторні ключі з оптоелектронною гальванічною розв'язкою. Особливістю умов експлуатації кранів-штабелерів є висока динаміка руху, вібрації та ризик механічного пошкодження кабельних трас, що може призвести до міжвиткового замикання в котушках муфт або замикання лінії на корпус.

На відміну від традиційних схем керування, де використовуються плавкі запобіжники або теплові реле, в даній архітектурі реалізовано високошвидкісний електронний захист від перевантаження по струму та короткого замикання в колі навантаження. Це критично важливо для забезпечення безперебійної роботи крана-штабелера, оскільки дозволяє миттєво ізолювати аварійну ділянку без пошкодження самого силового



ключа та суміжних модулів системи автоматизації. Принципова електрична схема оптронного ключа з інтегрованим захистом по струму детально наведена на рисунку 8.

Головна перевага розробленого пристрою перед наявними аналогами полягає в алгоритмі функціонування вузла електронного захисту.

При виникненні аварійного режиму схема переходить у режим обмеження струму, при якому потужність, що розсіюється вихідним силовим транзистором ключа в режимі короткого замикання вихідного ланцюга, жорстко обмежується і не перевищує його теплових втрат при номінальному навантаженні. Це запобігає тепловому пробою транзистора і позбавляє від необхідності встановлення масивних охолоджувальних радіаторів.

Елементна база та режим роботи ключа оптимізовані під промислові стандарти. Струм керування по входу (кола світлодіода оптрона) становить 10–15 мА, що дозволяє підключати ключ безпосередньо до стандартних виходів мікросхем логіки або малопотужних мікроконтролерів.

Максимальний струм комутації ключа в тривалому режимі досягає 10 А при номінальній напрузі живлення силової частини 24 В постійного струму. У випадку виникнення прямого короткого замикання у вихідному ланцюзі, система захисту практично миттєво знижує струм замикання до безпечного рівня - не більше 20 мА, переводячи ключ у режим очікування усунення аварії.

У вихідному (початковому) стані, коли керуючий сигнал на вхід модуля не подається, струм у колі світлодіода оптрона U1 відсутній. Внаслідок цього внутрішній фототранзистор оптрона перебуває в закритому (непровідному) стані. За відсутності базового струму керування, зміщувальні потенціали на переходах наступних каскадів розподіляються так, що транзистор попереднього підсилення VT1 та головний силовий комутаційний транзистор VT2 також залишаються повністю закритими. Крізь навантаження протікає лише незначний струм витоку, електромагнітна муфта знеструмлена, а гальмо крана-штабелера перебуває в зафіксованому (закритому) стані, що гарантує безпеку системи при відсутності живлення або при перезавантаженні контролера.

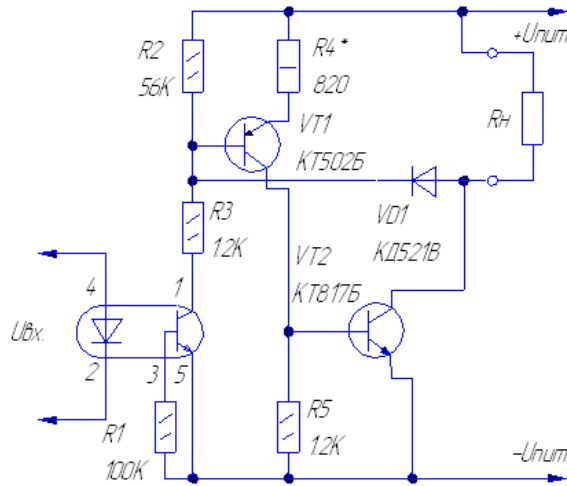


Рисунок 2.4 – Схема оптронного ключа із захистом струму

При появі сигналу оптрон відкриється і з'явиться струм в ланцюзі резистора R3. Так як $R3 \ll R2$, то падіння напруги на R2 буде близько до напруги джерела живлення.

Резистор R4 задає струм емітера транзистора VT1. Більша частина цього струму є базовим струмом транзистора VT2. Таким чином, транзистор VT2 виявиться насиченим і через навантаження Rn потече струм. У цьому стані діод VD1 буде закритий зворотним напругою і не впливатиме на роботу ключа.

У разі порушення нормальних умов експлуатації ключа, наприклад, при зменшенні опору навантаження, струм в її ланцюга буде збільшуватися до тих пір, поки транзистор VT2 не почне виходити з насичення.

Збільшення падіння напруги між його колектором і емітером призведе спочатку до відкривання діода VD1, а потім до зменшення падіння напруги на резисторі R2. При цьому зменшиться струм емітера транзистора VT1, а значить, ще більше закриється транзистор VT2 і зменшиться його ток колектора.

У разі замикання ланцюга навантаження падіння напруги на резисторі R2 не перевищить падіння напруги на відкритому діоді VD1 (близько 0.7 V), тому дуже малий і струм емітера транзистора Vt1. Цього струму не вистачає для відкривання транзистора VT2. У ланцюзі навантаження буде протікати тільки прямий струм діода VD1 через R3 (близько 20 мА). Таким чином, струм замикання буде значно менше номінального комутованого струму.

Після усунення причини замикання ланцюга навантаження, ключ автоматично повертається в робочий режим.

Технічне рішення, покладене в основу ключа захищено авторським свідоцтвом СРСР №1354409.

На рисунку 2.5 показана схема вихідного вузла симісторного комутатора, який не створює перешкод.

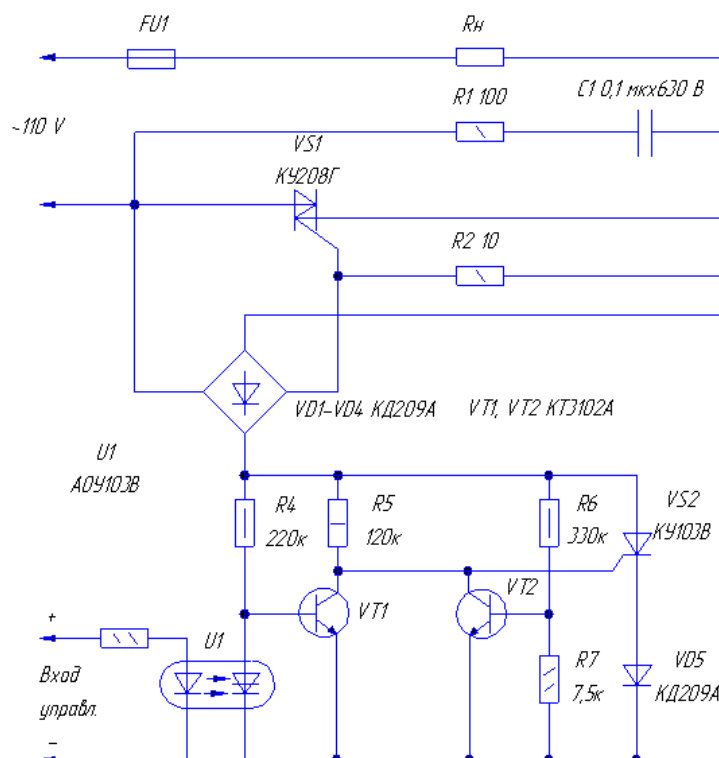


Рисунок 2.5 – Симісторний комутатор

Тиристор VS2, який відкривається на початку кожного напівперіоду напруги мережі, включає симістор VS1. Це відбувається тільки тоді, коли на керуючому вході вузла присутня постійна напруга + 5V і відкритий диністор оптрона U1. Транзистор VT1 в цей час закритий. Для того, щоб на керуючий електрод тиристора VS2 надходив сигнал через резистор R5, необхідно, щоб був закритий і транзистор VT2. Резистори R6 і R7 дільника напруги підібрані так, що транзистор VT2 закритий тільки на початку напівперіоду напруги мережі (при фазовому вугіллі не більше 10).

Таким чином, тиристор VS2, а значить і симістор VS1 можуть відкритися тільки на початку напівперіоду напруги мережі. Якщо ж керуючу напругу + 5V з'явиться ближче до середини полупериода, то струм через навантаження почне протікати тільки з початку наступного напівперіоду. Фільтр R1C1, підключений паралельно симісторів послаблює високочастотні перешкоди з мережі, які можуть викликати некероване включення симістора.

Схемотехнічне рішення запозичене з японського промислового регулятора температури.

2.5 Розрахунок блоку живлення системи управління

Для забезпечення заданих масогабаритних показників, високої енергоефективності (ККД) та надійної гальванічної ізоляції від промислової мережі при вихідній потужності 25–30 Вт оптимальним інженерним рішенням є застосування однотактного зворотного імпульсного перетворювача. Висока частота перетворення дозволяє суттєво зменшити габарити магнітопроводу трансформатора та ємність фільтрувальних конденсаторів у порівнянні з класичними трансформаторними джерелами.

Процес передачі енергії у вторинне навантаження відбувається під час паузи (зворотного ходу), коли силовий ключ закритий, що забезпечує гнучке регулювання вихідних параметрів та високу стійкість системи до динамічних змін у навантаженні. Принципова схема пристрою, зображена у Додатку А, відображає функціональну взаємодію між силовими елементами та низьковольтним вузлом керування. Вхідний вузол підключення до мережі містить заводозаглушувальні конденсатори С1 і С2, які виконують роль фільтра електромагнітної сумісності, ефективно замикаючи на себе високочастотні комутаційні перешкоди та запобігаючи їх проникненню назад у мережу живлення.


Далі мережева напруга випрямляється діодним мостом VD1 і згладжується пасивним R4C3C4-фільтром. Цей фільтр мінімізує низькочастотні пульсації частотою 100 Гц та обмежує амплітуду пускового струму під час первинного заряду ємностей. Система керування й формування імпульсів побудована на базі логічної мікросхеми DD1. Автоколивальний задавальний генератор на елементах DD1.1–DD1.3 генерує базову частоту перетворення, а спеціалізований ланцюг R17C7 забезпечує його надійний і плавний запуск у момент подачі живлення, запобігаючи хаотичним перехідним процесам.

Формувач прямокутних імпульсів на елементах DD1.4–DD1.6 спільно з транзисторами драйвера VT2 і VT4 оптимізує крутизну фронтів керуючого сигналу.

Це необхідно для забезпечення максимальної швидкості відпирання та замикання потужного електронного ключа VT3, що кардинально знижує динамічні (комутаційні) втрати потужності на транзисторі та запобігає його перегріву. Високочастотний імпульсний трансформатор Т1 виконує подвійну функцію: накоплювача енергії та елемента гальванічного розділення первинних і вторинних кіл для безпеки користувача.

Коли ключ VT3 відкритий, струм протікає через первинну обмотку Т1, накопичуючи магнітну енергію в зазорі сердечника.

У момент закриття ключа полярність напруги на обмотках змінюється на протилежну, і накопичена енергія через вторинні випрямлячі та згладжувальні фільтри віддається у навантаження. Регульоване джерело струму на транзисторі VT5 інтегроване в контур зворотного зв'язку, що дозволяє динамічно корегувати тривалість або



частоту імпульсів для точної стабілізації вихідної напруги. Захист від аварійних режимів реалізовано на базі низькоомного датчика струму R10 та транзистора VT1, який у разі перевантаження або короткого замикання у навантаженні миттєво шунтує керуючий сигнал, блокуючи роботу силового ключа VT3 і захищаючи пристрій від теплового руйнування.

З включенням пристрою в мережу починаються заряджатися конденсатори C3, C4 і C7.

Після того, як напруга на C7 виросте до рівня, необхідного для роботи мікросхеми DD1 (приблизно 3V), самозбуджується задає генератор (DD1.1-DD1.3). Частота проходження його імпульсів (залежить від постійної часу ланцюга R7C5) - близько 20 кГц. Пристрій для формування (DD1.4-DD1.6, VT2, VT4) перетворює коливання генератора в прямокутні імпульси. Оскільки послідовності імпульсів на базах транзисторів VT2, VT4 протифазно, вони відкриваються по черзі, що забезпечує мінімальний час відкривання і закривання транзистора VT3. Коли транзистор VT3 відкритий, через обмотку 1 тече лінійно збільшується струм і трансформатор T1 накопичує енергію, а коли закритий (струму через первинну обмотку немає), енергія, накопичена трансформатором перетворюється в струм вторинних обмоток.

Вихідна напруга перетворювача стабілізує регульоване джерело струму, виконаний на транзисторах VT5. (VT5.2 використаний як стабілітрон). При коливаннях напруги в мережі або на навантаженні змінюється напруга на обмотці 2 і регульований джерело струму, впливаючи на формувач (змінюючи вхідний струм інвертора DD1.4) змінює шпаруватість прямокутних імпульсів на базі транзистора VT3.

При збільшенні імпульсного струму через резистор R10 понад деякого порогового значення транзистор VT1 відкривається і розряджає конденсатор C6. Він служить для запобігання помилкового спрацьовування захисного пристрою від коротких викидів струму, що виникають в момент включення перетворювача, а також під час перемикавання транзистора VT3. В результаті імпульси задає перестають надходити на базу транзистора VT3 і перетворювач припиняє роботу. При усуненні перевантаження блок живлення запускається знову.

3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Принципова схема системи управління


Автоматизована система управління краном-штабелером спроектована на базі високопродуктивного восьмирозрядного однокристального мікроконтролера сімейства МК51 (архітектура 8051), виготовленого за класичною n-МОП технологією. Дана модифікація мікросхеми належить до бездискових версій, тобто не містить інтегрованої на кристал масочної пам'яті програм. Для забезпечення гнучкості керування та можливості оперативного оновлення алгоритмів руху крана, архітектура системи реалізує роздільний простір пам'яті (Гарвардська архітектура) з підключенням зовнішнього постійного або ультрафіолетово-перепрограмованого запам'ятовуючого пристрою (зовнішнє ПЗП) максимальним обсягом до 64 Кбайт. У поточному схемотехнічному рішенні контролера задіяно зовнішню мікросхему пам'яті програм максимального для цієї архітектури об'єму - 64 Кбайт, що дозволяє розміщувати складні матриці позиціонування та логіку обробки аварійних ситуацій. Для спрощення сервісного обслуговування та модернізації програмного забезпечення мікросхема пам'яті встановлюється у спеціальну інструментальну панель (сокет), що дозволяє швидко вилучати її для перезапису на універсальному зовнішньому програматорі без демонтажу всього модуля керування.

Внутрішня напівпровідникова структура мікроконтролера містить інтегрований блок оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗУ даних) ємністю 128 байт, який виконує роль надшвидкої буферної пам'яті для зберігання поточних змінних, прапорів стану та системного стека. При ускладненні алгоритмів адресації та необхідності логування великих масивів телеметрії крана, системна шина дозволяє розширити адресний простір оперативної пам'яті даних до аналогічної межі у 64 Кбайт шляхом інтеграції додаткових зовнішніх статичних мікросхем ОЗУ.

Застосований однокристальний мікрокомп'ютер містить повний набір функціональних вузлів, які забезпечують його автономне функціонування як ядра керуючого промислового контролера без необхідності використання великої кількості дискретної логіки обв'язки. Обчислювальне ядро представлене центральним восьмирозрядним процесором, оптимізованим для виконання керуючих команд у реальному часі.

Процесор тісно інтегрований зі згаданою внутрішньою пам'яттю даних об'ємом 128 байт та чотирма незалежними восьмирозрядними програмованими портами введення-виведення, які забезпечують паралельний інтерфейс з датчиками й виконавчими механізмами крана.

Для організації часових затримок, підрахунку імпульсів від енкoderів вала та формування частотних сигналів архітектура має два незалежні 16-бітові багаторежимні таймери-лічильники. Своєчасна реакція на



критичні події, такі як спрацьовування кінцевих вимикачів або аварійне зупинення, гарантується апаратною системою переривань, яка підтримує п'ять векторів переривань із дворівневою структурою пріоритетів. Для організації зв'язку з верхнім рівнем автоматизації або операторським пультом передбачено вбудований універсальний асинхронний послідовний інтерфейс (UART). Синхронізація всіх внутрішніх конвеєрів та обчислювальних циклів здійснюється інтегрованим тактовим генератором, стабілізація частоти якого задається зовнішнім кварцовим резонатором.


Ключовою особливістю сімейства МК51 є наявність вбудованого апаратного булевого (бітового) процесора, який функціонує паралельно з основним 8-розрядним арифметично-логічним пристроєм (АЛУ) та використовує прапор переносу (Carry Flag) як однобітний акумулятор.

Ця архітектурна специфікація робить мікроконтролер ідеальним для застосування в промислових контролерах кранів-штабелерів, де логіка роботи побудована на безперервному моніторингу великої кількості дискретних сигналів безпеки та керування, які описуються булевими змінними. Стандартні мікропроцесори загального призначення змушені виконувати енергоємні та тривалі операції логічного маскування (зсуви, логічне "І"/"АБО") для виділення одного розряду з байта, тоді як бітовий процесор МК51 виконує атомарні операції безпосередньо над окремими бітами.

Команди побітової обробки підтримують пряму фізичну адресацію 128 індивідуальних бітів, розташованих у шістнадцяти байтових комірках внутрішнього ОЗУ з адресами від 20Н до 27Н. Крім того, реалізовано пряму побітову адресацію для всіх регістрів спеціального призначення (SFR), чії базові адреси в системному просторі кратні восьми. До цього переліку входять фіксатори портів P0, P1, P2, P3, регістр керування таймерами TCON, регістр керування послідовним портом SCON, регістри системи переривань IE та IP, слово стану програми PSW, а також безпосередньо акумулятор A та розширювальний регістр B.

Кожен із цих задіяних бітів може бути програмно встановлений в одиницю, скинутий в нуль, інвертований або задіяний у складних логічних виразах із переходом за умовами "якщо біт встановлений" або "якщо біт не встановлений", що забезпечує максимальну швидкодію керуючої програми.

Для забезпечення детермінованого старту системи керування краном та запобігання хаотичному увімкненню силових приводів, у схемі контролера задіяні всі чотири порти введення-виведення, а ініціалізація (скидання) мікросхеми реалізується подачею сигналу RST з активним високим рівнем напруги. Цей сигнал формується автоматично за допомогою RC-ланцюга при подачі живлення на стійку керування крана-штабелера або генерується примусово при натисканні фізичної кнопки аварійного скидання оператором.



При фіксації високого рівня на вході RST протягом не менше двох машинних циклів, внутрішній апаратний автомат скидання виконує жорстко регламентовану послідовність дій:

1) обнуляє лічильник команд PC, перенаправляючи вектор старту програми на адресу 0000H, а також скидає в нуль більшість регістрів спеціальних функцій, за винятком засувок портів введення-виведення P0-P3, покажчика стека SP та буфера послідовного порту SBUF;

2) модифікує вміст покажчика стека SP, присвоюючи йому початкове значення 07H, що автоматично переносить область стекових операцій на адреси внутрішнього ОЗУ, починаючи з 08H;

3) накладає апаратну заборону на роботу всіх джерел переривань, зупиняє внутрішні таймери-лічильники та деактивує блоки прийому-передачі послідовного порту UART для виключення хибних спрацьовувань периферії на етапі завантаження;


4) конфігурує системне ОЗУ на роботу з нульовим банком робочих регістрів (реєстри R0-R7 відображаються на адреси 00H-07H) та переводить фізичні порти P0-P3 у режим готовності до безпечного прийому вхідних даних;

5) скидає в нуль усі функціональні біти в регістрах керування PCON, IP та IE, при цьому їхні архітектурно зарезервовані або невикористовувані розряди можуть набувати довільних (випадкових) значень залежно від перехідних процесів у кристалі.

Примусово встановлює всі вихідні фіксатори-засувки чотирьох портів P0-P3 в стан логічної одиниці, що переводить квазідвонаправлені буфери портів у режим високого імпедансу, безпечний для зчитування станів підключених зовнішніх кіл.

Для захисту критично важливих параметрів позиціонування крана, технологічних констант та журналів помилок при раптовому зникненні напруги в силовій мережі, до мікроконтролера підключено мікросхему зовнішнього статичного ОЗУ ємністю 2 Кбайт, оснащену автономним джерелом живлення (аварійною батареєю) та вузлом перемикачів ліній живлення. Обмін даними між внутрішніми регістрами мікроконтролера та зовнішнім енергонезалежним ОЗУ виконується виключно через двонаправлений порт P0 із використанням спеціалізованих команд непрямої адресації MOVX @DPTR, A (запис) та MOVX A, @DPTR (читання), де 16-бітний регістр-пожертвувач DPTR виступає в ролі вказівника повної адреси комірки пам'яті.

Порти введення-виведення P0-P3 мають узгоджені електричні характеристики, при цьому будь-які дані, записані в їхні внутрішні регістри-засувки SFR, фіксуються статично і залишаються незмінними до моменту наступного програмного перезапису. Однак при зверненні до зовнішньої пам'яті архітектура переводить порти P0 та P2 в режим роботи системних шин адреси та даних. У цьому режимі порт P2 функціонує як шина старшого байта адреси (лінії A8-A15), забезпечуючи статичну фіксацію адресних сигналів на час усього циклу читання або запису, що ніяк не



порушує і не змінює дані, які були попередньо записані в буферний регістр SFR P2.


Порт P0 у режимі роботи з зовнішньою пам'яттю виконує функцію часового мультиплексування: у першій половині машинного циклу він видає молодший байт адреси (лінії A0-A7) для зовнішнього ПЗП або ОЗУ, який повинен фіксуватися зовнішнім регістром-засувкою за спадаючим фронтом системного сигналу ALE. У другій половині циклу лінії порту P0 миттєво перемикаються в режим двонаправленої шини даних для зчитування коду команди з ПЗП або для прийому-видачі інформаційного байта при взаємодії із зовнішньою статичною оперативною пам'яттю.

Порт P3, окрім стандартного дискретного введення-виведення, виконує критичні альтернативні системні функції. Його виводи P3.2 та P3.3 використовуються як апаратні входи зовнішніх переривань INT0 та INT1 для миттєвої фіксації сигналів від аварійних датчиків крана. Виводи P3.6 та P3.7 виконують роль системних стробуючих виходів керування, які генерують апаратні сигнали дозволу запису (WR#) та читання (RD#) відповідно, координуючи часові діаграми роботи зовнішнього ОЗУ даних через комутований порт P0.

Блок послідовного інтерфейсу інтегрованої однокристальної мікро-ЕОМ (ОМЕВМ) спроектований для апаратної реалізації двонаправленого введення-виведення послідовних потоків інформації, забезпечуючи ефективний обмін даними з периферійними пристроями. Спеціалізований буфер послідовного інтерфейсу здійснює побайтовий двосторонній обмін між внутрішньою паралельною магістраллю даних мікроконтролера та зовнішніми лініями зв'язку. Фізичне спряження реалізовано через вихід передавача TxD, суміщений із багатofункціональним виводом порту P3.1, та вхід приймача RxD, суміщений із виводом порту P3.0.

Цей блок зв'язку критично важливий для інтеграції локального контролера у загальну структуру автоматизованої системи керування, оскільки через виводи RxD та TxD організується інформаційний обмін із електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ) верхнього рівня. У контексті функціонування крана-штабелера даний канал зв'язку дозволяє системі керування в реальному часі транслювати на верхній рівень поточні координати механізмів по всіх робочих осях, телеметрію, сигнали апаратних чи програмних помилок, тривожні повідомлення та іншу службову інформацію. З іншого боку, через цей же інтерфейс система приймає керуючі директиви від ЕОМ вищого рівня, зокрема адресу чергової комірки стелажа, з якої необхідно виконати виїмку або в яку потрібно завантажити вантаж.

Для захисту низьковольтних кіл мікроконтролера від високовольтних завад, контурів заземлення та промислових наведень, що неминуче виникають у силових шафах кранів-штабелерів, у лініях зв'язку застосовано схеми гальванічної розв'язки. Ця ізоляція реалізована на спеціалізованих мікросхемах типу К293ЛП1Б, які містять у своєму складі швидкодіючу оптопару та вихідний логічний елемент. Таке рішення гарантує



високу амплітудну ізоляцію і надійну передачу фронтів імпульсів на високих швидкостях.


При активації послідовного порту OMEBM виводи P3.0 і P3.1 автоматично переключаються зі своїх стандартних функцій введення-виведення загального призначення на виконання технологічних завдань входу та виходу послідовного каналу відповідно. Програмний доступ до внутрішніх регістрів приймача і передавача уніфіковано через звернення до єдиного регістру спеціальних функцій SBUF. Хоча для програміста цей регістр виглядає як один двонаправлений порт, фізично він розділений на два незалежні регістра — буфер передавача та буфер приймача.

Процес прийому та видачі кожного байта даних строго регламентований у часі: він завжди починається з молодшого значущого розряду (LSB) і послідовно завершується старшим розрядом (MSB). Користувач може гнучко налаштувати послідовний порт на один із чотирьох режимів роботи, що відрізняються способом тактування та розрядністю (наприклад, 8- або 9-бітні режими з фіксованою чи змінною швидкістю). Конфігурування здійснюється шляхом безпосереднього запису відповідних комбінацій у розряди SM0 і SM1 керуючого регістру SCON. Будь-яка операція запису, що використовує SBUF як регістр призначення, автоматично ініціює апаратний цикл передачі даних, активуючи зсувний регістр передавача.

Підсистема збору дискретної інформації з первинних сенсорів крана-штабелера побудована за модульним принципом з метою оптимізації розрядності системної шини. Всі вхідні сигнали від кінцевих вимикачів, оптичних та індуктивних датчиків об'єднані у функціональні блоки обсягом до 8 джерел у кожному та подаються на входи системних буферних елементів типу KP580BA86. Вибір цих мікросхем обумовлений їхньою 8-розрядною архітектурою та високою навантажувальною здатністю, що обмежує максимальну кількість датчиків, підключених до одного формувача, вісьмома одиницями.

Загальний масив первинних сенсорів системи розподілений між п'ятьма спеціалізованими блоками. До першої групи відносяться вісім датчиків горизонтальної координати X, які контролюють рух візка або моста. Другу групу формують п'ять датчиків вертикальної координати Y, що відстежують положення підйомної платформи. Третій блок включає шість датчиків точної зупинки за всіма трьома осями позиціонування — X, Y та W. Четвертий блок виділено під шість аварійних датчиків, які фіксують перевантаження, обрив тросів або вихід за граничні геометричні зони. П'ятий блок складається з трьох датчиків уповільнення по осі W, необхідних для безпечного підходу захватного механізму до вантажу.

Для вибору конкретної групи датчиків у кожен момент часу використовується схема адресації. Конкретна адреса опитуваних сенсорів однозначно визначається керуючими сигналами, що надходять із дешифратора адреси пристроїв введення мікропроцесорного модуля, реалізованого на мікросхемах DD9–DD13. Ця схема гарантує, що при



виконанні команди читання на внутрішню шину даних ОМЕВМ комутуються виходи лише одного обраного буфера КР580ВА86.

Керування силовими комутаційними елементами, пускачами, клапанами та приводами крана-штабелера здійснюється опосередковано. Виконавчі елементи підключені до мікропроцесорного ядра системи через проміжні буферні регістри, які фіксують і утримують вихідні керуючі рівні на час виконання технологічних циклів. Програмне звернення до цих механізмів для зміни їхнього стану відбувається за суворо визначеними адресами простору введення-виведення, які формуються дешифратором адреси пристроїв виведення процесорного модуля, побудованим на базі мікросхем DD14–DD19.

Для забезпечення можливості проведення пусконаладжувальних робіт, локального тестування вузлів та реалізації ручного режиму керування краном безпосередньо з шафи автоматики, до мікроконтролера підключено матричний блок клавіатури конфігурації 5 \times 5. Комутація кнопок виконана через буферні регістри з виходом на паралельний порт P0. Програмне забезпечення мікроконтролера здійснює циклічне сканування цієї матриці для виявлення натискань кнопок оператором, що дозволяє гнучко дублювати автоматичні команди в аварійних або сервісних ситуаціях.

Архітектура ОМЕВМ передбачає можливість значного нарощування обсягу оперативної пам'яті за рахунок підключення зовнішніх мікросхем загальною ємністю до 64 Кбайт. Будь-яке апаратне звернення до цього розширеного простору зовнішньої пам'яті даних (ЗПД) є строго специфікованим і реалізується виключно за допомогою спеціалізованих команд мікропроцесорної системи типу MOVX.

В архітектурі керування крана-штабелера застосовано мікросхему зовнішнього статичного ОЗУ ємністю 2 Кбайт з низьким рівнем статичного енергоспоживання типу K537PY9. Для запобігання втраті критично важливої інформації в системі реалізовано схему буферного живлення цієї мікросхеми від автономного акумулятора. Це технічне рішення гарантує, що навіть у разі раптового аварійного знеструмлення або планового вимкнення живлення всього крана-штабелера, у пам'яті повністю зберігаються всі робочі константи, калібрувальні коефіцієнти, поточні координати осей та вектори стану механізмів на момент зупинки, що виключає необхідність повторного базового позиціонування при відновленні енергопостачання.

Команди магістрального обміну MOVX @DPTR, A та MOVX @A, DPTR, розроблені для взаємодії із зовнішнім ОЗУ, у процесі свого виконання генерують на зовнішніх виводах мікроконтролера повну 16-розрядну адресу комірки. При цьому апаратно реалізовано часове мультиплексування шини: молодший байт адреси транслюється через порт P0, тоді як старший байт адреси виставляється на порту P2 і залишається незмінним протягом усього циклу звернення до пам'яті.

Оскільки лінії порту P0 використовуються для двох різних завдань,

виданий через них молодший байт адреси повинен бути оперативно зафіксований у зовнішньому регістрі-засувці. Фіксація відбувається строго по спаду системного синхросигналу ALE (Address Latch Enable).

Після зрізу сигналу ALE лінії порту P0 звільняються від адреси і переорієнтовуються на виконання функції двонаправленої шини даних, через яку безпосередньо передається або приймається корисний байт інформації.

Процес читання даних із пам'яті синхронізується та стробується активним низьким рівнем сигналу OMEBM (вивід P3.7), а процес запису - аналогічним керуючим сигналом (вивід P3.6). Важливо враховувати, що під час виконання операцій із внутрішньою оперативною пам'яті мікроконтролера зовнішні стробуючі сигнали та не генеруються, що знижує рівень електромагнітних завад на платі.

На спеціалізований висновок OMEBM DEMA апаратно подано постійний логічний «0». Це схемне рішення повністю блокує використання внутрішньої масочної пам'яті програм мікроконтролера, внаслідок чого, починаючи вже з базової адреси 0000H, абсолютно всі цикли вибірки інструкцій та звернення до коду виконуються виключно до зовнішньої пам'яті програм, архітектурну взаємодію з якою детально проілюстровано на часових діаграмах системних шин.

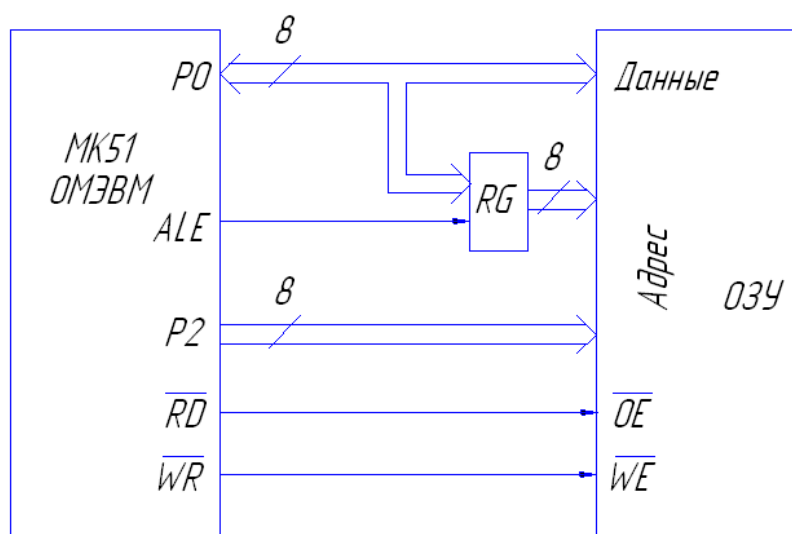



Рисунок 3.1 - Робота OMEBM із зовнішньою пам'яттю даних

При зверненні до зовнішньої пам'яті програм завжди формується 16-розрядний адреса, молодший байт якого видається через порт P0, а старший - через порт P2. При цьому байт адреси, що видається через порт P0, повинен бути зареєстрований в зовнішньому регістрі по спаду сигналу ALE, так як в подальшому лінії порту P0 використовуються в якості шини даних, по якій байт із зовнішньої пам'яті програм вводиться в OMEBM.



Читання з зовнішньої пам'яті програм стробується сигналом ОМЕВМ. Внутрішня пам'ять даних ОМЕВМ складається з двох областей: 128 байт оперативної пам'яті (ОЗУ) з адресами 00-7FH і області реєстрів спеціальних функцій, що займають адреси 80H-FFH.

Молодші 32 байти внутрішнього ОЗУ даних згруповані в 4 банки по 8 реєстрів в кожному (БАНК0-БАНК3). Наступні після банків реєстрів 16 байт (адреси 20H-27H) утворюють область осередків, до яких можлива побітова адресація, використовуючи при цьому пряму адресацію.

Відповідно до вищесказаного розроблена принципова схема процесорного модуля на базі ОМЕВМ K1816BE31 з пам'яттю програм обсягом 64 Кб і ОЗУ 2 Кб. Схема представлена в графічній частині проекту.

Сигнали з шини даних мікроконтролера фіксуються в реєстрі-засувці DD20 типу K580IP82 по сигналу Адр.1, який формується дешифратором адреси вихідних пристроїв процесорного модуля. Опитування клавіатури проводиться через підрядник записом «логічного 0» на опитуваній лінії (наприклад, S1-S5) і «логічної 1» на інших лініях. Якщо в момент опитування одна з клавіш на опитуваній лінії натиснута, то інформація про це зчитується з реєстра DD21 за сигналом Адр.2, формованому дешифратором адреси вхідних пристроїв процесорного модуля і сигналом Читання. Принципова схема вузла клавіатури представлена на Додатку Б.

Цифро-аналоговий перетворювач побудований на основі десятирозрядної мікросхеми ЦАП DA1 типу K572ПА1А. Вона з'єднана за типовою схемою з операційними підсилювачами DA2.1 і DA2.2 типу K140УД20. Цифровий код завдання надходить на DA1 з буферних реєстрів DD1 і DD2 типу K1533IP37. Молодший байт коду зберігається в реєстрі DD1, старших два біта - в реєстрі DD2. Вхід 4 мікросхеми DD2 управляє знаком напруги завдання. Опорна напруга + 10V або -10V надходить на ЦАП DA1с виходів 11, 14 мікросхеми електронного комутатора DA3 типу KP590KH2. Опорна напруга + 10V надходить через резистор R4 на вихід 11 в разі, якщо на вході E3 присутній «лог. 1». В іншому випадку «логічна 1» присутній на вході E4 і через резистор R5 напруги -10V надходить на вихід 14.

Принципова схема цифро-аналогового перетворювача представлена на Додатку В.

На 7-сегментному індикаторі HG1 типу АЛС321Б відображається інформація про поточний адресу крана по горизонталі і вертикалі.

Інформація про це зчитується з шини даних мікропроцесорного модуля по сигналу Адр.2 в буферний реєстр DD4 типу K580IP82. Для збільшення навантажувальної здатності виходів реєстра застосовані транзисторні ключі А1-А8, реалізовані на транзисторах КТ315Б. Одиначний сигнал з виходу реєстра забезпечує протікання струму через сегмент індикатора HG1, перехід К-Е транзистора VT1 і резистора R1.

За аналогічною схемою створений блок світлодіодної сигналізації



HL1-HL8. Запис інформації в буферний регістр DD5 стробується адресним сигналом Адр.1.

Принципова схема одного блоку індикації AG1 представлена на Додатку Г.

Молодший байт адреси пристрою виведення запам'ятовується в буферному регістрі DD14 типу K580IP82.

На мікросхемах DD15 і DD16 дешифрується старший байт адреси F0H. Мікросхема DD17 розпізнає 0 у другому розряді адреси. Рівень «логічного 0» на одному з виходів дешифраторів DD18 і DD19 визначає з яким з пристроїв виведення буде проводитися обмін інформацією. Номер пристрою визначається молодшої тетради адреси в регістрі DD14. Стробування видачі адреси проводиться сигналом з процесорного модуля по лінії 161 шини даних.

Принципова схема дешифратора адрес пристроїв виведення представлена на Додатку Г.

В буферному регістрі DD11 запам'ятовується молодший байт адреси пристроїв виведення за сигналом з процесорного модуля. На мікросхемах DD9 і DD10 розпізнається другий розряд адреси F03XH. Дешифратори DD12 і DD13 типу K555ID7 виділяють одне з 16 пристроїв введення в залежності від значення молодшої тетради регістру DD11, встановлюючи на виході рівень «логічного 0». Видача адреси з дешифраторів стробується сигналом з процесорного модуля. Старший байт адреси F0H розпізнається в схемі дешифратора адреси пристроїв виведення і надходить на схему по лінії 160 шини даних.

Принципова схема дешифратора адрес пристроїв введення представлена на Додатку Д.

3.2 Проєктування схем сполучення


Вихідний сигнал з SQ1 величиною 24V при спрацьовуванні датчика забезпечує протікання струму через світлодіод оптрона VD1. Це призводить до відкриття транзистора і протіканню струму через резистори R3, R2 і перехід К-Е транзистора.

Падіння напруги на резисторі R2 3,6V, що забезпечує надійне спрацьовування входу шинного формувача. Рівень логічної одиниці на вході Т ШФ забезпечує передачу даних від входів А до виходів В з трьома стійкими станами.

При подачі на вхід ШФ сигналу «логічний 0» дозволяється проходження вхідних сигналів з оптронів на вихідну шину. Сигнал на цей вхід надходить з дешифратора адреси процесорного модуля. Принципова схема вхідний гальванічної розв'язки представлена на Додатку Е.

Струм управління 10-15 мА, струм замикання вихідний ланцюга - не більше 20 мА, максимальний струм комутації - 10 А, напруга живлення - 24 В.

У початковому стані, коли ланцюга струму в ланцюзі світлодіода оптрона U1, буде закритий і транзистор оптрона, а значить і транзистори



VT1 і VT2. При появі сигналу оптрон відкриється і з'явиться струм в ланцюзі резистора R3. Так як $R3 \ll R2$, то падіння напруги на R2 буде близько до напруги джерела живлення.

Резистор R4 задає струм емітера транзистора VT1. Більша частина цього струму є базовим струмом транзистора VT2. Таким чином, транзистор VT2 виявиться насиченим і через навантаження Rn потече струм. У цьому стані діод VD1 буде закритий зворотним напругою і не впливатиме на роботу ключа.

У разі порушення нормальних умов експлуатації ключа, наприклад, при зменшенні опору навантаження, струм в її ланцюга буде збільшуватися до тих пір, поки транзистор VT2 не почне виходити з насичення. Збільшення падіння напруги між його колектором і емітером призведе спочатку до відкривання діода VD1, а потім до зменшення падіння напруги на резисторі R2. При цьому зменшиться струм емітера транзистора VT1, а значить, ще більше закриється транзистор VT2 і зменшиться його ток колектора.

У разі замикання ланцюга навантаження падіння напруги на резисторі R2 не перевищить падіння напруги на відкритому діоді VD1 (близько 0.7 V), тому дуже малий і струм емітера транзистора Vt1. Цього струму не вистачає для відкривання транзистора VT2.

У ланцюзі навантаження буде протікати тільки прямий струм діода VD1 через R3 (близько 20 mA). Таким чином, струм замикання буде значно менше номінального комутованого струму.

Після усунення причини замикання ланцюга навантаження, ключ автоматично повертається в робочий режим.


На Додатку Ж показана схема вихідний гальванічної розв'язки змінного струму не створює перешкод.

Сигнали з шини даних мікроконтролера фіксуються в регістрі-засувці типу K580IP82 по сигналу STB, який формується дешифратором адреси вихідних пристроїв процесорного модуля. Вихідні сигнали «лог. 1» надходять на світлодіод оптопари V1 типу АОУ103В пристрої гальванічної розв'язки.

Тиристор VS2, який відкривається на початку кожного напівперіоду напруги мережі, включає симистор VS1. Це відбувається тільки тоді, коли на керуючому вході вузла присутня постійна напруга + 5V і відкритий динистор оптрона U1. Транзистор VT1 в цей час закритий. Для того, щоб на керуючий електрод тиристора VS2 надходив сигнал через резистор R5, необхідно, щоб був закритий і транзистор VT2. Резистори R6 і R7 дільника напруги підібрані так, що транзистор VT2 закритий тільки на початку напівперіоду напруги мережі (при фазовому вугіллі не більше 10°).

3.3 Алгоритмічне забезпечення системи керування

Алгоритм функціонування крана-штабелера, блок-схему якого представлено на рисунку 11, реалізується в кілька етапів. Подача живлення на комплекс ініціює апаратне скидання однокристальної мікро-



ЕОМ (ОМЕВМ) із переведенням її регістрів у вихідний стан, регламентований підрозділом 3.4. Одночасно затискаються гальмівні муфти, знеструмлюються всі реле та магнітні пускачі, а також деактивується світлодіодна індикація, за винятком індикатора HL1 «Живлення подано». На виходах усіх трьох цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) фіксується нульова напруга завдання ($U_{\text{зад}} = 0$ В). Після ініціалізації система виконує опитування датчиків положення робочих органів крана-штабелера. При фіксації сигналів від датчиків точної зупинки по осях X, Y та датчика середнього положення захвата система автоматично переходить у робочий режим і переходить у стан очікування команд. Якщо поточні координати виконавчих механізмів невизначені, активується ручний режим керування, за якого оператор із кабіни примусово виводить захват у середнє положення. Наступним кроком в автоматичному режимі здійснюється переміщення крана на установочній швидкості до найближчих адресних штифтів X та Y.

Замикання датчиків точної зупинки X, Y та W переводить систему в штатний автоматичний режим із готовністю до прийому керуючих директив від ЕОМ верхнього рівня. Надходження польотного завдання активує електроприводи осей X та Y, забезпечуючи синхронне переміщення крана за двома координатами до цільової комірки стелажа. У заданій точці ініціюється висування захвата в ліву або праву секцію для підйому чи опускання тари, після чого механізм повертається у вихідне середнє положення.

Якщо технологічний цикл передбачає виїмку вантажу, система динамічно перевизначає цільові координати на позицію стола завантаження, куди кран-штабелер транспортує та розвантажує тару для подальшої обробки. Якщо необхідно було покласти вантаж, то кран після виконання завдання залишається в тому ж положенні.

Блок-схема алгоритму програми ЦАП 1 представлена на рисунку 3.2.

При спрацьовуванні датчика швидкість з швидкого ходу 12,5 м / хв. зменшується до настановної швидкості 0,6 м / хв. ($U_{\text{зад}} = 0,5V$).

При отриманні завдання на переміщення величина завдання встановлюється рівною 10В до моменту спрацьовування датчика уповільнення перед точкою призначення. На цій швидкості захоплення рухається до спрацьовування відповідного датчика точного зупинки. При цьому $U_{\text{зад}}$ встановлюється рівним нулю, і накладається гальмо.

Підпрограма зчитує інформацію з буферних регістрів, які адресуються як осередки зовнішнього ОЗУ даних. На входи регістрів підключені датчики положення по X, Y, W і датчики точного зупинки по X, Y, W.

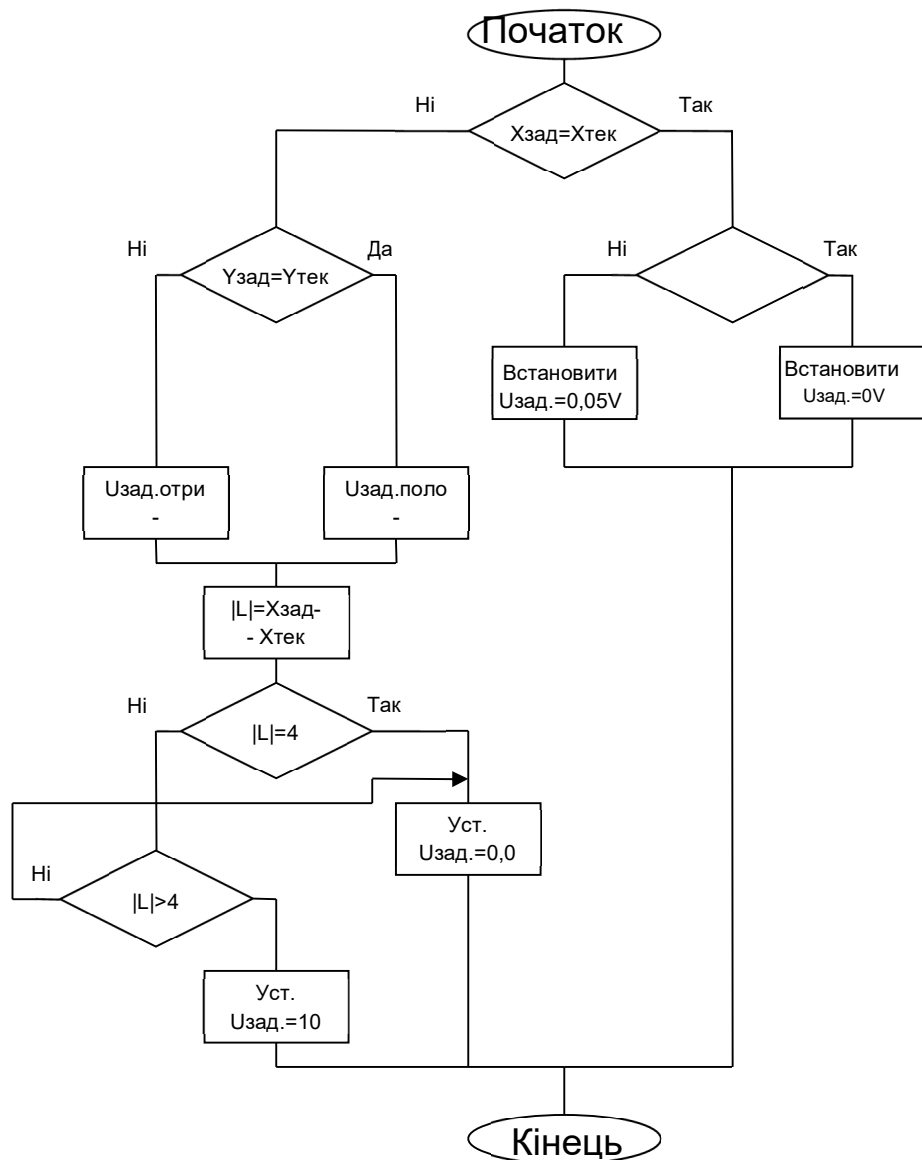


Рисунок 3.2 - Блок-схема алгоритму програми для ЦАП 1

Програма дозволяє переривання від таймера-лічильника 0.

При кожній обробці переривання від Т / С 0 код завдання збільшується або зменшується на 1, якщо потрібно. Поточний код завдання зберігається в регістрах R2 і R3 і потім передається в пристрій виведення ЦАП 1. Якщо поточний стан по X збігається з заданим і завдання на привід = 0, то включається гальмівна муфта горизонтального переміщення.



4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Ефективність створення і впровадження розроблюваної підсистеми управління повинна визначатися на основі порівняння з базовим варіантом. В даному випадку за базовий варіант приймаємо ручне управління краном-штабелером.

Головним при розробці програмного забезпечення є забезпечення максимальної економічної ефективності, тобто отримання результату з мінімальними витратами праці, часу і грошових коштів.

Кінцевою метою використання розробленої системи буде автоматизація роботи складу. Джерелами економії при цьому є: збільшення кількості оброблюваних осередків стелажів і скорочення термінів їх обробки.

4.1 Розрахунок собівартості виробу

Розрахунок собівартості пристрою проводиться за допомогою затвердженого переліку витрат. Суть методу зводиться до того, що прямі витрати на одиницю продукції визначаються шляхом нормативного розрахунку собівартості проектного пристрою за статтями калькуляції. Тип виробництва - дрібносерійне.

Витрати на придбання матеріалів включають в себе витрати на придбання основних матеріалів, що витрачаються в нашому випадку при виготовленні друкованого вузла.

Витрати визначені по кожному найменуванню та приведені в табл. 4.1.

Витрати на покупні вироби і напівфабрикати включають в себе витрати на придбані готові вироби і напівфабрикати. Список виробів і напівфабрикатів складається відповідно до схеми електричної принципової і складальним кресленням блоку системи.

Складемо табл. 4.1 і 4.2 для розрахунку вартості покупних комплектуючих виробів.

Основна заробітна плата виробничих робітників включає в себе основну заробітну плату виробничих робітників та інших категорій працівників за роботу, безпосередньо пов'язану з виготовленням продукції. Основна зарплата робітників включає тарифну зарплату, доплати і надбавки. Тарифну заробітну плату визначають по кожній операції (виду робіт) як твір норм часу і годинних тарифних ставок робітників.

Таблиця 4.1 - Вартість покупних комплектуючих виробів

Матеріал	Од.	Норма витрат	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Склотекстоліт	кг	0,2	50	10
Припій	кг	0,1	1222	122,2
Каніфоль соснова	кг	0,8	78	62,4
Лак	кг	0,15	410	61,5
Клей	кг	0,1	300	30
Всього, грн			286,1	
Невраховані матеріали, 10%, грн			28,6	
Транспортно заготівельні витрати, 5%, грн			14,3	
Разом, грн			329	

Таблиця 4.2 - Витрати на покупні вироби і напівфабрикати

Виріб	Сума, грн.	Обґрунтування ціни
Резистори	223,6	Договірна
Конденсатори		Договірна
Транзистори		Договірна
Діоди		Договірна
Мікросхеми		Договірна
Трансформатор		Договірна
Датчики		Договірна

Трудомісткість монтажно-складальних робіт визначаємо за типовими нормами часу на монтажно-складальні роботи. Норми часу на окремі операції наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Розрахунок норм часу

Операція	Кіл-ть	Норма часу, хв	Всього, хв
1. <u>Підготовка елементів до монтажу:</u>			
1) Травлення і свердління друкованої плати	2	160	320
2) резисторів	26	0,129	3,354
3) конденсаторів	21	0,129	2,709
4) діодів	3	0,129	0,387
5) транзисторів	3	0,164	0,492
6) мікросхем	7	0,192	1,344
7) датчиків	1	1,5	1,5
8) трансформаторів	1	0,95	0,95
2. <u>Установка елементів на плату:</u>	26	0,15	3,9
1) резисторів	21	0,15	2,9
2) конденсаторів	3	0,15	0,45
3) діодів	3	0,216	0,648
4) транзисторів	7	0,42	2,94
5) мікросхем	1	1,4	1,4
6) датчиків	1	0,9	0,9
7) трансформаторів	300	0,15	45
3. <u>Пайка паяльником</u>	3	1,05	3,15
4. <u>Монтаж роз'ємів</u>	-	5	5
5. <u>Маркувальні роботи</u>	-	2,5	2,5
6. <u>Регулювальні роботи</u>	-	5	5
Всього, хв / год			483 / 8,06

Тоді отримуємо:

Таблиця 4.4 - Калькуляція собівартості продукції

№	Статті витрат	Сума, грн	Питома вага, %
1	Основні матеріали	329	0,9
2	Куплені вироби і напівфабрикати	223,6	60,5
3	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	396,8	11,08
4	Додаткова заробітна плата (20% від осн.з / п.)	79,4	2,21
5	Нарахування на заробітну плату: Пенсійний фонд (32% від осн.з / п.)	127	3,54
	Фонд соцстраху (5,5% від осн.з / п.)	21,8	0,6
6	Знос інструментів і пристосувань цільового призначення (20% від осн.з / п.)	79,4	2,21
7	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування (80% від осн.з / п.)	316,16	7,83
8	Цехові витрати (60% від осн.з / п.)	238,2	6,4
9	Цехова собівартість, грн	1811,8	
11	Загальнозаводські витрати, (90% від осн.з / п.)	357,2	8,97
12	Заводська собівартість, грн	2169	
13	Позавиробничі витрати 2%	43,4	1,89
14	Повна собівартість, грн	2212,4	100

4.2 Визначення ціни виробу

Серед різних методів ціноутворення на ранніх стадіях проектування дуже поширений метод лімітних цін. При цьому визначається нижня і верхня межа ціни. Нижня межа ціни виробу ($Ц_{\text{нп}}$) забезпечить рівень рентабельності не нижче за той, який має підприємство при виробництві своєї основної продукції.

Невисока вартість розробки блоку системи управління визначається малою вартістю комплектуючих та інших виробів, необхідних для виробництва модуля. Більш того не враховано витрати на розробку програмного забезпечення системи управління краном.



ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі розглянуто модернізація шляхом проектування мікроконтролерної системи управління крана-штабелера.

У технологічній частині проведено критичний аналіз конструкції та технології роботи крана-штабелера СК-0,5, базова система управління зазнала критики. Були намічені шляхи її модернізації шляхом проектування мікроконтролерної системи управління крана-штабелера.


У розрахунково-конструкторської частини проаналізували двигуни і приводу, що використовуються в базовому варіанті крана. Прийшли до висновку, що вони не відповідають заданим вимогам. Внаслідок чого розрахували і вибрали нові двигуни постійного струму і тиристорні перетворювачі до них фірми SIEMENS, а також необхідні первинні перетворювачі і відсутнє обладнання.

У графічній частині наведені: Принципова схема стабілізованого мережевого перетворювача напруги. Принципова схема вузла клавіатури. Принципова схема цифро-аналогового перетворювача. Принципова схема блоку сигналізації. Принципова схема дешифратора адрес пристроїв виведення. Принципова схема дешифратора адрес пристроїв введення. Принципова схема вхідний гальванічної розв'язки.

У Техніко-економічній частині наведено обґрунтування вибору моделі крану штабелера.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

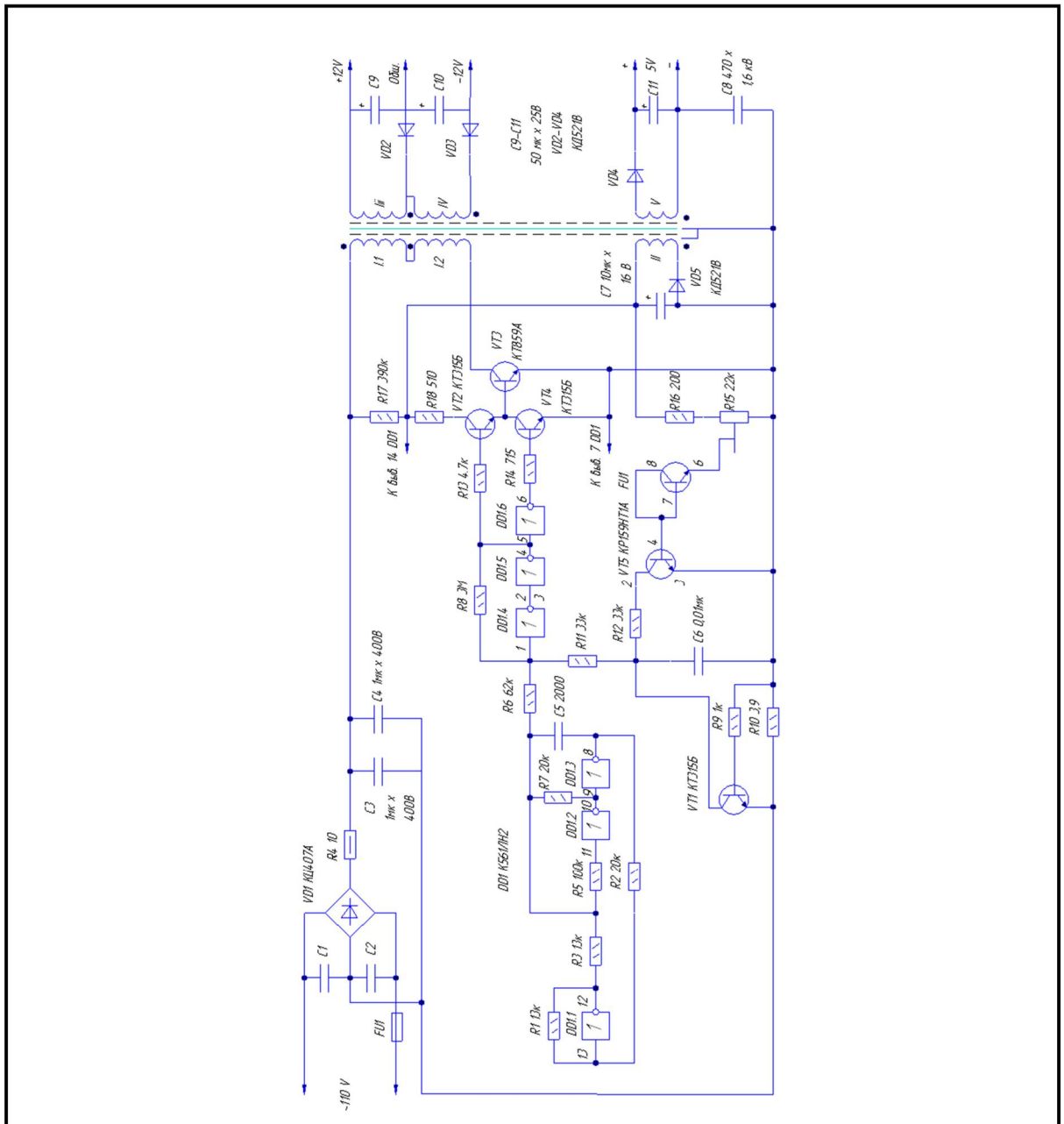
1. Григоров О. В., Свіргун В. П., Стрижак В. В. та ін. Енергозбереження шляхом застосування раціонального керування асинхронних електроприводів ВПМ. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Технології в машинобудуванні*. 2010. № 49.
2. Колб А. Теорія електроприводу : підручник. 2-ге вид. Дніпро : НГУ, 2011. 540 с. URL: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4905>.
3. Крисан Ю., Залужний М., Дубицький С. Частотно-регульований електропривод вантажопідйомних кранів. *Тиждень науки-2019 : тези доп. наук.-практ. конф.* Запоріжжя, 2019. С. 142–143.
4. Мехатроніка та робототехніка : методичні вказівки до виконання практичних робіт / уклад. О. В. Суботін. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 48 с. URL: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/821>.
5. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів студентів спеціальності «Автоматизація технологічних процесів» / упоряд. О. В. Суботін. Краматорськ : ДДМА, 2014. 36 с.
6. Охорона праці: рекомендації по виконанню розділу в дипломному проекті бакалавра для студентів технічних спеціальностей / сост.: Л. В. Дементій, А. Л. Юсіна. Краматорськ : ДДМА, 2012. 176 с.
7. Правила безпечної експлуатації електроустановок : НПАОП 40.1-1.01-97 : затв. Держнаглядохоронпраці України 06.10.1997 : зміни Держнаглядохоронпраці України, наказ № 26 від 25.02.2000.
8. Пристрій для двоступінчастого гальмування електромеханічного приводу механізмів горизонтального переміщення вантажу електромостового крана : пат. 15913 Україна : Н02Р 3/18 (2006.01), F16D 51/00. № u200601151 ; заявл. 06.02.2006 ; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7. 6 с.
9. Система керування електроприводами моста електромостового крана : пат. u200805620 Україна : МПК Н02Р 3/18 (2006.01). Заявл. 29.04.2008 ; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19. 2 с.
10. Чижов Д. О. Розробка кран-балки вантажопідйомністю 5 т : 133 Галузеве машинобудування / Чижов Денис Олегович. Харків : ХНАДУ, 2021. 77 с. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/4400>.
11. Balas V. E., Bansal R. C., Mangipudi S. K., Dawn S. Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence Techniques for Electrical Engineering Systems (AITEES 2022). Volume 3. Springer Nature, 2022. 307 p. DOI: <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-074-9>. URL: <https://read.kortext.com/library/books/2138720>.
12. Boldea I., Nasar S. A. Electric drives. 3rd Edition. Boca Raton : CRC Press, 2016. 672 p. URL: <https://doi.org/10.1201/9781315368573> (date of access: 15.07.2016).



13. Homayouni S. M. A genetic algorithm for optimization of integrated scheduling of cranes, vehicles, and storage platforms at automated container terminals. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2013.11.021>.

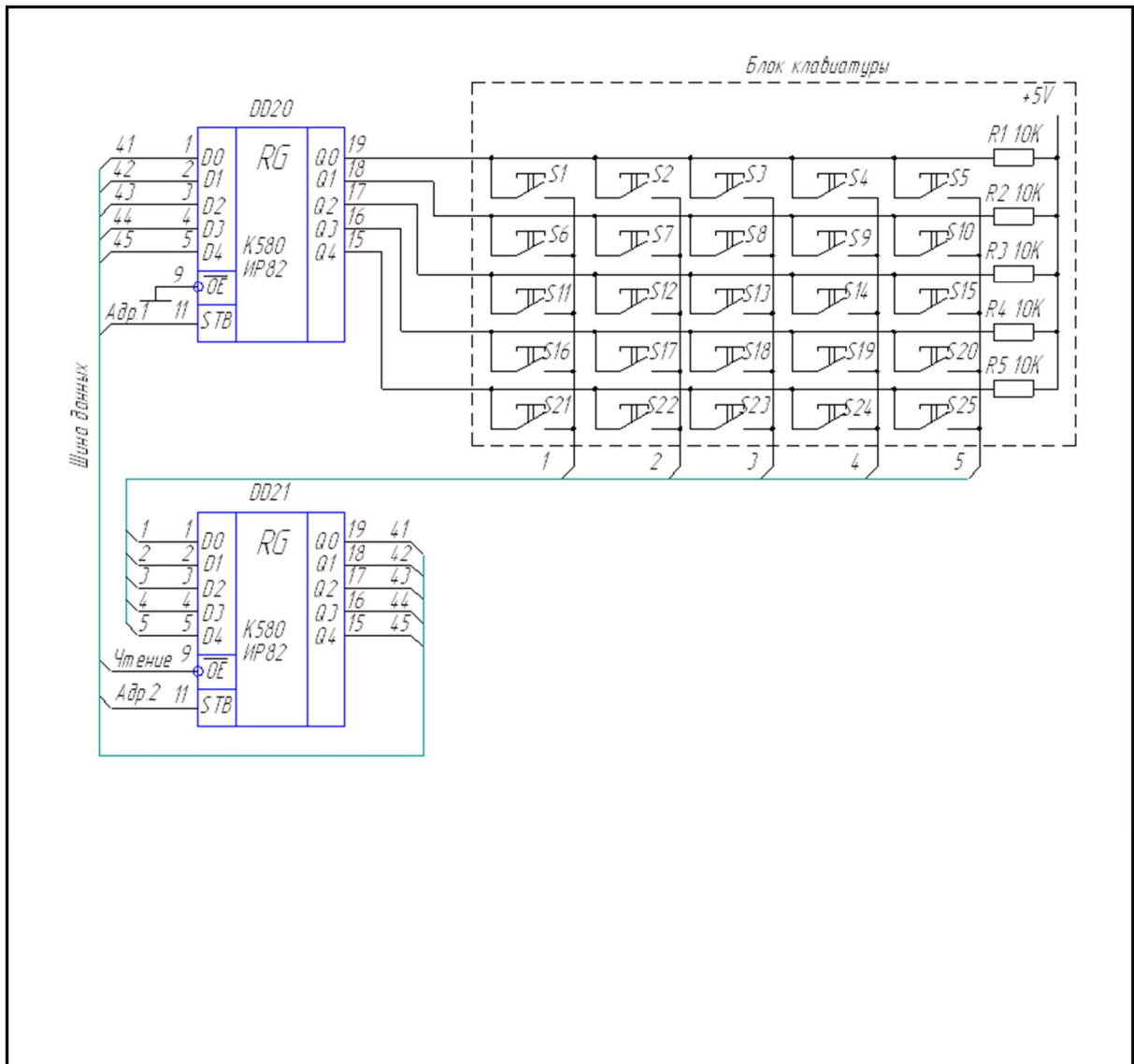
14. Van Wittenberghe J. Increasing the Reliability of Industrial Overhead Cranes by Structural Health Monitoring. *Procedia Structural Integrity*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.03.012>.

ДОДАТОК А ПРИНЦИПОВІ СХЕМИ ЗАСОБУ АВТОМАТИЗАЦІЇ



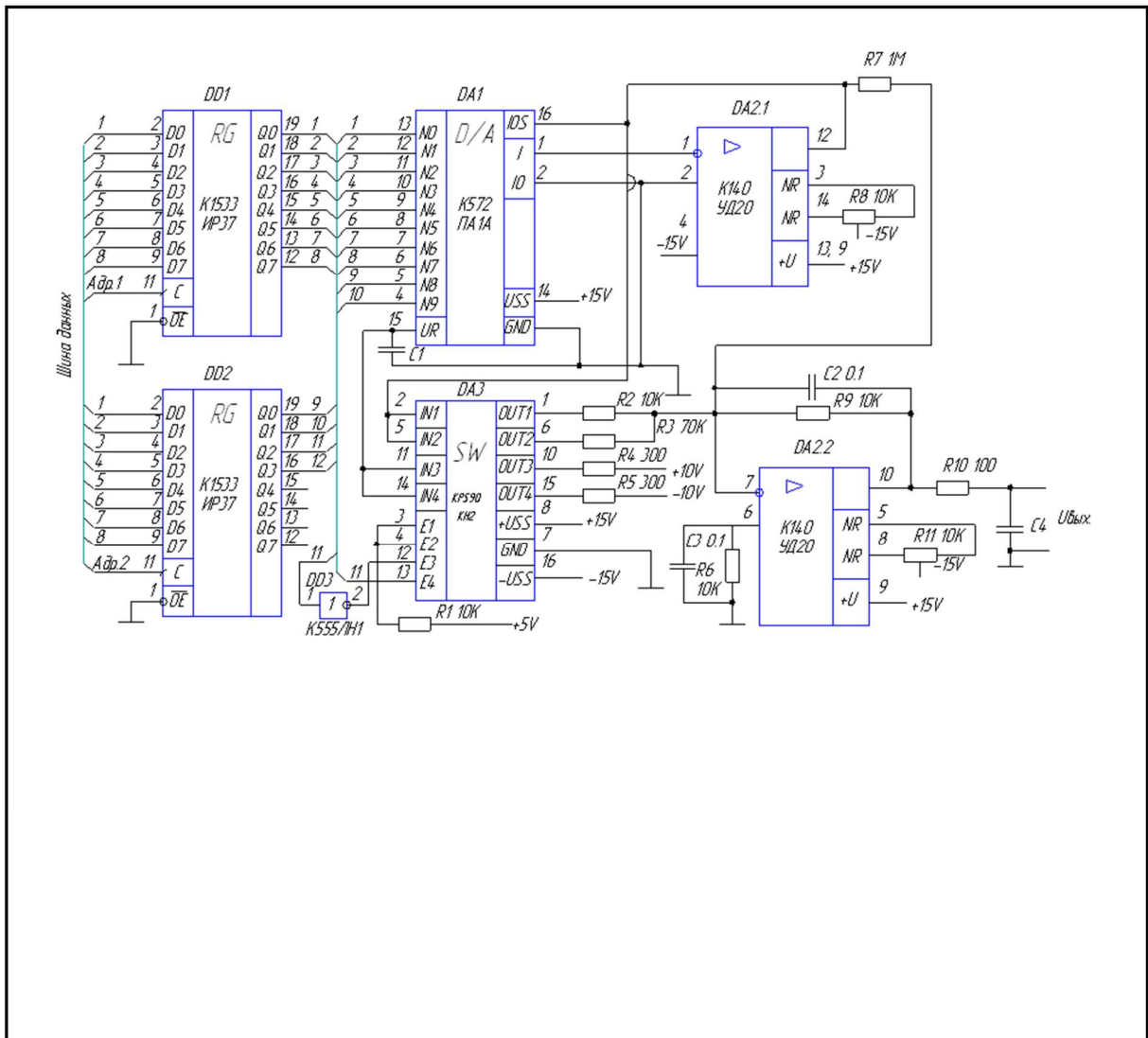
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ							
<i>Рисунок А.1 Принципова схема стабілізованого мережевого перетворювача напруги</i>							
					Буква	Мас а	Масш таб
<i>Змін..</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Колькова Н.П.</i>					
<i>Перевірів</i>		<i>Цимбал Б.М.</i>					
<i>Т. контроль</i>							
<i>Н. контроль</i>		<i>Лактіонов Є.О.</i>					
<i>Затвердив</i>		<i>Цимбал Б.М.</i>					
					<i>Лист 1</i>	<i>Листів 9</i>	
<i>Метінвест Політехніка</i>							

Рисунок А.1 – Принципова схема стабілізованого мережевого перетворювача напруги



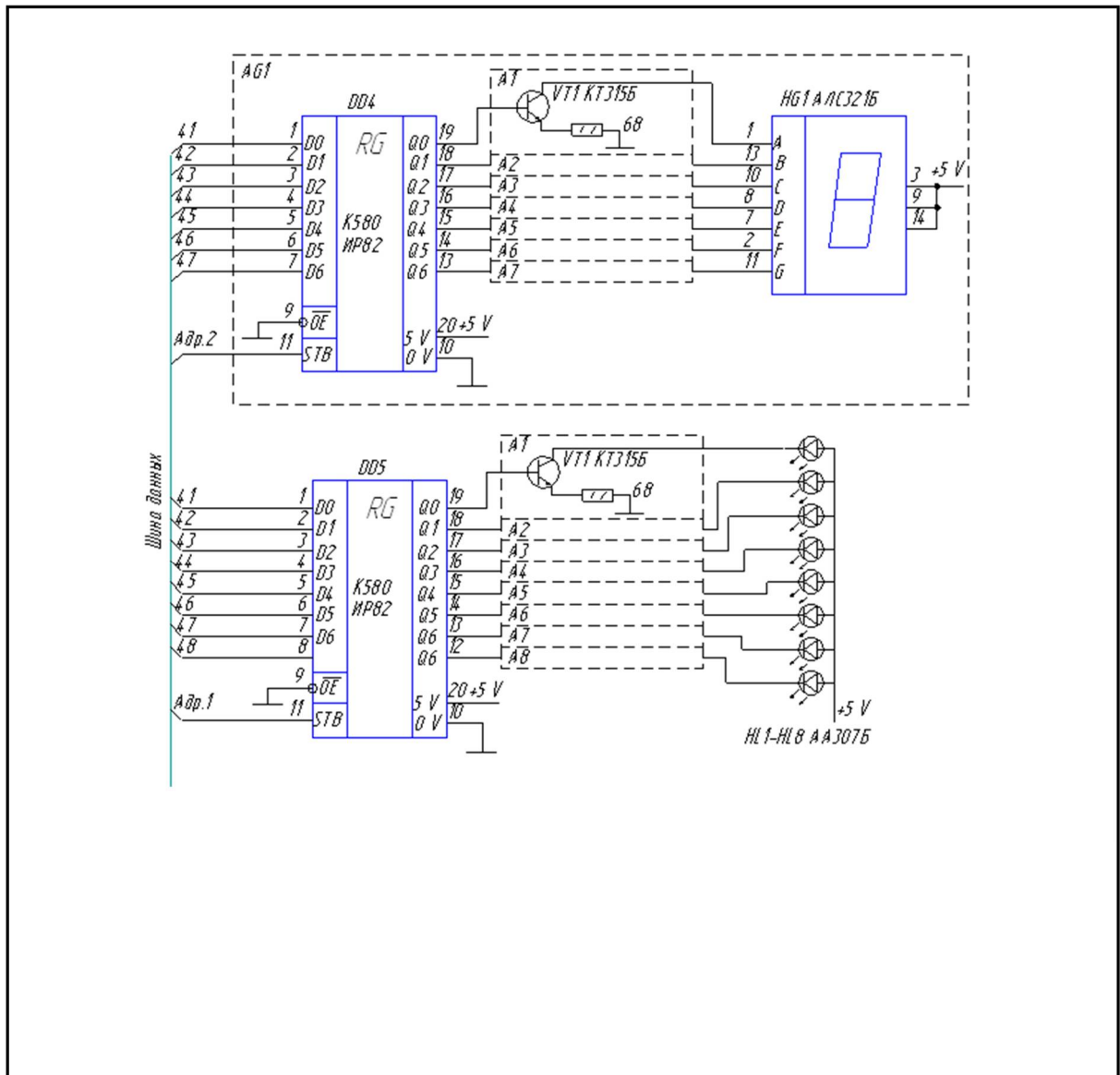
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ				
Рисунок А.2 Принципова схема вузла клавіатури				
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Колькова Н.П.		
Перевірів		Цимбал Б.М.		
Т. контроль				
Н. контроль		Лактіонов Є.О.		
Затвердив		Цимбал Б.М.		
Лист 2			Листів 9	
Метінвест Політехніка				

Рисунок А.2 – Принципова схема вузла клавіатури



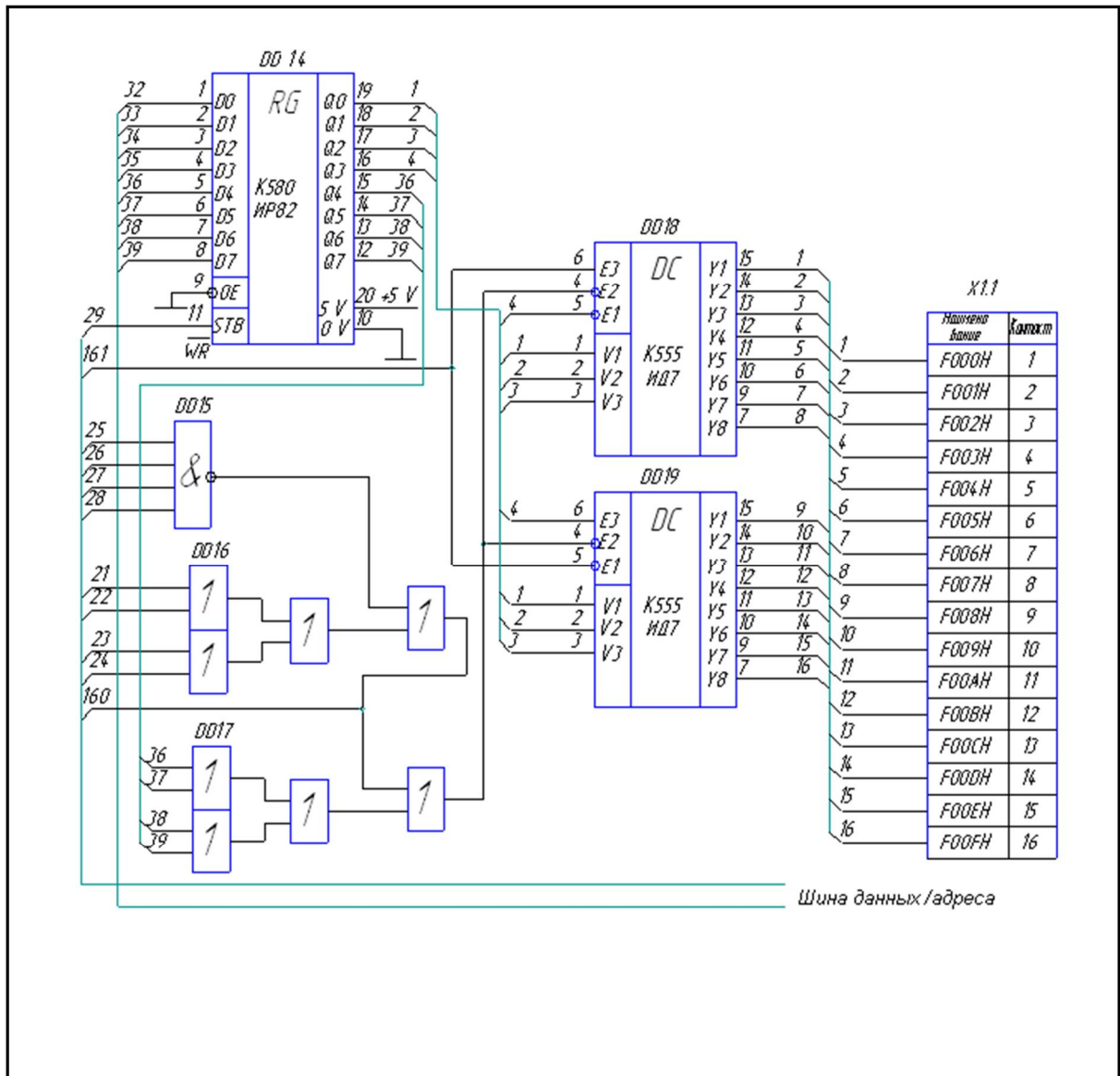
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ				
Рисунок А.3 Принципова схема цифро- аналогового перетворювача				
Змін..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Колькова Н.П.		
Перевірів		Цимбал Б.М.		
Т. контроль				
Н. контроль		Лактіонов Є.О.		
Затвердив		Цимбал Б.М.		
		Лист 3		Листів 9
Метінвест Політехніка				

Рисунок А.3 – Принципова схема цифро-аналогового перетворювача



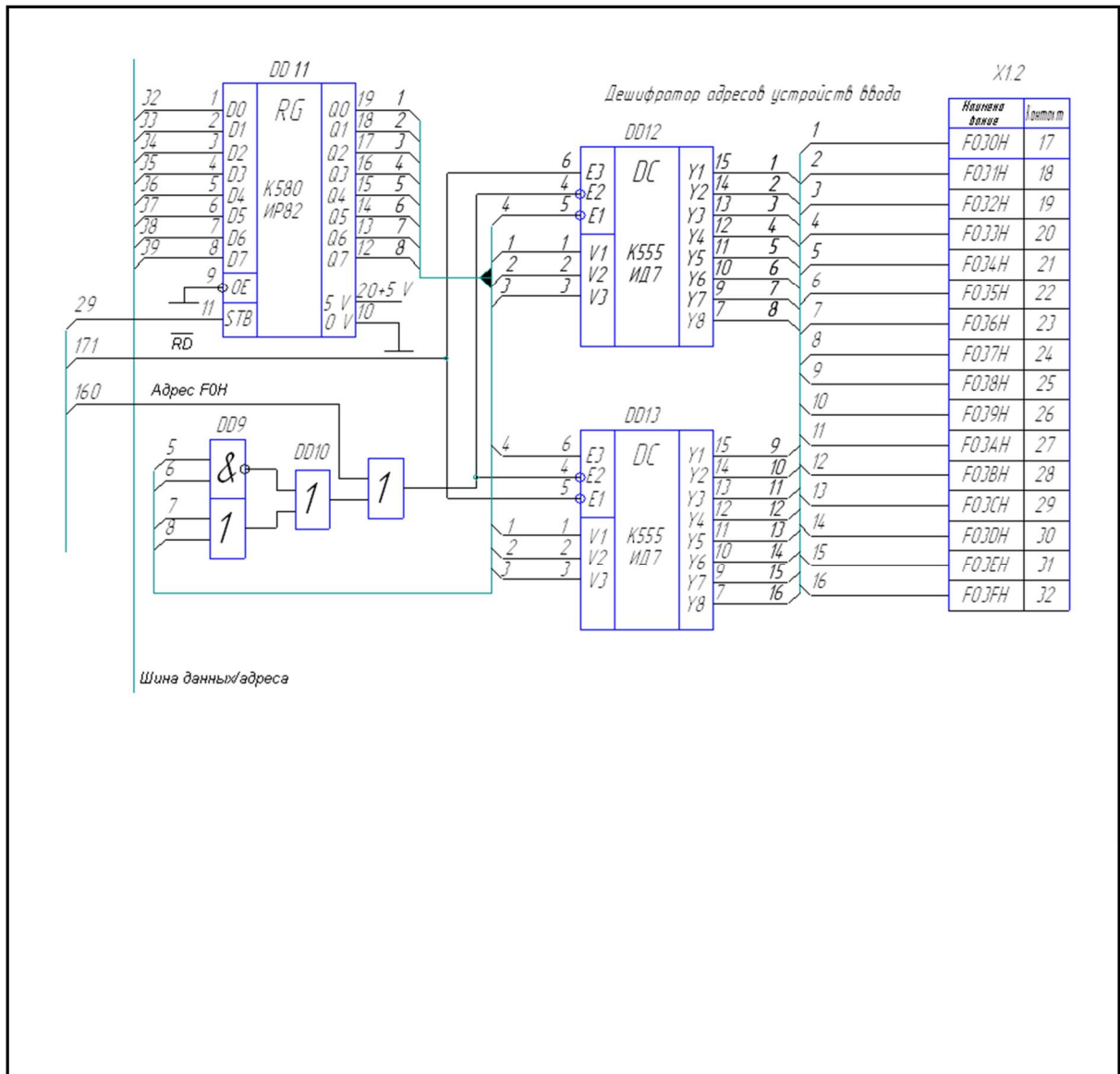
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ				
Рисунок А.4 Принципова схема блоку сигналізації				
Змін..		Лист	№ докум.	Підпис
Розробив		Колькова Н.П.		
Перевірів		Цимбал Б.М.		
Т. контроль				
Н. контроль		Лактіонов Є.О.		
Затвердив		Цимбал Б.М.		
Буква		Маса	Масштаб	
Лист 4		Листів 9		
Метінвест Політехніка				

Рисунок А.4 – Принципова схема блоку сигналізації



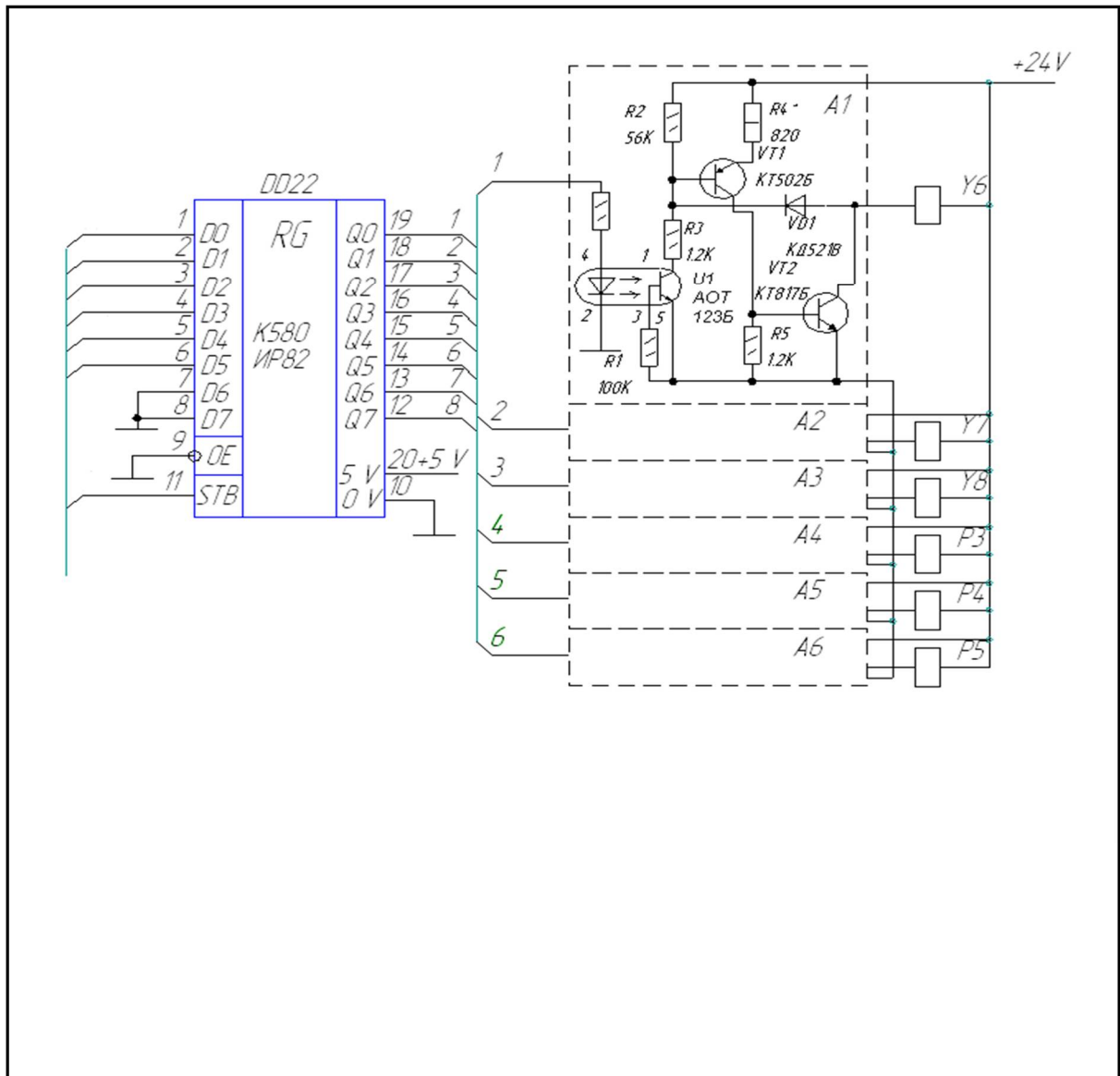
					ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ			
					Рисунок А.5 Принципова схема дешифратора адрес пристроїв виведення	Буква	Маса	Масштаб
Змін..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Колькова Н.П.						
Перевірив		Цимбал Б.М.						
Т. контроль						Лист 5	Листів 9	
Н. контроль		Лактіонов Є.О.			Метінвест Політехніка			
Затвердив		Цимбал Б.М.						

Рисунок А.5 – Принципова схема дешифратора адрес пристроїв виведення



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ												
				Рисунок А.6 Принципова схема дешифратора адрес пристроїв введення								
Змін..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Колькова Н.П.										
Перевірів		Цимбал Б.М.										
Т. контроль												
Н. контроль		Лактіонов Є.О.										
Затвердив		Цимбал Б.М.										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Буква</th> <th style="width: 25%;">Маса</th> <th style="width: 25%;">Масштаб</th> <th style="width: 25%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Буква	Маса	Масштаб					
Буква	Маса	Масштаб										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Лист 6</th> <th style="width: 50%;">Листів 9</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Метінвест Політехніка</td> </tr> </tbody> </table>					Лист 6	Листів 9	Метінвест Політехніка					
Лист 6	Листів 9											
Метінвест Політехніка												

Рисунок А.6 – Принципова схема дешифратора адрес пристроїв введення



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ								
					Рисунок А.8 Схема оптронного ключа із захистом по струму	Буква	Маса	Масштаб
Змін..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Колькова Н.П.						
Перевірів		Цимбал Б.М.						
Т. контроль								
Н. контроль		Лактіонов Є.О.						
Затвердив		Цимбал Б.М.						
						Лист 8	Листів 9	
Метінвест Політехніка								

Рисунок А.8 – Схема оптронного ключа із захистом по струму

