

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий  
інститут електроенергетики  
(навчально-науковий інститут)  
Факультет інформаційних технологій  
(факультет)  
Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеня магістра**

Здобувача вищої освіти Нікуліна Ігоря Юрійовича  
(ПІБ)  
академічної групи 123М-23-1  
(шифр)  
спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія  
(код і назва спеціальності)  
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерна інженерія»  
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи складського  
майданчику компанії ТОВ "АВ метал груп»  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц. Ткаченко С.М.			
розділів:				
синтез системи	доц. Бешта Д.О.			
розроблення програмного забезпечення	ас. Бешта Л.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	проф. Цвіркун Л.І.			

Дніпро  
2024

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
інформаційних технологій  
та комп'ютерної інженерії  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ В.В. Гнатушенко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня магістра  
(бакалавра, магістра)

здобувача вищої освіти Нікуліна І.Ю. академічної групи 123М-23-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності \_\_\_\_\_ 123 Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_

за освітньою-професійною програмою \_\_\_\_\_ «Комп'ютерна інженерія»  
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи складського майданчику компанії ТОВ "АВ метал груп»,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 17 жовтня 2024 р. №1388-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	04.10.2024
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	18.10.2024
Синтез системи	Розробка комп'ютерної системи	01.11.2024
Розроблення програмного забезпечення	Розробка програмного забезпечення	15.11.2024
Експериментальний розділ	Проведення і обробка результатів експериментів	03.12.2024
Графічна частина	Графічні результати роботи подати рисунків схем таблиць на 15 арк. формату А4	11.12.2024

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

доц. Ткаченко С.М.  
(ініціали, прізвище)

Дата видачі 06 вересня 2024 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії

15.12.2024 р.

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис здобувача вищої освіти)

Нікулін І.Ю.

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 78 с., 24 рис., 12 табл., 30 джерел, 1 додаток.

Об'єкт дослідження: кіберфізична система складського майданчика роздрібного торгового центра ТОВ «АВ Метал Груп».

Мета: обґрунтувати технічно-програмне рішення кіберфізичної системи складського майданчика, яка здійснює контроль маси, габаритів і кількості товару у замовленні під час дрібнооптової торгівлі виробами з чорного металу.

У вступі показано актуальність, розкрито мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, ідею роботи та методи дослідження.

У розділі «Стан питання і постановка задачі» розглянута сфера застосування об'єкту дослідження. Виконано обстеження складу виробів чорного металу та його обладнання, як об'єкту, для якого проводиться розробка системи. Сформульовано мету, основну задачу, робочі задачі і ідею роботи.

У теоретичному розділі проведено аналіз можливих способів безконтактного контролю габаритів; розроблено метод безконтактного визначення габаритів замовлення, положення якого не вирівняно по нормалям вимірювання, розроблено метод обліку кількісних характеристик замовлення, синтезовано схему функціональної структури. Висунуто наукове положення.

У розділі «Синтез системи керування» розроблені схема автоматизації і принципова схема системи.

У розділі «Розробка програмного забезпечення» розроблено програмне забезпечення кіберфізичної системи.

В експериментальному розділі перевірено дієдатність програмного забезпечення системи з точки зору обробки показань датчиків ваги й відстані, а також підтверджено висунуте наукове положення.

**КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, СКЛАДСЬКИЙ МАЙДАНЧИК, ТЕРЕЗИ, ВАГА, ДАЛЕКОМІР, НОРМАЛЬ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ, МАСОГАБАРИТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.**

## ЗМІСТ

	<b>Стор.</b>
<b>Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів</b>	7
<b>Вступ</b>	8
<b>1 Стан питання і постановка задачі</b>	10
1.1 Огляд сфери і умов застосування системи	10
1.2 Огляд процесів роботи з товаром на складському майданчику	11
1.3 Огляд процесу контролю масогабаритних характеристик металевих виробів	13
1.3.1 Контроль характеристик дроту	13
1.3.2 Контроль характеристик виробів балочної форми	14
1.3.3 Контроль характеристик рулонів	14
1.3.4 Контроль характеристик порізаних листів	14
1.4 Аналіз методів і засобів вимірювання масогабаритів	15
1.4.1 Аналіз методів вимірювання маси	15
1.4.2 Аналіз методів вимірювання габаритів	17
1.5 Обґрунтування напряму досліджень	18
1.6 Постановка задачі	19
<b>Висновок</b>	20
<b>2 Теоретичний розділ</b>	22
2.1 Аналіз можливих способів вимірювання габаритів та синтез методу обліку габаритних розмірів замовлення	22
2.2 Розробка методу оцінки кількісних характеристик замовлення	27
2.3 Обґрунтування вимог до технічних засобів вимірювання ваги	32
2.4 Синтез схеми функціональної структури	33
<b>Висновок</b>	35
<b>3 Синтез кіберфізичної системи</b>	36
3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації кіберфізичної системи	36

3.2 Розробка принципової схеми комплексу технічних засобів	38
3.2.1 Аналіз входів та виходів системи	38
3.2.2 Обґрунтування елементної бази системи	43
3.2.3 Реалізація принципової схеми кіберфізичної системи	49
<b>Висновок</b>	50
<b>4 Розробка програмного забезпечення</b>	51
4.1 Призначення і сфера застосування програмного забезпечення	51
4.2 Обґрунтування технічних характеристик програми	51
4.3 Опис розробленої програми	54
4.3.1 Загальна інформація	54
4.3.2 Функціональне призначення	55
4.3.3 Опис логічної структури програми	56
4.3.4 Використані технічні засоби	60
4.3.5 Виклик та завантаження	60
4.3.6 Вхідні й вихідні дані	60
<b>Висновок</b>	61
<b>5 Експериментальний розділ</b>	62
5.1 Формулювання вимог до експерименту	62
5.2 Підготовка експерименту	62
5.3.1 Випробування блоків ПЗ	65
5.2.2 Дослідження методу оцінки довжини й ширини габаритного замовлення в умовах його кутового відхилення	69
5.3 Аналіз результатів експериментів	70
5.3.1 Оцінка результатів випробувань на контрольному прикладі	70
5.3.2 Оцінка результатів випробувань контуру обробки ваги	70
5.3.3 Оцінка результатів випробувань контуру попередньої обробки розмірів	71

5.3.4 Оцінка результатів моделювання вимірювання й оцінки довжини й ширини габаритного замовлення в умовах його кутового відхилення	71
<b>Висновок</b>	73
<b>Висновки</b>	74
<b>Перелік посилань</b>	75
Додаток А                      Програмне забезпечення. Текст програми	79

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТОВ	– Товариство з обмеженою відповідальністю;
КФС СМ	– кіберфізична система складського майданчику;
КФС	– кіберфізична система;
АРМ	– автоматизоване робоче місце;
НМІ	– англ. Human Machine Interface, людино-машинний інтерфейс;
КТЗ	– комплекс технічних засобів;
TFT	– англ. Thin Film Transistor, тонкоплівковий транзистор;
USB	– англ. Universal Serial Bus, універсальна послідовна шина;
NAT	– англ. Network Address Translation, перетворення мережевих адрес;
NAPT	– англ. Network Address Port Translatin, динамічна NAT з перевантаженням IP;
CPU	– англ. Central Processor Unit, модуль центрального процесора;
ПЗ	– програмне забезпечення.

## ВСТУП

Компанія ТОВ “АВ метал груп” займає одне з провідних місць у сфері торгівлі виробами з чорного металу. В її асортименті арматура різного профілю, дріт, прокат, профільні труби та листи, металеві сітки та інше. Визначення масогабаритних характеристик оптових партій товару є одними з найважливіших контрольних операцій на стадії їх приймання на склад, під час обліку і відвантаження. Складність вказаної операції пов’язана саме із великою масою і габаритами товару, що потребує залучення специфічних технічних засобів для їх переміщення й зважування. Щодо визначення габаритів, то часто саме цю операцію доводиться проводити вручну у тісних і незручних умовах складського майданчика чи приміщення.

Представлена робота являє собою дослідження й обґрунтування програмно-технічного рішення кіберфізичної системи складського майданчику, де приймають, ставлять на облік, зберігають і відпускають замовнику дрібнооптові партії крупногабаритних виробів із чорного металу. Результати можуть бути використані у подальшому для побудови кіберфізичних систем визначення масогабаритних характеристик партій виробів із чорного, кольорового металів, партій деревних чи пластикових матеріалів, тканин, технічних плівок і волокон у рулонах.

Мета роботи – обґрунтувати технічно-програмне рішення кіберфізичної системи складського майданчика, яка здійснює контроль маси, габаритів і кількості товару у замовленні під час дрібнооптової торгівлі виробами з чорного металу.

Об’єкт дослідження – кіберфізична система складського майданчика роздрібного торгового центра ТОВ «АВ Метал Груп».

Предмет дослідження – методи й алгоритми визначення кількісних і масогабаритних характеристик замовлень виробів із чорного металу.

Методи дослідження: обстеження в якості об’єкту впровадження ділянки складського майданчику, призначеного для вимірювання ваги й габаритів дрібнооптового замовлення; аналіз задач і обґрунтування необхідного обладнання

контролю масогабаритних характеристик замовлень виробів з чорного металу; аналіз можливих і обґрунтування необхідної схеми розташування датчиків вимірювання відстані до контрольних точок габариту замовлення; синтез методу обліку габаритних характеристик замовлення за показниками датчиків вимірювання відстані; синтез методу обліку кількісних характеристик замовлення; синтез схеми функціональної структури кіберфізичної системи складського майданчика; розробка технічного рішення й програмного забезпечення системи; натурна експериментальна перевірка контрольним прикладом програмного забезпечення системи у частині підготовки даних з ваги й показників габаритів; експериментальне дослідження на моделі запропонованого методу розрахунку габаритів замовлення з урахуванням відхилення його сторін від нормалей вимірювання датчиків відстані для перевірки висунутого наукового положення.

Ідея роботи – здійснювати контроль контролю ваги, габаритів і кількісних характеристик дрібнооптових замовлень виробів із чорного металу можливо на основі результатів їх зважування, вимірювання двох лінійних розмірів та довідникових даних з металопрокату.

Наукове положення:

Для безконтактної оцінки довжини й ширини габаритного замовлення за умовах його кутового відхилення відносно ліній вимірювання необхідно й достатньо використати 5 датчиків вимірювання відстані до його контрольних точок.

Новизна роботи: показано можливість безконтактно автоматизовано вимірювати габарити предмету без того, щоб виставити його по вимірювальним міткам за допомогою точкових вимірювань.

## 1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 Огляд сфери і умов застосування системи

ТОВ «АВ Метал Груп» – один з найбільших українських металотрейдерів і виробників металопрокату, який включає у себе понад 48 крупних філій і 282 роздрібних центрів. Продукція компанії включає у себе у тому числі сортовий, фасонний, трубний і плоский металопрокат. Варто зазначити, що до переліку може входити як чорний металопрокат, так і оцинкований, а також і профнастил із різними типами покриття [1, 2].

Геолокація розташування складів "АВ метал груп" у м. Дніпро показана на рис. 1.1. У м. Дніпро розташовано і центральний офіс.

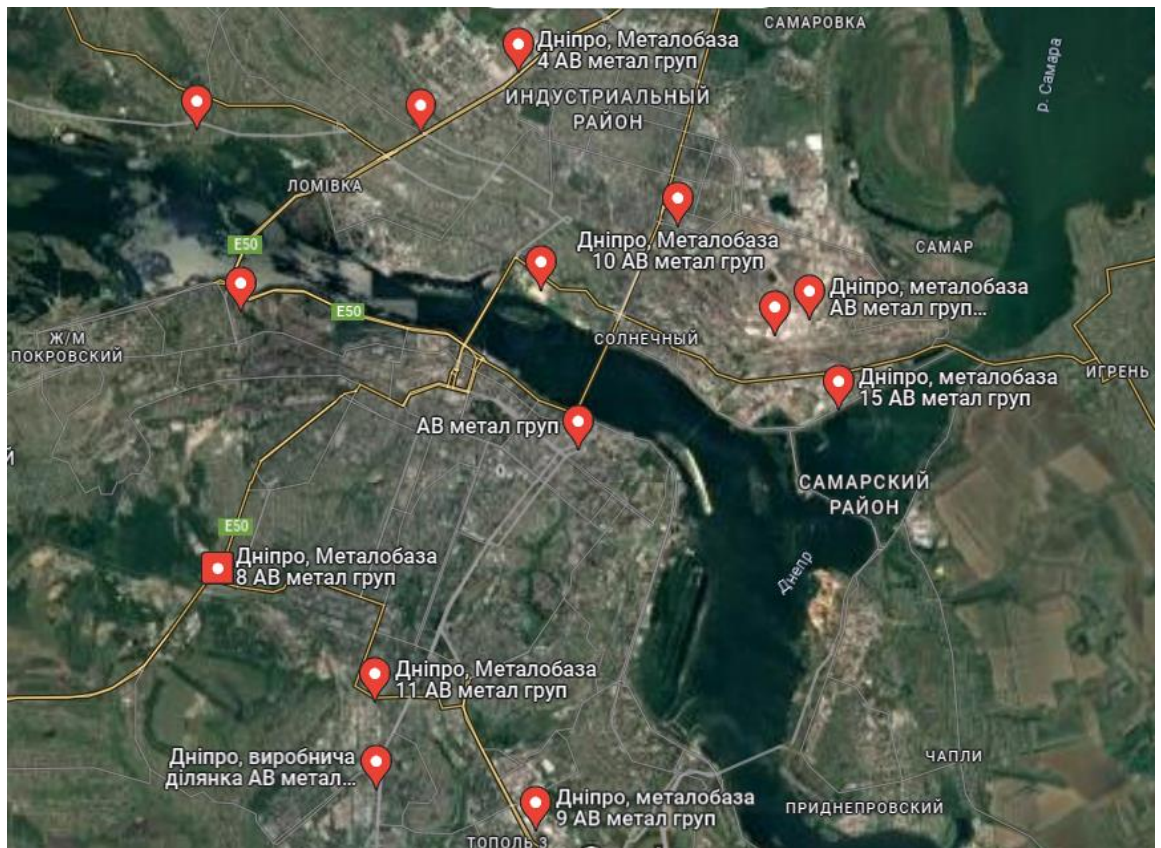


Рисунок 1.1 – Геолокація розташування складів "АВ Метал Груп" у м. Дніпро

Очевидно, що навіть у межах м. Дніпро не всі складські майданчики мають необхідне обладнання для формування пакетів і партій замовлень, наприклад, таких як показано на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Приклади формування замовлень

Тому пункти зберігання і видачі у більшості випадків замовлення вже приходять зібрані й стягнуті у пакети. Виникає задача прийняти товар від центрального складу чи від виробництва, проконтролювати його відповідність замовленню, поставити на складський облік, мати можливість підтвердити його масогабаритні характеристики перед відвантаженням замовнику. Таким чином, виникає задача розробки і впровадження профільної системи, що підтримує роботу складського майданчика. Розглянемо процеси приймання, обліку, зберігання й відвантаження мілкооптових партій крупногабаритних виробів з металу на складському майданчику металобаз.

## 1.2 Огляд процесів роботи з товаром на складському майданчику

Комірник складського майданчика металобаз у даному випадку є комірником складу готової продукції. Згідно відповідної посадової інструкції [3] він виконує наступні функції:

- приймає на склад, зважує, зберігає і видає зі складу матеріальні цінності, у даному випадку замовлені чи підготовлені до замовлень металовироби;
- перевіряє відповідність цінностей, які приймає, супровідним документам;

- переміщує матеріальні цінності до місць зберігання вручну або за допомогою штабелерів та інших механізмів із розкладанням (сортуванням) їх за видами, якістю, призначенням та іншими ознаками;
- керує роботою під час навантаження, вивантаження вантажів і розташування їх усередині складу;
- комплектує партії замовлень, але у даному випадку ця функція може бути технічно обмежена;
- складає дефектні відомості на несправні інструменти, прилади тощо, некондиційний, невідповідний чи неякісний товар, акти на їх списання, а також на недостачу і псування;
- організовує зберігання товарів, супутніх матеріалів і інструменту з метою запобігання їх псуванню та втратам;
- обліковує наявні на складі матеріальні цінності і звітну документацію про їх рух;
- бере участь в інвентаризаціях;
- забезпечує зберігання матеріальних цінностей.

Щодо процесів комплектування, переміщення, вантажних робіт, організації зберігання – ці процеси підлягають автоматизації і подібні системи існують на відповідних збудованих автоматизованих сховищах. Для складських майданчиків металобаз компанії «АВ Метал Груп» це не актуально, оскільки вони не містять великого обсягу металовиробів і не пристосовані під такий рівень автоматизації. Тобто є балкові крани, штабелери, завантажувачі, але все це знаходиться під керуванням комірника чи оператора. Облік товару та супутній документообіг на сьогодні автоматизовано. Існує достатньо програм складського обліку на кшталт «Укрсклад»[4], DNTrade [5], BAS МійСклад та подібних [6]. За необхідності, можуть бути використані сканери чи принтери штрих-кодів [7]. Але в умовах складського майданчику габаритних металовиробів на сьогодні складність представляє процес співставлення наявного товару тому, який вказано у відповідних накладних. Звичайно, масу можна виміряти за допомогою відповідних терезів, які нескладно інтегрувати у систему обліку й керування складом. Але

габарити, замовлення на сьогодні вимірюються вручну рулеткою, що на заповненому складському майданчику не завжди просто. Крім того, є проблема контрольного підрахунку кількості виробів, наприклад, швелерних балок чи круглої арматури у пакеті. Якщо ж мова йде про рулон, наприклад, сітки рабиці, то це без її розгортання майже неможливо. Таким чином, виникає необхідність побудови кіберфізичної системи складського майданчику, далі КФС СМ, з функціями контролю масогабаритних характеристик і комплектності дрібнооптових замовлень як підсистеми керування обліком складського майданчика металевих виробів. Розглянемо процес контролю масогабаритних характеристик металевих виробів для постановки задач досліджень.

### **1.3 Огляд процесу контролю масогабаритних характеристик металевих виробів**

Крупні металеві вироби, які відвантажуються на металобазах "АВ Метал Груп", за своїми габаритами можна розділити на групи:

- довгомірні, або балочної форми, поставляються у пакетах, скріплених дротовими стяжками, як показано на рисунку 1.2;
- рулони типу сіток рабиця і подібні;
- рулони плаского металопрокату;
- бухти дроту й катанки;
- порізані листи металопрокату і профнастилу у стосах.

Всі ці п'ять груп потребують індивідуальних підходів до контролю масогабаритних характеристик. Розглянемо кожний з них окремо.

#### **1.3.1 Контроль характеристик дроту**

Найпростіший випадок, оскільки тут габарити значення не мають і визначаються розмірами шпульки, на яку дріт було навито. Тому тут контроль можливий лише за вагою. Таким чином, є заздалегідь відомі таблиці ваги погонного метра катанки для різних діаметрів[8], тому за показаннями терезів можливо визначити довжину дроту в бухті. Діаметр дроту при цьому необхідно

визначити ручним вимірюванням, що у порівнянні з операціями по розміщенню бухти на терезах несуттєво.

### **1.3.2 Контроль характеристик виробів балочної форми**

Вироби балочної форми розрізаються під час виготовлення на довжини 6, 9 і 12 м для зручності перевезення. При цьому сучасні вимоги до точності порізки допускають відхилення 1...1,5 мм[9], тому цією похибкою під час верифікації товару можна знехтувати. По аналогії з дротом, тут є таблиці для погонної ваги балочних форм різного профілю [10]. Таким чином, знаючи сортамент прокатного виробу у пакеті і довжину пакету, що за умови типового розміру визначається візуально, можна вирахувати кількість виробів у пакеті. Опціонально, є можливість контролювати також і довжину пакету, що не лише автоматизує операцію введення даних до системи керування складом, але й забезпечить додатковий контроль відповідності габаритів заявленим у накладних документах.

### **1.3.3 Контроль характеристик рулонів**

Аналогічно з бухтами, довжина рулону рабиці чи металопрокату може бути визначена через відповідні таблиці питомої ваги погонного метра. Такі таблиці можна формувати за необхідністю. Але у рулона є ще й ширина. Її доцільно контролювати так само, як і довжину пакету виробів балочної форми.

### **1.3.4 Контроль характеристик порізаних листів**

Кількість листів у пакеті можна визначити, знаючи вагу одного листа. Опціонально, можна контролювати ширину й довжину стосу.

Таким чином, у більшості випадків, КФС СМ повинна контролювати вагу й лінійні розміри виробів. Тому необхідно провести аналіз існуючих методів і засобів вимірювання масогабаритів металевих виробів.

## 1.4 Аналіз методів і засобів вимірювання масогабаритів

### 1.4.1 Аналіз методів вимірювання маси

Для вимірювання ваги металу на металобазах "АВ Метал Груп" можливо використовувати кілька методів:

- вимірювання ваги крановими терезами[11];
- вимірювання ваги платформними терезами[12];
- вимірювання ваги автомобільними терезами[13];
- вимірювання ваги рольганговими терезами[14].

Вимірювання ваги залізничними терезами для дрібнооптових баз не є типовим і в "АВ Метал Груп" для цієї мети не використовується.

Використання кранових ваг ускладнено необхідністю передачі даних на КФС СМ через рухомі елементи крану. Також потрібно дочекатись, коли коливання підвішеного вантажу погаснуть, щоб не мати підвищеної похибки. Окрім цих недоліків, під час вимірювання не вирішується ще одна задача – індикативне вимірювання габаритів товару. Таке вимірювання потребує окремої операції на вимірювальному майданчику, а не на крановому підвісі. Тому, незважаючи на широкий, до 10 тон, діапазон вимірювань крановими терезами, цей метод може бути лише додатковим, для зважування, наприклад, бухт дроту.



Рисунок 1.3 – Кранові терези

Автомобільні терези для дрібнооптових партій також не дуже придатні, оскільки визначити габарити вантажу безпосередньо у кузові чи платформі не завжди можливо. Але навіть за умови можливості такої операції потрібне додаткове на зважування розвантаженого автомобіля. Зважаючи на це, а також на підвищені вимоги до площі, виділеної під автомобільні терези, від використання автомобільних терезів як основного вимірювального засобу КФС СМ також є сенс відмовитись.



Рисунок 1.4 – Автомобільні терези. Безплатформний варіант



Рисунок 1.5 – Платформні й рольгангові терези. Приклади

Платформні й рольгангові терези дозволяють виміряти вагу товару, що лежить у спокійному стані. Потім, не порушуючи цей стан, виміряти габарити

вантажу. Додатково, приводні рольгангові ваги[15] можуть використовуватись і для вимірювання лінійного розміру вантажу, але не у двох вимірах. Таким чином, для розробки КФС СМ, доцільно розглянути обидва методи.

### **1.4.2 Аналіз методів вимірювання габаритів**

Зважаючи на вибрані методи вимірювання маси – на платформних та рольгангових терезах – розглянемо можливі методи визначення габаритів товару.

Для вимірювання довжини прокату на підприємствах на сьогодні використовуються методи вимірювання довжини через час проходження заготовки через вимірювальну зону або шляхом підрахунку обертів пасивного вимірювального валка [16]. Обидва методи цілком прийнятні для вимірювання довжини й ширини запакованого у прямокутні коробки товару, що рухається двома рольганговими транспортерами. Можна використовувати й вибрані у п.1.5.1 приводні рольгангові терези, але лише для вимірювання довжини упаковки товару, тому для визначення ширини стосу нарізаного листового металу чи профільного покриття буде потрібне додаткове обладнання чи додаткова операція. Тому пропонується виміряти довжину й ширину товару, що лежить на платформних чи рольгангових терезах у стані спокою, надаючи перевагу при цьому безконтактним засобам, як більш придатним до використання у складі КФС.

Серед безконтактних засобів вимірювання довжини можна виділити[17]:

- прилади, основані на відмінностях електричних, магнітних, теплових та інших властивостей. Відповідно існують електромагнітні, ємнісні, кондуктометричні тощо;
- спектрометричні засоби вимірювань залежно від довжини хвилі випромінювання, що використовується при вимірюванні, поділяють на звукові, ультразвукові, радіохвильові, надвисокочастотні, оптичні (лазерні).

Перша група датчиків не придатна для вирішення задачі вимірювання габаритів крупних вантажів через малу відстань спрацювання[18, 19]: 10...60 мм, за умови варіацій габаритів у кілька метрів. Тому розглянемо саме спектрометричні засоби.

Пірометри, як такі не призначені для вимірювання довжини[20]. З іншого боку, на ринку України, в якості датчиків саме довжини присутні ультразвукові та оптичні датчики [21, 22]. За співвідношенням ціна-якість та з огляду на простоту використання у складі КФС краще обрати саме оптичні датчики, наприклад, фірми JRT.



Рисунок 1.6 – Оптичні датчики JRT U85-20m

Таблиця 1.1 – Деякі технічні характеристики датчика JRT U85-20m

Параметр	Значення
Точність	$\pm 1$ мм
Вимірювання відстані (без відбиття)	0.03...10 м
Час вимірювання	0.3~4 с
Напруга живлення	DC2.0~3,3 В

Таким чином, для побудови системи КФС СМ в якості типового обладнання обираємо платформні або рольгангові терези, оснащені контролером зважування із виходом на промисловий інтерфейс та вимірювальне обладнання на базі датчиків оптичних датчиків JRT U85-20m.

### 1.5 Обґрунтування напряму досліджень

У результаті аналізу методів і засобів вимірювання масогабаритних характеристик дрібнооптових партій крупногабаритних виробів з чорного металу маємо наступні передумови:

- на ринку є достатня кількість рішень з платформних і рольгангових терезів, обладнаних промисловими інтерфейсами, щоб використовувати їх у складі розробленої КФС СМ;

- для обліку кількості виробів у пакеті, довжини металу у рулоні чи бухті існують готові довідкові таблиці;

- на ринку присутні безконтактні лазерні датчики довжини із достатньо широким діапазоном вимірювання й задовільною точністю.

Таким чином, дослідження мають відбуватись у напрямку створення апаратно-програмного рішення для КФС, яке має виконувати функції:

- отримувати дані з ваги товару, розміщеного на терезах;
- для пакетів і рулонів визначати лінійний габарит в одному вимірі;
- для стосів визначати лінійні габарити у двох вимірах;
- використовуючи довідникові, а за потребою, наново створені дані, визначати кількісні характеристики товару на терезах.

## **1.6 Постановка задачі**

ТОВ «АВ Метал Груп» включає у себе велику кількість і роздрібних центрів, які здійснюють торгівлю широким асортиментом металопродукату, включаючи й профнастил. Є потреба додаткового контролю під час прийняття товару від виробництва, інвентаризації, перед відвантаженням замовнику. Виникає актуальна задача побудови кіберфізичної системи складського майданчику, яка здійснює контроль ваги, габаритів і кількісних характеристик дрібнооптових замовлень.

Мета даної магістерської роботи – обґрунтувати технічно-програмне рішення кіберфізичної системи складського майданчика, яка здійснює контроль маси, габаритів і кількості товару у замовленні під час дрібнооптової торгівлі виробами з чорного металу.

Основною задачею магістерської роботи є обґрунтування функціональної структури, технічного рішення, методів та алгоритмів отримання даних від контролера терезів, вимірювання довжини й ширини замовлення, визначення кількості товару у замовленні. Для вирішення поставленої задачі необхідно:

- обґрунтувати метод вимірювання довжини й ширини габаритного замовлення на основі лазерних вимірювачів довжини;
- проаналізувати структуру довідкових таблиць для виробів з металу та розробити метод оцінення кількісних характеристик замовлення;
- обґрунтувати вимоги до технічних засобів вимірювання ваги замовлення;
- розробити технічне рішення кіберфізичної системи на основі типового комплексу технічних засобів;
- розробити програмне забезпечення КФС складського майданчика;
- провести експериментальні дослідження КФС складського майданчика у порядку її випробувань.

## **ВИСНОВОК**

Об'єкт дослідження – кіберфізична система складського майданчика роздрібно-торгового центра ТОВ «АВ Метал Груп».

Предмет дослідження – методи й алгоритми визначення кількісних і масогабаритних характеристик замовлень виробів із чорного металу.

Актуальність проблеми обумовлена необхідністю вхідного, оперативного та вихідного контролю ваги, габаритів і кількісних характеристик дрібнооптових замовлень під час керування складом у процесі здійснення торгівельних операцій з виробами із чорного металу.

Мета роботи – обґрунтувати технічно-програмне рішення кіберфізичної системи складського майданчика, яка здійснює контроль маси, габаритів і кількості товару у замовленні під час дрібнооптової торгівлі виробами з чорного металу.

Ідея роботи – здійснювати контроль контролю ваги, габаритів і кількісних характеристик дрібнооптових замовлень виробів із чорного металу можливо на основі результатів їх зважування, вимірювання двох лінійних розмірів та довідникових даних з металопрокату.

Основна задача роботи – обґрунтування функціональної структури, технічного рішення, методів та алгоритмів отримання даних від контролера терезів,

вимірювання довжини й ширини замовлення, визначення кількості товару у замовлень.

Методи дослідження: обстеження в якості об'єкту впровадження ділянки складського майданчику, призначеного для вимірювання ваги й габаритів дрібнооптового замовлення; аналіз задач і обґрунтування необхідного обладнання контролю масогабаритних характеристик замовлень виробів з чорного металу; аналіз можливих і обґрунтування необхідної схеми розташування датчиків вимірювання відстані до контрольних точок габариту замовлення; синтез методу обліку габаритних характеристик замовлення за показниками датчиків вимірювання відстані; синтез методу обліку кількісних характеристик замовлення; синтез схеми функціональної структури кіберфізичної системи складського майданчика; розробка технічного рішення й програмного забезпечення системи; натурна експериментальна перевірка контрольним прикладом програмного забезпечення системи у частині підготовки даних з ваги й показників габаритів; експериментальне дослідження на моделі запропонованого методу розрахунку габаритів замовлення з урахуванням відхилення його сторін від нормалей вимірювання датчиків відстані для перевірки висунутого наукового положення.

## 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Аналіз можливих способів вимірювання габаритів та синтез методу обліку габаритних розмірів замовлення

Вважаючи, що насправді габаритні розміри й форма замовлень на складському майданчику відрізняються, візьмемо деякий майданчик вимірювання габаритів, який, скоріш за все, буде суміщено із майданчиком для вимірювання ваги. Тоді виріб буде на момент визначення габаритів знаходитись на терезах. Найпростіша схема розташування датчиків вимірювання довжини у такому випадку показана на рисунку 2.1.

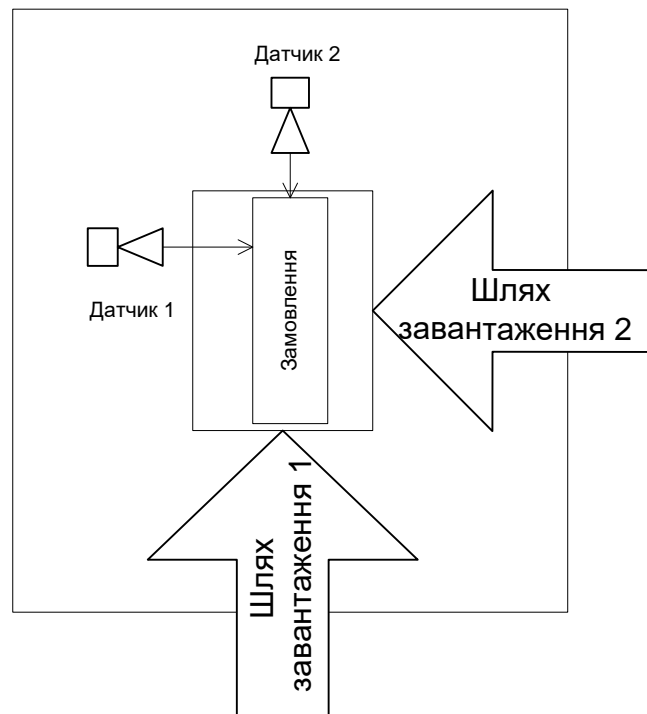


Рисунок 2.1 – Схема 1 розташування датчиків вимірювання габаритів

Датчик 1 на рисунку 2.1 знадобиться лише для вимірювання довжини стосів. Якщо мова йде про габарити рулонів або пакетів виробів балочних форм – тут важлива, відповідно, висота рулону чи довжина балки. Рулони перевозять і зберігають, поклавши на циліндричну платформу – так їх можливо вантажити. Тобто для пакетів і рулонів потрібен лише датчик 1. Далі за вагою і довідником можна визначити кількісні показники товару. Для бухт дроту довжини не потрібні,

лише вага. Довжина або ширина замовлення у схемі 1 (рисунок 2.1) визначиться наступним чином:

$$L_g = L_b - \dot{L}, \quad (2.1)$$

де  $L_g$  – лінійна довжина, яку потрібно виміряти;

$L_b$  – віддаленість умовної базової лінії від точки, по якій встановлено датчик відстані;

$\dot{L}$  – дані, отримані від датчика відстані.

Таким чином, для застосування Схеми 1, потрібно виставити замовлення по деякій базовій лінії, а у випадком зі стосом металу – по двом лініям. За допомогою крану це складно і являє собою певну небезпеку. Покращити ситуацію могли б шлеперні завантажувачі та рольгангові транспортери, але для торгової точки це додаткові площі й обладнання. Шляхом вирішення є відмова від стаціонарних точок  $L_b$  і впровадження ще одної пари датчиків:

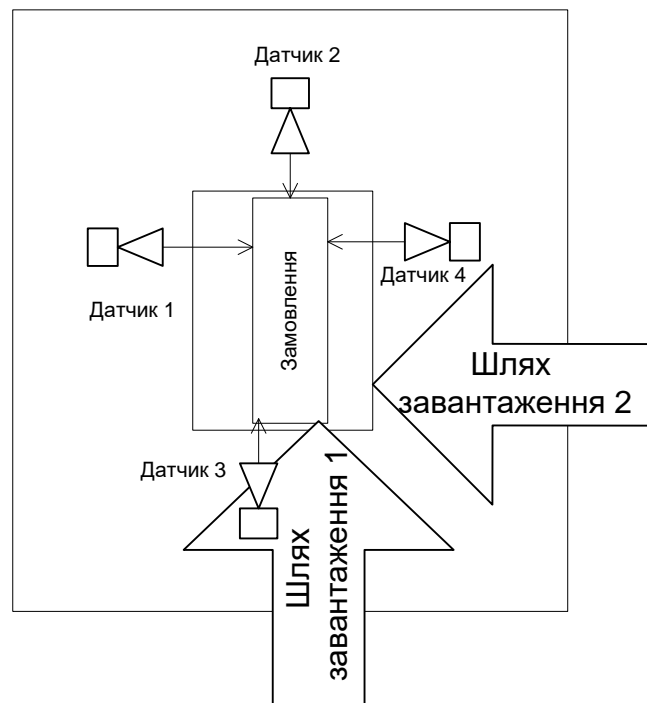


Рисунок 2.2 – Схема 2 розташування датчиків вимірювання габаритів

За умови застосування Схеми 2 (рисунок 2.2), довжина чи ширина замовлення у схемі 1 (рисунок 2.1) визначиться наступним чином:

$$L_g = L_b - \dot{L}_1 - \dot{L}_2, \quad (2.2)$$

де  $L_b$  – відстань між датчиками;

$\dot{L}_1$  – дані, отримані від датчика відстані 1 або 2;

$\dot{L}_2$  – дані, отримані від датчика відстані 3 або 4 відповідно.

Схема 2 дозволяє не виставляти товар за умовними базовими лініями для вимірювання габаритів і придатна для завантаження крановими підйомниками, хоча є вірогідність зачепити датчик 3 або 4. Якщо ж використовувати штабелери чи завантажувачі іншого типу, то датчики заважатимуть. На додачу, ні Схема 1, ні Схема 2 не враховують той факт, що вироби балочного типу мають складний торцевий профіль, який унеможлиблює надійне відбиття лазерного променя вимірювача. Тому, так чи інакше, знадобиться ручне встановлення вимірювальних трафаретів на рівні торців замовлень. Але якщо все одно мають бути використані трафарети, то схему 2 можна модифікувати, як показано на рисунку 2.3. Потовщеними лініями на рисунку 2.3 показане розміщення вимірювальних трафаретів. Їх ручне переміщення можна вважати нескладною операцією у порівнянні з завантаженням та розвантаженням вимірювального майданчика.

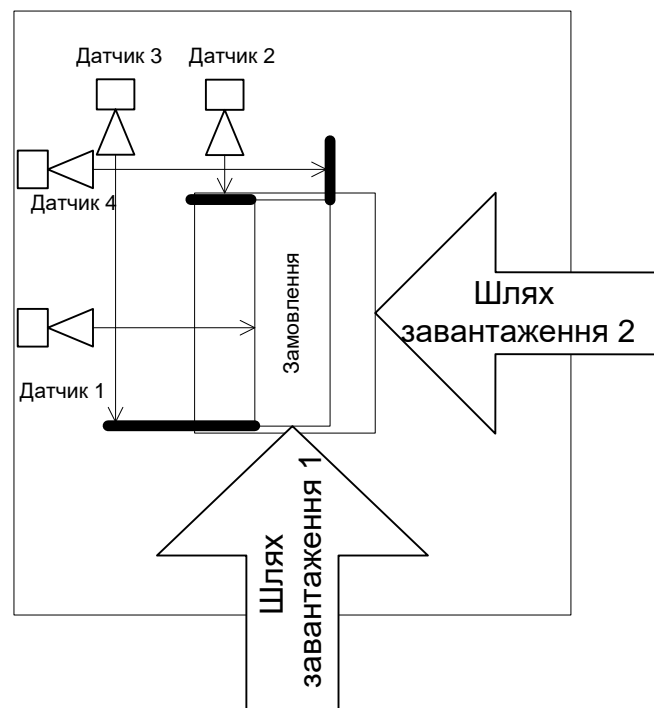


Рисунок 2.3 – Схема 3 розташування датчиків вимірювання габаритів

Як видно за рисунком 2.3, використання вимірювальних трафаретів дозволяє вивільнити більше простору для проведення робіт із перевантаження замовлень. Габарити  $L_g$  при цьому будуть визначатись за трохи більш простою формулою:

$$L_g = \ddot{L}_2 - \ddot{L}_1, \quad (2.3)$$

де  $\ddot{L}_1$  – дані, отримані від датчика відстані 1 або 2;

$\ddot{L}_2$  – дані, отримані від датчика відстані 3 або 4 відповідно.

Схема 3 не враховує ще одного фактора, який виникає під час завантаження ділянки вимірювання. Пакет або рулон можуть лягти на терези не строго перпендикулярно променям датчиків відстані, а під кутом, що викличе спотворення результатів вимірювань. Щоб це урахувати, можна використати додатковий вимірювачі відстані, як показано на рисунку 2.4.

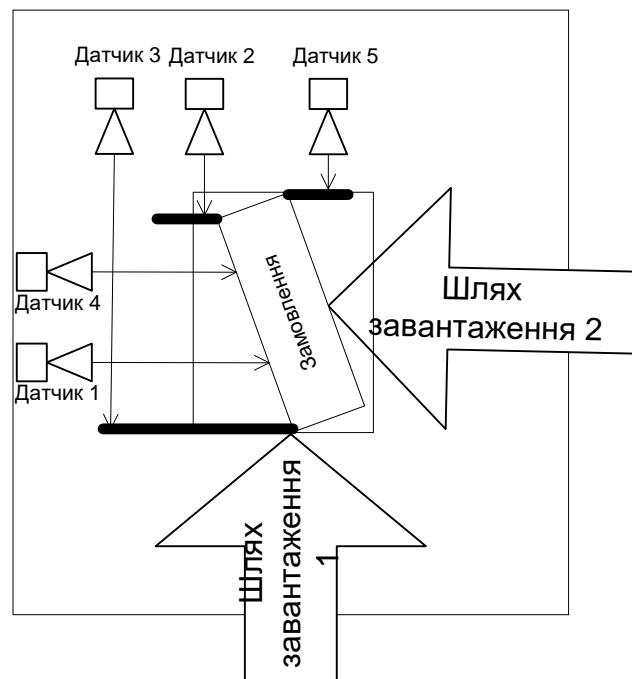


Рисунок 2.4 – Схема 4 розташування датчиків вимірювання габаритів

Очевидно, що на рисунку 2.4 маємо відхилення умовних поверхонь замовлення від нормалей промінів вимірювання відстані. Тому необхідно визначити розміри замовлення, використовуючи властивості гіпотенузи

прямокутного трикутника. Тоді умовна довжина пакету (довша сторона на рисунку 2.4) складе:

$$L_{yg} = \sqrt{(\ddot{L}_{S3} - \ddot{L}_{S2})^2 + L_{Dx}^2}, \quad (2.4)$$

де  $L_{yg}$  – умовна довжина замовлення;

$\ddot{L}_{S3}, \ddot{L}_{S2}$  – дані вимірювання від датчиків 3 і 2;

$L_{Dx}$  – відхилення замовлення по ширині, визначається пропорцією за теоремою подібності:

$$\frac{L_{\Delta 41}}{|\ddot{L}_{S1} - \ddot{L}_{S4}|} = \frac{|\ddot{L}_{S3} - \ddot{L}_{S2}|}{L_{Dx}}, \quad (2.5)$$

де  $L_{\Delta 41}$  – деяка заздалегідь відома відстань між датчиками 1 і 4;

$\ddot{L}_{S1}, \ddot{L}_{S4}$  – дані вимірювання від датчиків 1 і 4.

Виразивши  $L_D$  через пропорцію (2.5) і підставивши результат у (2.4) отримаємо робочу формулу для обчислення довжини пакету виробів балочної форми або висоти рулонів:

$$L_{yg} = \sqrt{(\ddot{L}_{S3} - \ddot{L}_{S2})^2 + \left( \frac{|\ddot{L}_{S3} - \ddot{L}_{S2}| * |\ddot{L}_{S1} - \ddot{L}_{S4}|}{L_{\Delta 41}} \right)^2}. \quad (2.6)$$

Аналогічно, умовна ширина пакету (коротша сторона замовлення на рисунку 2.4) складе

$$L_{xg} = \frac{\ddot{L}_{S2} - \ddot{L}_{S5}}{\sin(\alpha)}, \quad (2.7)$$

де  $\ddot{L}_{S5}$  – дані по точці відхилення по повздожній координаті;

$\alpha$  – кут відхилення замовлення від поперечної нормалі променям. Враховуючи прямі кути замовлення, він буде такий же, як і кут відхилення від повздожньої нормалі, тому  $\sin(\alpha)$  визначиться як:

$$\sin(\alpha) = \frac{|\ddot{L}_{S3} - \ddot{L}_{S2}| * |\ddot{L}_{S1} - \ddot{L}_{S4}|}{L_{yg} * L_{\Delta 41}}. \quad (2.8)$$

Тоді ширина пакету чи стосу складе:

$$L_{xg} = \frac{(\ddot{L}_{S2} - \ddot{L}_{S5}) * L_{yg} * L_{\Delta 41}}{|\ddot{L}_{S3} - \ddot{L}_{S2}| * |\ddot{L}_{S1} - \ddot{L}_{S2}|} \quad (2.9)$$

Залежності (2.6) і (2.9) можуть бути використані для отримання лінійних розмірів посилки.

У результаті виконаних у п.2.1. досліджень стає можливим сформулювати наступне наукове положення:

1. Для безконтактної оцінки довжини й ширини габаритного замовлення за умовах його кутового відхилення відносно ліній вимірювання необхідно й достатньо використати 5 датчиків вимірювання відстані до його контрольних точок.

## 2.2 Розробка методу оцінки кількісних характеристик замовлення

Розглянемо існуючі справочні матеріали по прокату різного профілю. Дійсно, існують готові таблиці для визначення ваги металу [8, 10, 23]. Але особливість цих таблиць у тому, що вони розраховані за досить обмеженим переліком формул. Розглянемо формулу, що використовуються для дроту й катанки. Вага 1 погонного метра круглої катанки складає, кг[8, 10]:

$$m = \frac{\pi d^2 \rho}{4 * 1000}, \quad (2.10)$$

де  $\pi=3,14$  – константа;

$d$  – зовнішній діаметр, мм (5,5 мм, 6 мм, 6,5 мм, 7 мм, 8 мм, 9 мм);

$\rho$  – щільність в г/см<sup>3</sup> (7,85 – чорна сталь, 7,75 – нержавійка, 2,7 – алюміній, 8,73 – латунь, 8,0 – бронза, 8,96 – мідь).

Відповідно, довжина катанки в бухті складе, м:

$$L = \frac{4000 * (\dot{M} - \dot{M}_t)}{\pi d^2 \rho}, \quad (2.11)$$

де  $\dot{M}$  – результат зважування бухти, кг;

$\dot{M}_t$ , – вага тари й кріплень, кг.

Вага 1 погонного метра листового металу складає, кг[23]:

$$m = H * \dot{B} * \rho, \quad (2.12)$$

де  $H$  – товщина листа, мм;

$\dot{B}$  – виміряна ширина листа, мм;

Тоді кількість матеріалу у рулоні складе, м, відповідно:

$$L = \frac{(\dot{M} - \dot{M}_t)}{H * \dot{B} * \rho}, \quad (2.13)$$

Щодо рулонів з сітки рабиця та просічних сіток, то тут має значення вага квадратного метру матеріалу, кг/м<sup>2</sup> який доведеться враховувати під час визначення ваги погонного метра, на яке потрібно мати табличні дані:

$$m = \dot{B} * \mu, \quad (2.14)$$

де  $\mu$  – товщина листа, вага квадратного метру матеріалу, кг/м<sup>2</sup>;

$\dot{B}$  – виміряна ширина полотна, мм;

Щодо підрахунку кількості листів профільного матеріалу стосі, то тут має значення вага одного листа, кг/шт [23]:

$$m = H * \dot{B} * \dot{L} * \rho, \quad (2.15)$$

де  $\dot{L}$ ,  $\dot{B}$  – виміряні, відповідно довжина й ширина листів у стосі, мм

Тоді кількість листів у стосі складе

$$Q = \frac{(\dot{M} - \dot{M}_t)}{H * \dot{L} * \dot{B} * \rho}, \quad (2.16)$$

Що стосується труб і різного фасонного прокату, то тут досить складно теоретично визначити вагу погонного метру, оскільки площі перетину мають складну і різноманітну форму. Тому відповідних формул, як таких довідники прокату не містять. Доцільніше, як і у випадку з просічною сіткою й рабицею мати базу ваг погонного метру на весь сортамент. У такому випадку кількість одиниць виробу у пакеті складе

$$Q = \frac{(\dot{M} - \dot{M}_t)}{\dot{L} * m}. \quad (2.17)$$

Якщо розглянути формули для визначення кількісних характеристик замовлень, можна виділити дані табличні, константи, результати вимірювання довжини й результати вимірювання ваги. Зберемо складені формули у таблицю 2.2.

Як видно з таблиці 2.1, формула розрахунку кількісних характеристик замовлення може бути виражена так

$$P = \frac{\dot{M} - a_0}{a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * b_0 * b_1}, \quad (2.18)$$

де  $a_0 = \dot{M}_t$ , що має бути введено таблицю, але може бути отримане шляхом зважування;

$a_1 \in \left\{ \frac{\pi}{4000}, 1 \right\}$  – таблична константа, залежить від виду вимірювання;

$a_2 \in \{d, 1\}$  – діаметр дроту чи катанки, або 1, якщо товар інший;

$a_3 \in \{d, H, \mu, m\}$  – таблична характеристика товару (діаметр товщина чи питома маса, в залежності від товару);

$a_4 \in \{\rho, 1\}$  – щільність металу або 1, якщо товар не суцільний (сітка, труби чи формовий профіль);

$b_0 \in \{\dot{L}, \dot{B}, 1\}$  – лінійні вимірювані розміри  $L_{yg}$  замовлення згідно (2.6).

Довжина пакету чи стосу  $\dot{L}$ , висота рулону  $\dot{B}$ , або 1, якщо це бухта;

$b_1 \in \{\dot{L}, \dot{B}, 1\}$  – лінійні вимірювані розміри  $L_{xg}$  замовлення згідно (2.9).

Ширина стосу  $\dot{B}$ , або 1, якщо це бухта, рулон чи пакет.

Таблиця 2.1 – Формули для розрахунку кількісних характеристик товару в замовленні

Замовлення	Формула	Результат	Константа	Таблиця	Вимірювання	Тара
Бухта	$L = \frac{4000 * (\dot{M} - \dot{M}_t)}{\pi d^2 \rho}$	Довжина, м	$\frac{4000}{\pi}$	$d^2 * \rho$	$\dot{M}$	$\dot{M}_t$
Рулон металу	$L = \frac{(\dot{M} - \dot{M}_t)}{H * \dot{B} * \rho}$	Довжина, м	1	$H * \rho$	$\dot{M}, \dot{B}$	$\dot{M}_t$
Рулон сітки	$L = \frac{(\dot{M} - \dot{M}_t)}{\dot{B} * \mu},$	Довжина, м	1	$\mu$	$\dot{B}$	$\dot{M}_t$
Стос листів металу	$Q = \frac{(\dot{M} - \dot{M}_t)}{H * \dot{L} * \dot{B} * \rho}$	Кількість, шт	1	$H * \rho$	$\dot{M}, \dot{L}, \dot{B}$	$\dot{M}_t$
Пакети виробів балочної форми (труби, формовий профіль)	$Q = \frac{(\dot{M} - \dot{M}_t)}{\dot{L} * t}$	Кількість, шт	1	$t$	$\dot{M}, \dot{L}$	$\dot{M}_t$

На основі формули (2.18) можливо побудувати таблицю бази рецептів для КФС СМ. Поля записів до цієї таблиці наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Поля таблиці рецептів для КФС СМ

№ п/п	Найменування поля запису	Тип	Призначення
1.	Number	unsigned int	Номер запису
2.	Name	String	Назва виробу у замовленні
3.	Creation_Date	Date	Дата створення рецепту
4.	Creation_Time	Time_of_Day	Час створення рецепту
5.	Avtor	String	Інформація, хто створив запис
6.	MeasQw	String	У яких одиницях вимірювання подавати результат кількісної оцінки
7.	Tara	Real	$a_0 = \dot{M}_t$
8.	Показник $a_1$	Real	$a_1 \in \left\{ \frac{\pi}{4000}, 1 \right\}$
9.	Показник $a_2$	Real	$a_2 \in \{d, 1\}$
10.	Показник $a_3$	Real	$a_3 \in \{d, H, \mu, m\}$
11.	Показник $a_3$	Real	$a_4 \in \{\rho, 1\}$

Продовження таблиці 2.2

№ п/п	Найменування поля запису	Тип	Призначення
12.	LenghtEt	Real	Еталонна довжина виробів у мм
13.	LenghtWidht	Real	Еталонна ширина виробів у мм
14.	LenghtDelta	Real	Припустиме відхилення довжини виробів у мм
15.	WidhtDelta	Real	Припустиме відхилення ширини виробів у мм

У таблиці 2.2 використано нові поля-ідентифікатори запису: Number, Name, Creation\_Date, Creation\_Time, Avtor. Вони потрібні для пошуку потрібного запису по базі рецептів та для обліку наявних записів і їх авторів. Поле MeasQw потрібне виключно для інтерфейсу НМІ, щоб надати оператору системи одиниці вимірювання. Поля LenghtEt, LenghtWidht, LenghtDelta, WidhtDelta використовуються для контролю відповідності довжини й ширини замовлення його сортаменту. Якщо допускові відхилення менші або дорівнюють нулю, відповідний габарит не контролюється.

### 2.3 Обґрунтування вимог до технічних засобів вимірювання ваги

Виходячи з довідника прокату[10], найбільш строгі вимоги з відхилень по вазі чорного металу стосуються формового прокату. Похибка маси тут допускається в межах  $\pm 2,5\%$ . Дріт поставляється у бухтах вагою до 1т[8], що за похибкою маси складе 25 кг на бухті. Але ТОВ «АВ Метал Груп» займається дрібнооптовими партіями, і тут вага бухти починається від 30 кг, що можна порівняти з масою труби зовнішнього діаметру у 3,76 дюйми довжиною 12 м. Тому абсолютна похибка терезів повинна скласти  $\pm 0,75$  кг. Вага пакету, стосу, рулону через технічні обмеження, пов'язані з обладнанням, що використовується на металобазах ТОВ «АВ Метал Груп» не повинна перевищувати 500 кг (для

приватного господарства і 200 кг буде забагато). Таким чином, отримаємо діапазон 0...500 кг, у якому похибка зважування не перевищить 750 г. Окрім даної принципової вимоги, необхідно врахувати, що обмін з контролером терезів має відбуватись із застосуванням стандартних промислових засобів передачі даних. Як наслідок, питання вибору технічних і програмних засобів для визначення ваги на даному етапі залишається відкритим.

## **2.4 Синтез схеми функціональної структури**

Схема функціональної структури, виходячи із мети створення КФС СМ і запропонованих методів, має складатись із наступних функціональних блоків:

- блоки вимірювання ваги, довжини й ширини, які включають перш за все первинні технічні засоби отримання даних;
- блоки нормування сигналів і даних від блоків вимірювання із врахуванням, якщо потрібно, тари чи упаковки замовлення, що лежить на терезах. Вага тари при цьому отримується з поточного рецепту на конкретний тип товару у замовленні;
- блоки математичної корекції довжини і ширини за методом, викладеним у п.2.1;
- блоки визначення кількісних характеристик товару у замовленні (довжина чи кількість), виходячи із результатів обробки даних натурних вимірювань та даних, отриманих з поточного рецепту;
- блок поточного, або ж активного рецепту обліку й контролю товару у замовленні;
- база рецептів на передбачений товар, яка використовується оператором для вибору рецепту, потрібного для здійснення контролю замовлення. За ініціативи оператора, дозволяє записувати поточні результати вимірювання ваги тари;
- база вимірювань, доступна зовнішній системі керування складом, яка заповнюється, проглядається й редагується оператором АРМ зважування;
- АРМ зважування.

Для роботи з КФС СМ передбачено два робочих місця: оператора зважування, як особи що приймає рішення, і вантажника на ділянці. Вантажник має власний кнопочний пост для ініціації початку зважування і вимірювання довжини, оскільки саме вантажник розміщує замовлення на терезах і встановлює вимірювальні трафарети. Іншими словами, вантажник виконує підготовчі операції і вирішує, коли замовлення готове для вимірювань.

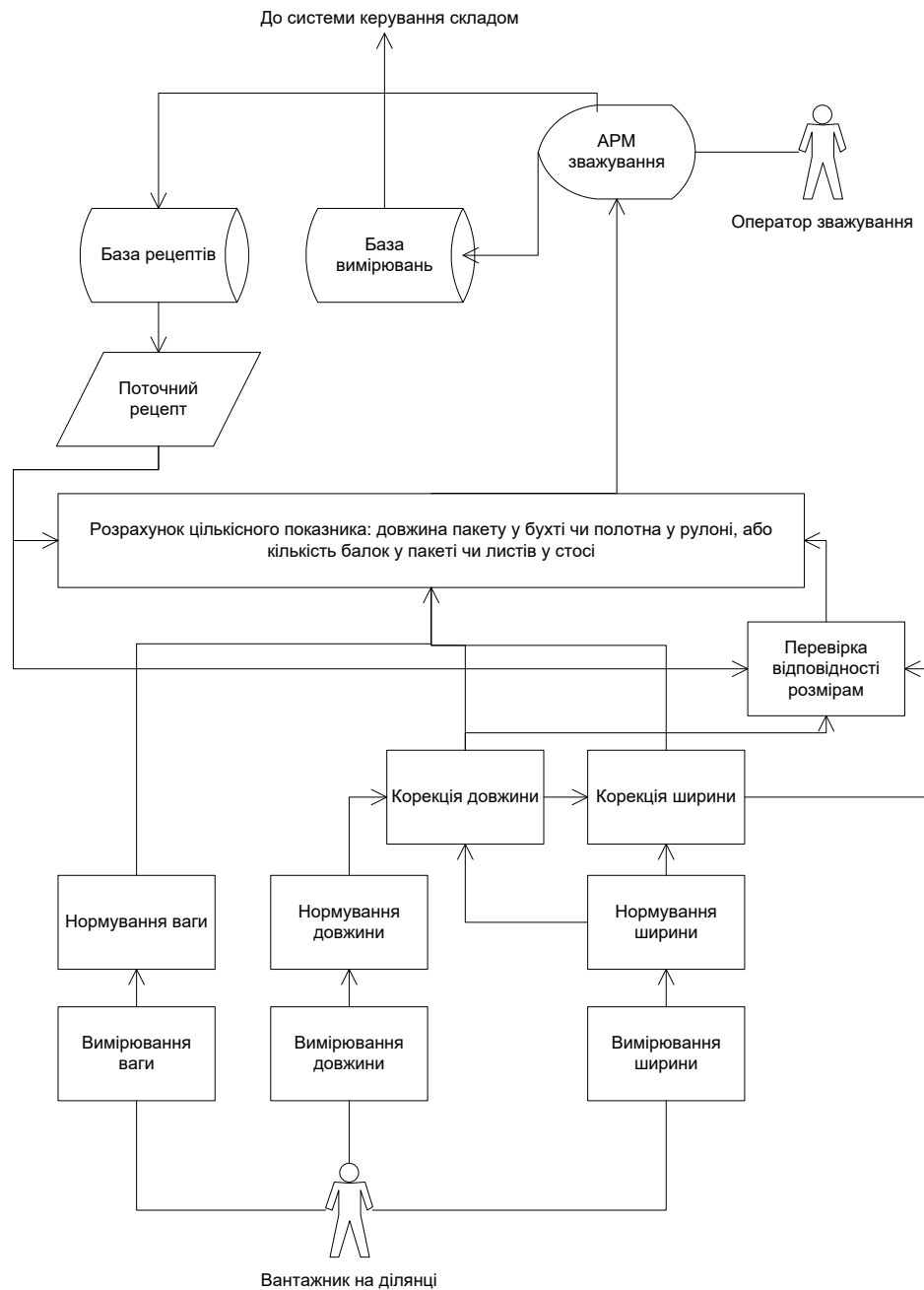


Рисунок 2.5 – Кіберфізична система складського майданчика. Схема функціональної структури

## ВИСНОВОК

Аналіз способів вимірювання габаритів та синтез методу обліку габаритних розмірів замовлення дозволив запропонувати схему розміщення лазерних далекомірів для вимірювання габаритів замовлення, пристосовану для вимірювань безпосередньо на платформних терезах. Для цієї схеми розміщення розроблено метод вимірювання та формули корекції вимірних довжини й ширини сформованого замовлення виробів із чорного металу, який оснований на відомих тригонометричних залежностях.

Проаналізовано відомі методи кількісної оцінки, складено формули для розрахунку кількісних характеристик виробів з чорного металу в замовленні та синтезовано структуру загальної таблиці бази рецептів, яка має застосовуватись до всього сортаменту виробів з чорного металу з метою оцінки його кількісних характеристик у замовленні.

У результаті проведених досліджень було синтезовано схему функціональної структури кіберфізичної системи складського майданчика для філій і роздрібних центрів ТОВ «АВ Метал Груп».

У результаті було сформульовано наукове положення:

1. Для безконтактної оцінки довжини й ширини габаритного замовлення в умовах його кутового відхилення відносно ліній вимірювання необхідно й достатньо використати 5 контрольних точок для вимірювання відстані до його поверхонь.

## 3 СИНТЕЗ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації кіберфізичної системи

Обладнання КФС СМ має бути розміщене у безпосередній близькості від терезів на відстані не більше 2 м. Це може бути опалюване приміщення з температурами 5...40°C, причому його площа може не перевищувати 9 м<sup>2</sup>. Сам вимірювальний майданчик може бути розміщений в опалюваному, неопалюваному приміщенні чи на майданчику під навісом. Звідси випливають наступні вимоги до обладнання і схеми структурної обладнання, котрі, в свою чергу, регламентують особливості реалізації схеми функціональної автоматизації:

1. Для реалізації КФС СМ доцільно використовувати промислове обчислювальне обладнання, включаючи контролер, інтерфейс введення даних від далекомірів, НМІ-інтерфейс оператора АРМ. Промислове обладнання працює в режимі реального часу;

2. З огляду на перспективу використання панелі НМІ, базу рецептів і оперативну базу результатів вимірювань доцільно розмістити саме на ній, а не на контролері. Це вивільнить промисловий контролер від необхідності взаємодіяти із суміжною системою керування складом, яка працює не у режимі реального часу;

3. Оскільки оперативна база вимірювань буде розташована на панелі НМІ, необхідно передбачити на базі Ethernet інтерфейс зв'язку її із суміжною системою керування складом, включаючи необхідний для переходу до іншої підмережі шлюз;

4. Оскільки рішення про готовність об'єкту до вимірювань приймається з боку вантажника на майданчику, а не оператора, потрібно передбачити відповідні засоби впливу на КФС;

5. Площа для розміщення обладнання КФС обмежена – поряд з АРМ оператора зважування. Зважаючи на це, а також на застосування промислового контролера, доцільно відмовитись від окремого контролера терезів з його модулями й інтерфейсом, інтегрувавши датчики ваги до обраного контролера КФС СМ за допомогою спеціальних модулів узгодження.

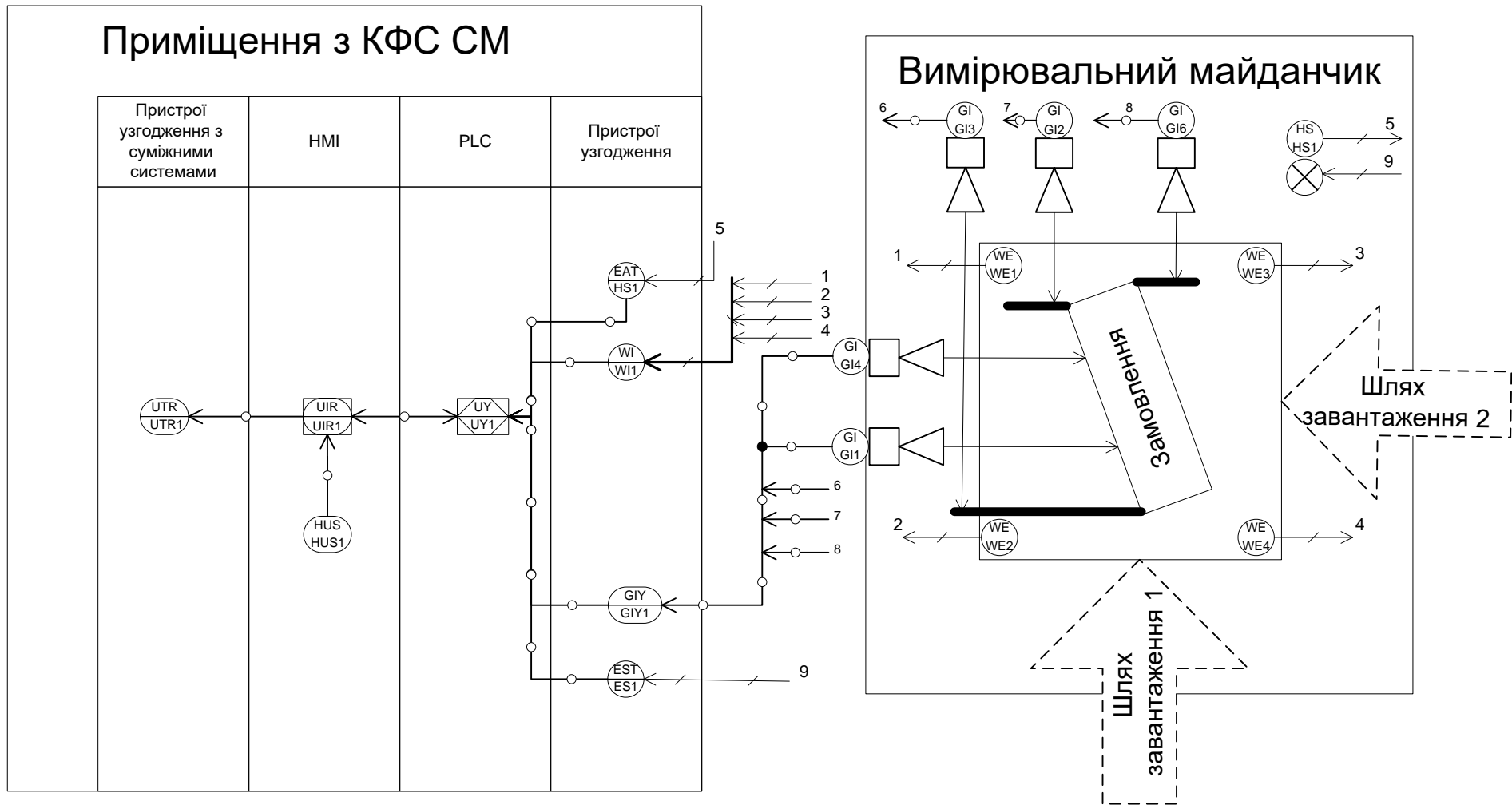


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизації кіберфізичної системи позиціонування маніпулятора

У результаті, функціональна схема автоматизації виглядатиме, як показано на рисунку 3.1.

Показана на рисунку 3.1 функціональна схема автоматизації, технічні вимоги, а також аналіз процесу вимірювань ваги й габаритів дозволяють розробити принципову схему КТЗ КФС СМ.

## **3.2 Розробка принципової схеми комплексу технічних засобів**

### **3.2.1 Аналіз входів та виходів системи**

Для обґрунтування комплексу технічних засобів кіберфізичної системи необхідно провести аналіз, класифікацію входів давачів та виходів інтерфейсу КФС.

У результаті аналізу схеми на рисунку 3.1, а також показаних у розділах 1 і 2 технічних засобів, отримано класифікацію, представлену в таблиці 3.1.

Для вибору та обґрунтування апаратних засобів КФС проведемо класифікацію вхідних та вихідних сигналів з таблиці 3.1 по за технічними характеристиками. Результат класифікації наведено таблиці 3.2.

Від Замовника є умова, що технічні засоби для реалізації КФС СМ мають бути основані на серії контролерів S7-1200 від Siemens. Звідси витікає ряд особливостей вибору і обґрунтування КТЗ для КФС [24]:

- контролери мають вбудовані дискретні входи і виходи, що позбавляє від необхідності використовувати додаткові модулі дискретних входів і виходів;

- деякі моделі контролерів мають вбудоване джерело датчиків живлення 24В, тому варто розглянути це джерело з точки зору можливості живлення панелі НМІ та кнопки;

- контролери мають вбудований інтерфейс Profinet, тому доцільно обирати панель НМІ з відповідним інтерфейсом;

Таблиця 3.1 – Перелік вхідних та вихідних сигналів КФС

№ п/п	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вигляд	Джерело/ Отримувач	Форма представлення (розрядність, точність)		Затримка введ./вив., сек.
							Зовнішня	Внутрішня	
Сигнали W11 вагової платформи									
1.	Розподілена вага 1	WE1	Вхід	Вимір.	Опір	Тензодатчик опору	0...10В, 2мВ/В	16 біт	до 5 с
2.	Розподілена вага 2	WE2	Вхід	Вимір.	Опір	Тензодатчик опору	0...10В, 2мВ/В	16 біт	до 5 с
3.	Розподілена вага 3	WE3	Вхід	Вимір.	Опір	Тензодатчик опору	0...10В, 2мВ/В	16 біт	до 5 с
4.	Розподілена вага 4	WE4	Вхід	Вимір.	Опір	Тензодатчик опору	0...10В, 2мВ/В	16 біт	до 5 с

Продовження таблиці 3.1

№ п/п	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вигляд	Джерело/ Отримувач	Форма представлення (розрядність, точність)		Затримка введ./вив., сек.
							Зовнішня	Внутрішня	
Сигнали GIY1 далекомірів									
5.	Датчик 1. Віддалення 1 бокової поверхні	GI1	Вхід	Вимір.	ModBus RTU	Лазерний далекомір	RS-485	16 біт	до 5 с
6.	Датчик 4. Віддалення 2 бокової поверхні	GI4	Вхід	Вимір.	ModBus RTU	Лазерний далекомір	RS-485	16 біт	до 5 с
7.	Датчик 3. Віддалення 1 передньої торцевої поверхні	GI3	Вхід	Вимір.	ModBus RTU	Лазерний далекомір	RS-485	16 біт	до 5 с

Продовження таблиці 3.1

№ п/п	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вигляд	Джерело/Отримувач	Форма представлення (розрядність, точність)		Затримка введ./вив., сек.
8.	Датчик 2. Віддалення 2 передньої торцевої поверхні	GI2	Вхід	Вимір.	ModBus RTU	Лазерний далекомір	RS-485	16 біт	до 5 с
9.	Датчик 5. Віддалення задньої торцевої поверхні	GI5	Вхід	Вимір.	ModBus RTU	Лазерний далекомір	RS-485	16 біт	до 5 с
Сигнали посту вантажника									
10.	Почати вимірювання	HS1	Вхід	Керуван ня	Норм. розімкн.	Кнопочний пост	24 В	1 біт	0,2 с
11.	Вимірювання йде	ES1	Вихід	Сигналіз.	Норм. розімкн.	Сигнальна лампа	24 В	1 біт	0,5 с

Продовження таблиці 3.1

№ п/п	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вигляд	Джерело/Отримувач	Форма представлення (розрядність, точність)	Затримка введ./вив., сек.	
Узгодження із суміжними системами UTR1									
12.	Дані з БД вимірювання	UTR1	Вихід	Дані	TCP/IP	Шлюз узгодження	Ethernet	Згідно технічних характеристик обладнання	до 5 с, не є каналом реального часу

Таблиця 3.2 – Зведена таблиця входів та виходів КФС

№ п/п	Обладнання	Опис входів чи виходів	Кількість
		<b>Сигнали тензодатчиків</b>	
1.	Вагова платформа	Тензодатчик опору	4
		<b>Сигнали через Modbus RTU</b>	
2.	Вимірювальний майданчик	Лазерний далекомір	5
		<b>Дискретні входи</b>	
3.	Пост керування	Кнопка, сухий НР-контакт	1
		<b>Дискретні виходи</b>	
3.	Пост керування	Сигнальна лампа, 24 В	1
		<b>Вихід на суміжні системи</b>	
1.	Система керування складом	Шлюз Ethernet	1

- контролери не мають вбудованих входів для тензодатчиків, проте є відповідні технологічні модулі розширення;

- контролери не мають вбудованого інтерфейсу RS-485 для організації мережі Modbus RTU але є відповідні комутаційні модулі розширення.

Додаткова умова від Замовника – це зручність інтерфейсу АРМ оператора зважування, а саме:

- діагональ екрану має становити не менше 12 дюймів;
- за можливістю, основні операції зі зважування і занесення даних до БД вимірювань мають задаватись із кнопочної клавіатури;
- зручність інтерфейсів створення нових рецептів та переглядання записів БД вимірювань.

### 3.2.2 Обґрунтування елементної бази системи

Зважаючи на умови щодо інтерфейсу оператора зважування доцільно вибір і обґрунтування КТЗ розпочати з панелі НМІ. Панель для організації АРМ оператора зважування, за умовами Замовника, обираємо КТР1200 Basic PN [24]. Її значимі характеристики:

- діагональ 12,1 “;

- роздільна здатність 1280x800 пікселів;
- кольорів 64К;
- матриця керування TFT;
- механічних функціональних клавіш 10;
- Profinet 1 порт;
- USB 1 порт;
- напруга живлення 24 В постійного струму;
- споживаний струм 550 мА.



Рисунок 3.2 – HMI-панель KTP1200 Basic PN

Оберемо засіб подачі повідомлення про готовність та засіб сигналізації для вантажника. Тут зручно використати лампу жовту з підсвіткою 24 В постійного струму, споживанням 3 Вт [25]:



Рисунок 3.3 – Кнопка сигнальна з підсвіткою для вантажника

Для розміщення кнопки можна обрати кнопочний пост [26]:



Рисунок 3.4 – Корпус сигнального кнопочного посту для вантажника

В якості модуля зважування, сумісного з серією контролерів S7-1200 оберемо модуль SIWAREX WP231 [27] з характеристиками:

- кількість входів датчиків 4 шт;
- напруга живлення 24 В;
- струм споживання 200 мА.



Рисунок 3.5 – Модуль SIWAREX WP231

В якості засобу зв'язку із вимірювачами відстані оберемо комунікаційну плату CB 1241 (RS485) [24]:



Рисунок 3.6 – Плата CB 1241 (RS485)

Монтаж плат CB проводиться безпосередньо на корпус контролера серії S7-1200 у передбачений для цього слот.

В якості шлюза для комутації з іншими мережами використаємо промисловий маршрутизатор SCALANCE S615 [24]:



Рисунок 3.7 – Роутер SCALANCE S615

Роутер SCALANCE S615, показаний на рисунку 3.7 має характеристики і функції:

- сервіс VPN;
- брандмауер;
- перетворення адрес NAT/NAPT;
- 5-портовий комутатор;
- швидкість каналу 10 Мбіт, 100 Мбіт;
- напруга живлення 24 В;
- струм споживання постійний, 200 мА.

Вказаний роутер одночасно дозволяє і скомутувати НМІ панель з контролером, і надати додаткові порти для програмування, відлагодження і обслуговування системи.

Визначимо струм, який потрібно забезпечити для датчиків і периферії промислового контролера. Струм, споживаний панеллю НМІ, роутером, входом контролера від кнопки і сигнальною лампою складе

$$550 \text{ мА} + 200 \text{ мА} + 4 \text{ мА} + 3000 \text{ мВт}/24 \text{ В} = 679 \text{ мА}.$$

Модуль SIWAREX буде використовуватись з контролером і отримує живлення через шину модулів розширення, тому його струм не враховуємо. Тим не менш,

лінія S7-1200 на сьогодні не має вбудованих у контролери джерел живлення, здатних видавати такий великий струм. Тому доцільно взяти джерело живлення для цієї ж серії з мінімальною потужністю [24]:



Рисунок 3.8 – Джерело живлення PM1207

Джерело PM1207, показане на рисунку 3.8, видає до 2,5 А постійного струму напругою 24 В. Споживає напругу ~120/230 ВА.

В якості центрального процесорного вузла, виходячи з потреби в 1 дискретний вхід і 1 дискретний вихід, а також 1 модуль розширення (SIWAREX WP231) оберемо контролер CPU 1212C AC/DC/Rly [24]:



Рисунок 3.9 – Контролер CPU 1212C AC/DC/Rly серії S7-1200

Контролер CPU 1212C AC/DC/Rly SCALANCE S615, показаний на рисунку

3.8 має характеристики:

- вбудованих дискретних входів 8, на 24 В постійного струму;
- вбудованих дискретних виходів 6, реле до 2 А;
- вбудованих аналогових входів 2, 0...10 В постійного струму;
- живлення від джерела 85-264 В змінного струму при 47-63 Гц;
- пам'ять програм/даних 100 КБ.

На основі обґрунтованої елементної бази може бути побудована принципова схема комплексу технічних засобів кіберфізичної системи.

### 3.2.3 Реалізація принципової схеми кіберфізичної системи

На основі обораної елементної бази, опису входів та виходів системи, реалізовано кіберфізичну систему, представлену на рисунку 3.10:

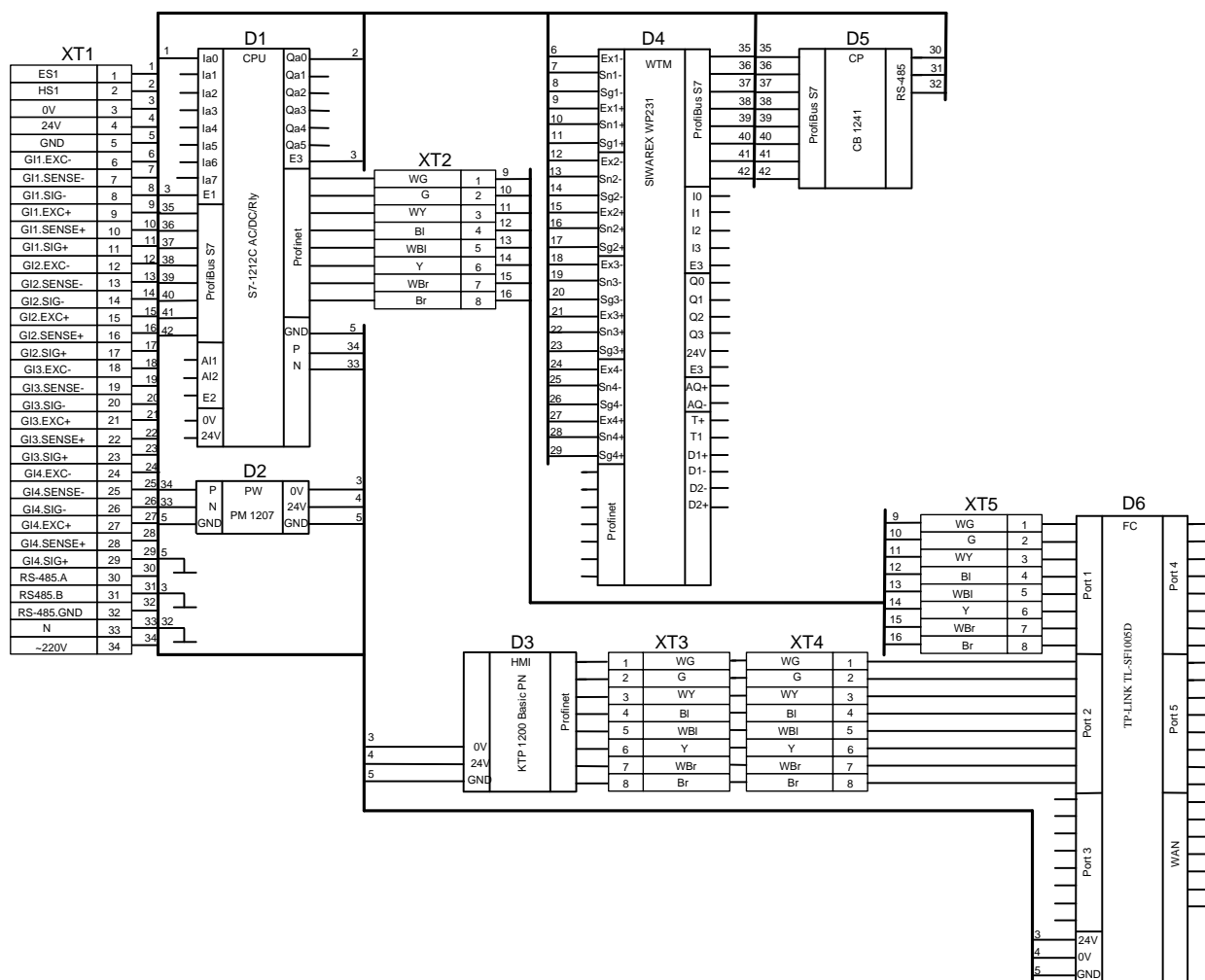


Рисунок 3.10 – Принципова схема КФС СМ

## **ВИСНОВОК**

На основі огляду технічних рішень для майданчика вимірювання ваги і габаритних розмірів замовлень складено функціональну схему автоматизації для кіберфізичної системи, на основі якої виконано аналіз датчиків вимірювального майданчика. Як результат, обґрунтовано комплекс технічних засобів та схему принципову кіберфізичної системи складського майданчика.

Отриманий результат дозволяє перейти до розробки програмного забезпечення системи.

## **4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

### **4.1 Призначення і сфера застосування програмного забезпечення**

Програмне забезпечення призначене для роботи у складі програмно-технічного рішення кіберфізичної системи складського майданчика в якості однієї з підсистем системи керування складом.

Програмне забезпечення призначене для визначення ваги, контролю довжини й, в окремому випадку, ширини, а також кількісної характеристики замовлень продукції з чорного металу різного сортаменту. Рецепти з базовими масовими й габаритними характеристиками вносяться, редагуються і зберігаються у базі рецептів АРМ оператора зважування. Початок процесу зважування й вимірювання починається після подачі сигналу вантажником з кнопочного посту безпосередньо з вимірювального майданчика. Результати вимірювань і розрахунків надаються у вигляді запису бази протоколу вимірювань програмному забезпеченню системи керування складом через зовнішній шлюз системи. Програмне забезпечення і сама КФС СМ призначені для застосування у філіях та роздрібних центрах торгівлі металопрокатом ТОВ «АВ Метал Груп».

### **4.2 Обґрунтування технічних характеристик програми**

Програма КФС СМ, розподілена між двома контролером та НМІ-панеллю системи, повинна виконувати наступні функції:

- аутентифікація користувача-оператора при вході в систему;
- редагування привілейованим оператором і зберігання бази рецептів для вимірювань і обчислень;
- вибір непривілейованим оператором рецепту для поточного вимірювання і заповнення бази протоколу вимірювань;
- редагування привілейованим оператором і зберігання бази протоколу вимірювань;
- отримання інформаційної ознаки керуючого впливу на початок процесу вимірювання від кнопочного посту

- видачу інформаційної ознаки сигналу про процес вимірювання на лампу кнопочного посту;
- отримання від бази рецептів обраного оператором рецепту з даними, необхідними для вимірювань та обчислень;
- отримання та обробка інформаційних ознак сигналів тензодатчиків для визначення ваги;
- керування та отримання даних через мережу ModBus RTU від лазерних дальномірів майданчика;
- підготовку даних від лазерних дальномірів майданчика;
- розрахунок масогабаритних і кількісних характеристик замовлення;
- підготовку даних для бази протоколу вимірювань.

Апаратний фільтр брязкоту контакту кнопочного посту встановлено на затримку у 4 мс.

Параметри мережі ModBus RTU: 9600 біт/с, 8 біт, 1 біт паритету, порожній (9600, 8, 1, n).

Періодичність обміну даними з НМІ-панеллю через PROFINET не більше 500 мс.

Періодичність обміну даними через зовнішній шлюз не регламентується.

Обмін через ModBus і PROFINET виконується у фоновому режимі.

Ініціалізація контролеру й НМІ виконується після подачі живлення на КТЗ.

Затримка оновлення даних на АРМ оператора не повинна перевищувати 1 с.

Затримка оновлення поточного рецепту на контролері не повинна перевищувати 1 с.

Витрати часу на процес вимірювання не повинні перевищувати 10 с.

Програмне забезпечення має надавати доступ до бази даних вимірювань з боку системи керування складом.

Схема функціональної структури, структура бази рецептів та математичні методи, використані в для реалізації КФС СМ, викладені у розділі 2 кваліфікаційної роботи.

Структура бази даних вимірювання представлена у таблиці 4.1

Таблиця 2.2 – Поля таблиці бази даним вимірювання для КФС СМ

№ п/п	Найменування поля запису	Тип	Призначення
1.	Number	unsigned int	Номер запису
2.	Name	String	Назва виробу у замовленні
3.	Meas_Date	Date	Дата вимірювання
4.	Meas_Time	Time_of_Day	Час вимірювання
5.	Operator	String	Інформація про оператора
6.	MeasQw	String	У яких одиницях вимірювання подано результат кількісної оцінки
7.	Weight	Real	Вага товару
8.	Length	Real	Довжина товару
9.	Width	Real	Ширина товару
10.	Quant	Real	Кількісний показник товару
11.	NormalLenght	Bool	Довжина відповідає нормі
12.	NormalWidth	Bool	Ширина відповідає нормі

Вхідні дані для ПЗ КФС СМ:

- керуючі впливи від НМІ оператора вимірювання на повтор вимірювання, занесення вимірювання у базу даних вимірювання, введення нових, а також редагування чи видалення вже існуючих рецептів бази рецептів КФС СМ;

- керуючі впливи від кнопочною посту вантажника для початку процесу вимірювання;

- сигнали тензодатчиків платформних чи рольгангових терезів вимірювального майданчика;

- дані про відстані до мірних трафаретів від лазерних далекомірів через мережу ModBus.

Вихідні дані від ПЗ КФС СМ:

- сигнал про поточний процес вимірювання на кнопочний пост вантажника;

- візуальна сигналізація про поточний стан процесу вимірювання на інтерфейс НМІ оператора вимірювання;

- звіт про результати поточного вимірювання на інтерфейс НМІ оператора вимірювання;

- звіт про результати запиту до протоколу вимірювань на інтерфейс НМІ оператора вимірювання;

- звіт про результати пошуку та призначення поточним рецепту з бази рецептів вимірювань на інтерфейс НМІ оператора вимірювання;

- дані за результатом запиту до протоколу вимірювань від суміжної системи керування складом.

Технічні та програмні засоби для розробки програмного забезпечення обумовлені системним довідником контролерів S7-1200[24]. Мова програмування – LAD для PLC Simatic, а також засоби візуалізації WinCC7. Середовище розробки – програма Siemens TIA Portal V15 для Windows 10. Технічні засоби – комп'ютер x64, UTP-кабель Ethernet для підключення через комутатор або порт WiFi підключення через роутер з відповідною точкою доступу.

## **4.3 Опис розробленої програми**

### **4.3.1 Загальна інформація**

Текст програми розміщено у проєкті StorageGround для Siemens TIA Portal V15 у вигляді автономних організаційного й функціонального блоку, функцій, блоків даних, таблиці меркерних даних, форм інтерфейсу, бази рецептів, бази протоколу процесу.

Для завантаження програми у контролер та панель НМІ потрібне середовище Siemens TIA Portal V15. Завантажена програма розміщується в енергонезалежній пам'яті. Для виконання програми використовуються вбудовані в S7-1212C та KTP1200 інтерпретатори. Запуск програми на виконання відбувається під час ввімкнення живлення.

Мова реалізації програми – LAD для PLC Simatic та засоби візуалізації WinCC7.

#### **4.3.2 Функціональне призначення**

Програма обробляє сигнали від тензодатчиків платформних або рольгангових терезів і визначає вагу замовлених виробів.

Програма отримує й готує до обробки дані від лазерних далекомірів типу Li-DAR через мережу ModBus RTU.

Програма визначає по даним від лазерних далекомірів довжину й ширину пакету чи рулону, які є замовленням, з урахуванням особливостей їх розташування на ваговій платформі.

Програма контролює відповідність габаритів замовлення заявленим у базі рецептів.

Програма оцінює кількість матеріалу замовлення у рулоні чи виробів замовлення у пакеті.

Програма дозволяє керувати базою рецептів замовлень.

Програма веде протокол вимірювань.

Програма організує інтерфейс АРМ оператора зважування;

Програма організує інтерфейс кнопочового посту вантажника.

Програма керує каналом зв'язку мережі PROFINET між контролером КФС СМ панеллю НМІ за профілем PROFINET СВА.

Програма дозволяє отримувати дані з бази протоколу вимірювань суміжній системі керування складом через файл формату xls.

Програма не керує каналом зв'язку із суміжною системою керування складом.

### **4.3.3 Опис логічної структури програми**

Логічна структура програми відповідає схемі функціональної структури, розробленої у розділі 2 цієї пояснювальної записки.

Програма користувача розміщена в сегментах оперативної пам'яті програм користувача контролера S7-1212C (оперативний функціонал) та в оперативній пам'яті НМІ-панелі КТР1200 (бази даних та інтерфейс АРМ оператора).

Оперативний функціонал може бути описаний схемою алгоритму контролера, показаною на рисунку 4.1.



Контролер S7-1212C містить:

- організаційний блок Main;
  - організаційний блок ModBusServe;
  - функціональний блок WeigthMeasurement і його екземплярний блок WeigthMeasurement\_DB;
  - функцію WeightNorming;
  - функцію LenghtNorming;
  - функцію LenghtCorrection;
  - функцію WidthCorrection;
  - функцію IsNormal;
  - функцію QuantCalculation;
  - таблицю тегів Default tag table;
  - блок даних CurrReceiptDB для отримання від НМІ-панелі даних поточного рецепту;
  - енергонезалежний блок даних MeasSettingsDB для зберігання налаштувань обробки даних з ваги та корекції результатів вимірювань довжини й ширини;
  - блок даних ModBusServeDB для отримання від далекомірів даних з вимірювань;
  - блок даних ResultsDB для передачі на НМІ-панель результатів вимірювань, контролю й обчислень;
  - блок даних WeightServeDB для внутрішнього обміну;
  - автоматично згенеровані блоки даних бібліотечних функціональних блоків таймера, керування обладнанням RS-485, блоку ведучого ModBus RTU.
- Організаційний блок Main виконує функціонал, показаний на рисунку 4.1 окрім обміну даними по мережі ModBus. Блок Main виконую програму контролера на рівні функцій і функціонального блоку WeigthMeasurement. Блок Main оброблює сигнали на запуск вимірювань від кнопочового поста вантажника та АРМ оператора. . Блок Main сигналізує на кнопочовий поста вантажника про те, що процес вимірювань зараз активний.

Функціональний блок `WeigthMeasurement` і його екземплярний блок `WeigthMeasurement_DB` керують вимірюванням ваги на модулі `SIWAREX` і передають дані на блок `WeightServeDB` для подальшої обробки.

Функція `WeightNorming` отримує дані від `WeightServeDB` нормує і масштабує їх до кілограмів і надає результат для подальших обчислень, а також для відображення на АРМ оператора. Дані надаються через глобальний блок даних `ResultsDB`. Базові налаштування масштабування зберігаються у глобальному блоці даних `MeasSettingsDB`.

Функція `LenghtNorming` нормує з цілочисельного до дійсного типу і масштабує до міліметрів дані від далекомірів, передаючи їх безпосередньо на функції `LenghtCorrection` і `WidthCorrection`.

Функції `LenghtCorrection` і `WidthCorrection` коригують результати вимірювань, відповідно, довжини й ширини замовлення, враховуючи кути відхилення його поверхонь від нормалей до променів далекомірів, що здійснюють виміри по довжині й ширині. Дані надаються для оцінки відповідності еталонам поточного рецепту і для відображення на АРМ оператора через глобальний блок даних `ResultsDB`. Базові налаштування корекції зберігаються у глобальному блоці даних `MeasSettingsDB`.

Функція `IsNormal` оцінює лінійні показники розмірів замовлення на предмет їх відповідності еталонам з поточного рецепта. Поточний рецепт зберігається у глобальному блоці даних `CurrReceiptDB`. Результати оцінки зберігаються у `ResultsDB`.

Функція `QuantCalculation` оцінює кількісну характеристику товару, виходячи з налаштувань поточного рецепту, що зберігається у `CurrReceiptDB`, а також результатів вимірювання ваги й скоригованих показників габаритів. Необхідні дані з ваги й габаритів зберігаються у блоці `ResultsDB`.

Організаційний блок `ModBusServe` керує обладнанням інтерфейсу `RS-485` і виконує опитування лазерних далекомірів через мережу `ModBus RTU`. Керування йде на рівні стандартних бібліотечних функціональних блоків.

Дані, отримані в результаті опитування через глобальний блок даних ModBusServeDB передаються на організаційний блок Main.

Таблиця тегів Default tag table містить теги міток часу від внутрішнього системного таймера, які можуть використовуватись для керування обміном по мережі ModBus. Там же розміщено теги, задіяні для запуску й сигналізації про процес вимірювання разом із кнопковим постом і панеллю HMI.

#### **4.3.4 Використані технічні засоби**

Для виконання програми необхідні: контролер CPU 1212C AC/DC/Rly – 1 шт.; модуль вимірювання ваги SIWAREX WP231 – 1 шт.; плата CB 1241 (RS485) – 1 шт.; роутер SCALANCE S615 – 1 шт.; HMI-панель KTP 1200 Basic PN – 1 шт.; джерело живлення PM1207 – 1 шт.

#### **4.3.5 Виклик та завантаження**

Відповідні модулі програми завантажуються до енергонезалежної пам'яті контролера Simatic S7-1212C, та панелі KTP 1200 Basic PN з персонального комп'ютера засобами Siemens TIA Portal V15 по інтерфейсу Ethernet, де знаходяться весь час експлуатації системи. Початковий проект знаходиться на окремому енергонезалежному носії.

Виклик програми на виконання відбувається після ввімкнення живлення обладнання кіберфізичної системи сортувальної фабрики.

Вхідні точки в програми – організаційні блоки Main та ModBusServe контролера Simatic S7-1212C які виконуються незалежно один від одного, а також стартова форма відображення інтерфейсу системи на панелі KTP 1200 Basic PN проекту.

#### **4.3.6 Вхідні й вихідні дані**

Вхідні та вихідні дані згідно стандартів Siemens є невід'ємною частиною програмного коду та представлені у Додатку А.

## **ВИСНОВОК**

Для вирішення задачі розробки програмного забезпечення КФС СМ було обґрунтоване функціональне призначення програми комплексу технічних засобів системи. Було розроблено алгоритм роботи контролера системи. У результаті написано програму на мові LAD Step 7 для контролера Simatic S7-1212C у середовищі TIA Portal V15.

## **5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ**

### **5.1 Формулювання вимог до експерименту**

Мета експерименту – дослідним шляхом перевірити можливості використання програмно-технічного рішення кіберфізичної системи складського майданчику компанії ТОВ "АВ метал груп" у складі системи керування складом типової філії цієї ж компанії. Для цього потрібно вирішити наступні задачі:

- провести експериментальні випробування блоків ПЗ системи у частині обробки даних від датчиків відстані й ваги;
- шляхом моделювання перевірити метод оцінки довжини й ширини габаритного замовлення в умовах його кутового відхилення, відповідно науковому положенню 1.

Для проведення експерименту необхідно провести наступні випробування ПЗ:

1. Виконання контрольного прикладу для блоків ПЗ КФС СМ у частині обробки даних від датчиків відстані й ваги;
2. Вимірювання проєкцій габаритів еталону, розташованого під кутом до нормалей визначення відстані з подальшою обробкою результатів за допомогою заявленого методу і порівнянням результату з результатами прямого вимірювання.

### **5.2 Підготовка експерименту**

Необхідно провести випробування ПЗ КФС СМ відповідно ДСТУ 2853-94 [28].

Для проведення досліджень буде використано:

- КТЗ, специфікація якого представлена у таблиці 5.1, схема принципова рисунку 5.1. На КТЗ завантажено досліджувані модулі ПЗ.

- персональний комп'ютер з встановленим середовищем розробки й відлагодження Siemens TIA Portal V15, підключений до контролера КТЗ за допомогою витої пари Ethernet або через точку доступу Wi-Fi;

- тестовий рисунок з проекцією згори дослідного еталону, виконаного як збіркове креслення у масштабі 1:1000 із вказанням розмірів і відстаней між точками контролю, показаний на рисунку 5.2.

Таблиця 5.1 – Специфікація КТЗ Siemens, використовувана у дослідженнях

№	Найменування	Кіль.	Примітки
1.	Кнопка АСКО-Укрем з підсвіткою жовта XB2-BW3571 A0140010053	1	
2.	Корпус посту кнопки 1-місний білий NP2-BO1 CHINT	1	
3.	Джерело живлення PM1207	1	
4.	Контролер CPU 1212C AC/DC/Rly	1	

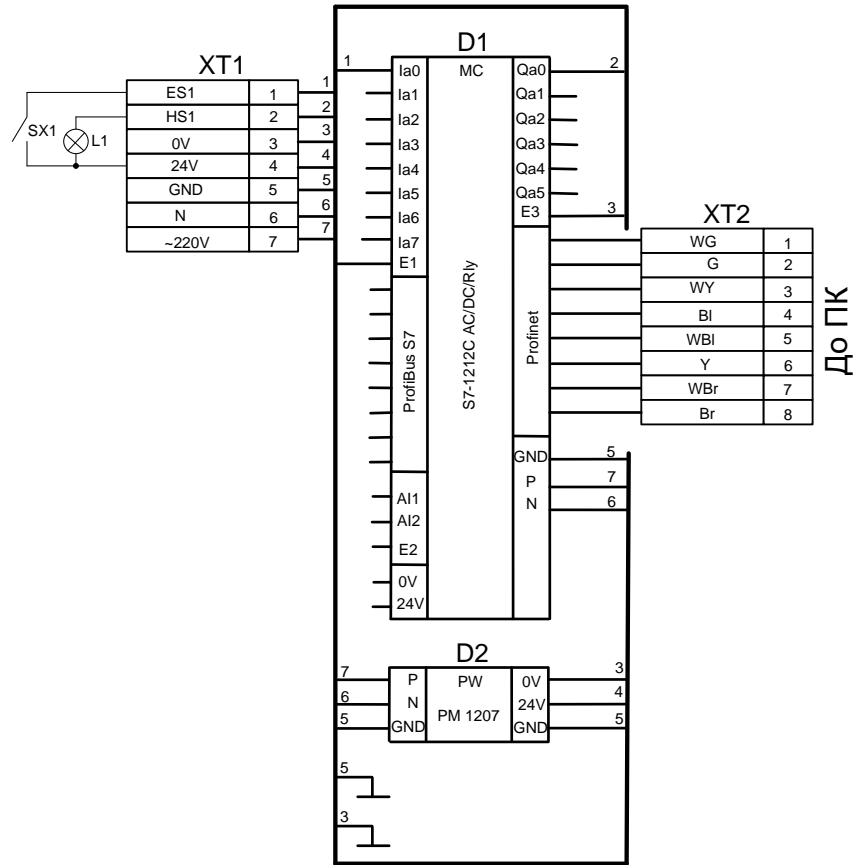


Рисунок 5.1 – Схема принципова випробувального стенду

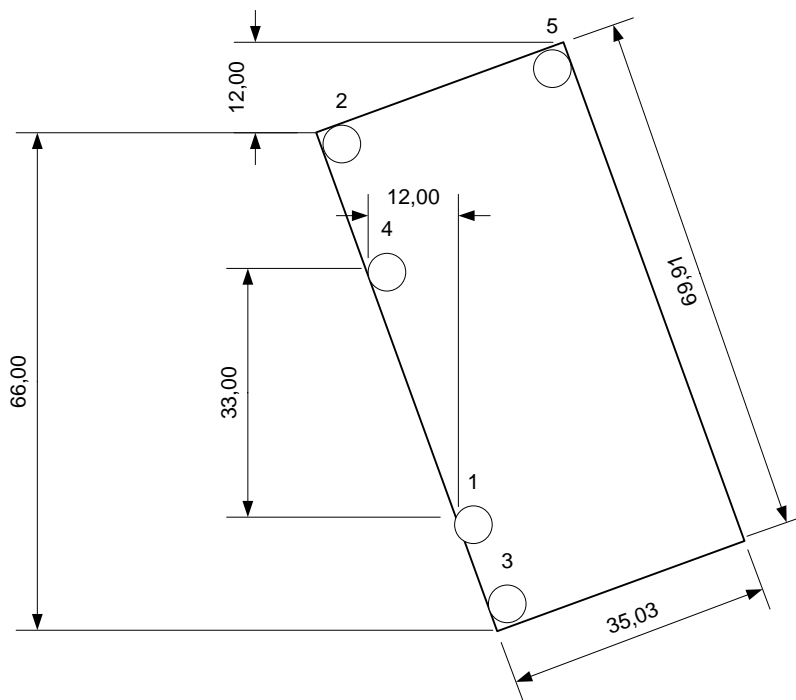


Рисунок 5.2 – Тестовий рисунок з проекцією згори дослідного еталону

### 5.2.1 Випробування блоків ПЗ

Перед виконанням робіт зробити резервну копію проєкту ПЗ КФС СМ. Послідовність дій контрольного прикладу наведено у таблиці 5.2. У випадку неспівпадіння реального результату з очікуваним, провести довідлагодження програми.

Таблиця 5.2 – Послідовність дій контрольного прикладу випробування блоків ПЗ

№ п/п	Дія	Очікуваний результат
1.	У досліджуваному проєкті заблокувати виконання організаційного блоку ModBusServe, а також виклик функцій LenghtCorrection, WidthCorrection та функціонального блоку WeigthMeasurement. Всі інші блоки й функції мають виконуватись. Завантажити проєкт у Simatic S7-1212C. Підключитись до контролера у режимі відлагодження. Відкрити організаційний блок Main. Активувати режим моніторингу.	У організаційному блоці Main йде очікування команди на початок вимірювання. Ланцюг із функцією WeightNorming отримує дозвіл на виконання. Інші ланцюги організаційного блоку Main – ні.
2.	Внести у Force Table у середовищі Tia Portal тег "HS1". Форсувати його до true на 1..5 секунд, потім форсування відмінити.	Той же, як і для попереднього випадку.

Продовження таблиці 5.2

№ п/п	Дія	Очікуваний результат
3.	Внести у Watch Table у середовищі Tia Portal тег "HMI_command". Змінити його значення до true на 1..5 секунд, потім поміняти на false.	Всі ланцюги блоку Main окрім раніше заблокованих, отримають дозвіл на виконання. Активується таймер затримки наступного вимірювання в останньому ланцюзі. Через 10 секунд всі ланцюги блоку Main повернуться у початковий стан.
4.	У досліджуваному проєкті заблокувати виконання таймеру затримки наступного вимірювання в останньому ланцюзі. Завантажити проєкт у S7-1212C. Підключитись до контролера у режимі відлагодження. Внести у Watch Table у середовищі Tia Portal тег "HMI_command". Змінити його значення до true.	Всі ланцюги блоку Main окрім раніше заблокованих, отримають дозвіл на виконання.
5.	Відкрити блоки даних WeightServeDB та ResultsDB. Активувати режим моніторингу для обох.	Маємо наступні значення WeightServeDB: Weight[1]=65535 Weight[2]=65535 Weight[3]=65535 Weight[4]=65535 WeightServeDB: Weight=-9999.0

Продовження таблиці 5.2

№ п/п	Дія	Очікуваний результат
6.	У блоці даних WeightServeDB послідовно змінити Weight[1]= 0, потім Weight[2]= 0, потім Weight[3]= 0, потім Weight[4]= 0	Значення WeightServeDB. Weight=-9999.0, поки хоча б одне значення WeightServeDB.Weight[] не дорівнює 0. Після встановлення всіх необхідних нулів WeightServeDB.Weight=0
7.	Послідовно у WeightServeDB змінювати кванти показань ваги так, як показано у таблиці тестових даних 5.3	Отримана у WeightServeDB. Weight має співпасти з контрольною у таблиці 5.3 з відхиленням, яке підпадає аналізу.
8.	Відкрити блоки даних ModBusServeDB та локальний для Main. Активувати режим моніторингу для обох.	Маємо наступні значення ModBusServeDB: RxData[0]=0 RxData[1]=0 RxData[2]=0 RxData[3]=0 RxData[4]=0 Main: tLenghtOutput[0]=0.0 tLenghtOutput[1]=0.0 tLenghtOutput[2]=0.0 tLenghtOutput[3]=0.0 tLenghtOutput[4]=0.0

Продовження таблиці 5.2

№ п/п	Дія	Очікуваний результат
9.	Послідовно у ModBusServeDB змінювати кванти показань ваги так, як показано у таблиці тестових даних 5.4	Має бути співпадіння даних масиву ModBusServeDB. RxData з даними масиву tLenghtOutput в Main, але тип даних має перетворюватись з UINT в Real з відхиленням, яке підпадає аналізу.

Таблиця 5.3 – Тестові дані для випробувань контуру обробки ваги

Кванти датчика 1, Weight[1]	Кванти датчика 2, Weight[2]	Кванти датчика 3, Weight[3]	Кванти датчика 4, Weight[4]	Контрольна вага, WeightServeDB. Weight, кг
0	0	0	0	0
0	0	0	200	4,69
0	0	0	400	9,38
0	0	0	600	14,06
0	0	0	2000	46,88
0	0	0	10000	234,38
0	0	0	30000	703,13
0	0	0	60000	1406,25
0	0	2000	2000	93,75
0	3000	2000	2000	164,06
700	3000	2000	2000	180,47
700	3000	2000	0	133,59
700	3000	0	0	86,72
700	0		2000	63,28

Таблиця 5.4 – Тестові дані для випробувань контуру попередньої обробки розмірів

Кванти датчика 1, ModBus ServeDB. RxData[0]	Кванти датчика 2, ModBus ServeDB. RxData[1]	Кванти датчика 3, ModBus ServeDB. RxData[2]	Кванти датчика 4, ModBus ServeDB. RxData[3]	Кванти датчика 5, ModBus ServeDB. RxData[4]
100	0	0	0	0
900	100	0	0	0
1700	900	100	0	0
2500	1700	900	100	0
8000	2500	1700	900	100
10500	8000	2500	1700	900
50682	10500	8000	2500	1700
45469	50682	10500	8000	2500
56570	45469	50682	10500	8000

### 5.2.2 Дослідження методу оцінки довжини й ширини габаритного замовлення в умовах його кутового відхилення

Для дослідження прийнято еталонну проекцію замовлення прямокутної форми, яке розташоване на умовному мірному майданчику з деяким відхиленням від нормалей променів вимірювання відстані лазерними далекомірами. Ця еталонна проекція виконана у вигляді технічного креслення, представленого на рисунку 5.2. Рисунок виконано у середовищі MS Visio 2010 із застосуванням вбудованих шаблонів для машинобудівного креслення. Таким чином, розміри на рисунку 5.2 відповідають дійсності у певному масштабі. Для перевірки методу на моделі масштаб не має значення, достатньо гарантій від стандартних засобів MS Visio для машинобудівних рисунків щодо збереження коректних пропорцій.

Також на рисунку 5.2 показані умовно контрольні точки до яких застосовуються далекоміри. Таким чином, з креслення можна визначити різниці відстаней між точками вимірювань, які відображають вхідні дані для методу, відображеного у формула (2.6) і (2.9), та габарити прямокутної проекції, які є

перевірочними даними для результатів застосування заявленого методу оцінки довжини й ширини габаритного замовлення.

### 5.3 Аналіз результатів експериментів

Виконано згідно ДСТУ 2851-94[18].

#### 5.3.1 Оцінка результатів випробувань на контрольному прикладі

Результати застосування до ПЗ КФС СМ контрольного прикладу, показаного у таблиці 5.2 співпадають з очікуваними

#### 5.3.2 Оцінка результатів випробувань контуру обробки ваги

Таблиця 5.5 – Результати випробувань контуру обробки ваги

№	Контрольна вага, WeightServeDB.Weight, кг	Виміряна вага, WeightServeDB.Weight, кг	Абсолютна похибка, кг
1.	0	0	0,00
2.	4,69	4,71	-0,02
3.	9,38	9,35	0,03
4.	14,06	14,1	-0,04
5.	46,88	46,91	-0,03
6.	234,38	234,35	0,03
7.	703,13	703,12	0,00
8.	1406,25	1406,27	-0,02
9.	93,75	93,73	0,02
10.	164,06	164,04	0,02
11.	180,47	180,48	-0,01
12.	133,59	133,55	0,04
13.	86,72	86,74	-0,02
14.	63,28	63,31	-0,03

Як видно з таблиці 5.5, абсолютна похибка під час зважування не перевищує заявлені 40 гр. Середнє квадратичне відхилення випадкової похибки визначено за методом[30]:

$$\sigma(x) \approx \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta(\bar{x})^2}, \quad (5.1)$$

де  $\Delta(\bar{x})$  – абсолютна похибка поточного вимірювання на кожному кроці;  
 $n$  – кількість повторених вимірювань.

Згідно даних таблиці 5.5,  $\sigma(x) \approx 0,0264$  кг, тобто 26 гр.

Випадкова похибка середнього арифметичного:

$$\sigma(\bar{x}) = \frac{\sigma(x)}{\sqrt{n}}, \quad (5.5)$$

Тобто  $\sigma(\bar{x}) = 0,0071$  кг, тобто 7 гр.

Максимальна абсолютна похибка обробки даних вимірювання ваги складе:

$$\Delta(x) = \Delta(\bar{x}) + \sigma(\bar{x}) \quad (5.6)$$

Таким чином, можна стверджувати що засоби КФС СМ обробляють дані з ваги з абсолютною похибкою  $\pm 31$  грам. Це дозволяє використовувати терези з похибкою методу до  $\pm 70$  гр з урахуванням повної їх шкали 1500 000 гр, що складе 0,005% відносної похибки. Як наслідок, вплив похибки обробки даних на результати зважування несуттєвий і ним можна знехтувати.

### **5.3.3 Оцінка результатів випробувань контуру попередньої обробки розмірів**

Еталонні дані, наведені у таблиці 5.4 конвертовані з типу UINT у тип Real без спотворень.

### **5.3.4 Оцінка результатів моделювання вимірювання й оцінки довжини й ширини габаритного замовлення в умовах його кутового відхилення**

Згідно рисунку 5.1 визначимо складові формул (2.6) і (2.9):

$$|\check{L}_{S3} - \check{L}_{S2}| = 66,00 \text{ умовних одиниць довжини, у.о.};$$

$$|\check{L}_{S1} - \check{L}_{S4}| = 12,00 \text{ у.о.};$$

$$L_{\Delta 41} = 33,00 \text{ у.о.};$$

$$|\check{L}_{S2} - \check{L}_{S5}| = 12,00 \text{ у.о.}.$$

Тоді скоригована габаритна довжина складе

$$L_{yg} = \sqrt{66,00^2 + \left(\frac{66,00 \cdot 12,00}{33,00}\right)^2} \approx 70,228 \text{ у.о.}$$

Відповідно, скоригована габаритна ширина:

$$L_{xg} = \frac{12,00 \cdot 69,767 \cdot 33,00}{66,00 \cdot 12,00} \approx 35,115 \text{ у.о.}$$

Відносне відхилення від еталону за довжиною складе:

$$\Delta(L_{yg}) = \frac{|L_{yge} - L_{yg}|}{L_{yge}} * 100\% , \quad (5.3)$$

де  $L_{yge}$  еталонне значення довжини замовлення, згідно креслення на рисунку 5.1 складає 69,91 у.о.

Відносне відхилення від еталону за шириною складе:

$$\Delta(L_{xg}) = \frac{|L_{xge} - L_{xg}|}{L_{xge}} * 100\% , \quad (5.4)$$

де  $L_{xge}$  – еталонне значення ширини замовлення, згідно креслення на рисунку 5.1 складає 35,03 у.о.

Підставивши розраховані значення  $L_{yg}$   $L_{xg}$  та габаритів у (5.3) та (5.4) отримаємо відносні похибки, відповідно  $\Delta(L_{yg}) \approx 0,46\%$  та  $\Delta(L_{xg}) \approx 0,24\%$ .

Таким чином, на кожний метр габариту виробу отримаємо не більше 5 мм відхилення. Або, у випадку труб, до 5 см відхилення на кожні 10 погонних метрів. Цього цілком достатньо для контролю замовлень виробів з чорного металу, що також підтверджує висунуте наукове положення про використання 5 контрольних точок для безконтактної оцінки довжини й ширини габаритного предмету.

## ВИСНОВОК

У результаті експериментальних досліджень шляхом було підтверджено за допомогою виконання контрольного прикладу дієздатність блоків ПЗ КФС СМ у частині обробки даних від датчиків відстані й ваги. Показано, що відносна похибка обробки даних з ваги не перевищить 0,005% що дозволяє зробити висновок про несуттєвість впливу похибки обробки даних на точність вимірювання ваги. Також підтверджено коректність перетворення даних вимірювання від лазерних дальномірів для подальших обчислень.

Методом моделювання в середовищі шаблону MS Visio 2010 для машинобудівних креслень з подальшою обробкою результатів моделювання підтверджено наукове положення 1 даної кваліфікаційної роботи. Дійсно, за допомогою 5 контрольних точок на замовленні, відстань до яких на майданчику вимірюють безконтактні датчики, можливо досить точно визначити дійсні габарити замовлення, не дивлячись на те, що воно лежить під непрямым кутом до нормалей вимірювання. Відносна похибка тут не перевищила 0,46%.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра вирішено завдання обґрунтування функціональної структури, технічного рішення, методів та алгоритмів отримання даних від контролера терезів, вимірювання довжини й ширини замовлення, визначення кількості товару у замовленні. Основні висновки та результати роботи полягають у наступному:

1. Обґрунтовано метод вимірювання довжини й ширини габаритного замовлення на основі лазерних вимірювачів довжини;
2. Розробити метод оцінення кількісних характеристик замовлення;
3. Розроблено технічне рішення кіберфізичної системи на основі типового комплексу технічних засобів Siemens S7-1200;
4. Розроблено програмне забезпечення КФС складського майданчика;
5. Проведено експериментальні дослідження КФС складського майданчика у порядку її випробувань, а також підтверджено висунуте під час теоретичних досліджень наукове положення.

Таким чином, поставлена у даній кваліфікаційній роботі вирішена у повному обсязі.

Мета даної магістерської роботи – обґрунтувати технічно-програмне рішення кіберфізичної системи складського майданчика, яка здійснює контроль маси, габаритів і кількості товару у замовленні під час дрібнооптової торгівлі виробами з чорного металу<sup>1</sup> – досягнута.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інформація про АВ Метал Груп. Режим доступу: <https://forbes.ua/profile/av-metal-grup-283>
2. АВ Метал Груп» – металопрокат у Львові. Режим доступу: <https://vv24.in.ua/vizytka.php?id=20&lang=1>
3. ПОСАДОВА ІНСТРУКЦІЯ службовця на складі (комірника) (код КП – 4131). Режим доступу: <https://profpressa.com/media/uploads/2023/02/02/sluzhbovets-na-skladi-komirnik.docx>
4. Укрсклад. Універсальний складський облік. Режим доступу: <https://www.ukrsklad.com/>
5. DNTrade. Хмарна система обліку. Режим доступу: [https://dntrade.com.ua/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw68K4BhAuEiwAy1p3kkdNcDTpjdY7y29uWWDtTetdlqNi9oVJDKIeiIwio9ICOEhanEN5HhoCW64QAvD\\_BwE](https://dntrade.com.ua/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw68K4BhAuEiwAy1p3kkdNcDTpjdY7y29uWWDtTetdlqNi9oVJDKIeiIwio9ICOEhanEN5HhoCW64QAvD_BwE)
6. ТОП-10 програм для обліку товару та складу. Режим доступу: <https://a4.com.ua/10-program-obliku-tovaru-ta-skladu/>
7. POS-Vector. POS-комплект для автоматизації торгівлі. Режим доступу: [https://shop.pos-vector.net/komplekty/torgivlja/ekonom-t1.1-w/?utm\\_source=google&utm\\_campaign=PM\\_k\\_1\\_pos-komplekty\\_torgovlya\\_feed\\_HOR&utm\\_medium=cpc&utm\\_term=&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw68K4BhAuEiwAy1p3ko4cpQb2zPlvDAuOU4YvmII74Is81tTmPOWtAY5m03Lpv1CtPDJTPrOCuTYQAvD\\_BwE](https://shop.pos-vector.net/komplekty/torgivlja/ekonom-t1.1-w/?utm_source=google&utm_campaign=PM_k_1_pos-komplekty_torgovlya_feed_HOR&utm_medium=cpc&utm_term=&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw68K4BhAuEiwAy1p3ko4cpQb2zPlvDAuOU4YvmII74Is81tTmPOWtAY5m03Lpv1CtPDJTPrOCuTYQAvD_BwE)
8. Питома вага дроту сталевого ГОСТ 3282-74. Маса катанки в бухтах Режим доступу: <https://sbk.ltd.ua/uk/sortament-vaga-metaloprokatu/232-udelnyj-ves-provoloki-stalnoj-gost-3282-74-massa-katanki-v-buhtah.html>
9. Santrade. Різка металопрокату. Режим доступу: <https://santrade21.com/rizka-metaloprokatu/>

10. Довідник з металопрокату. Режим доступу: <https://stalservis.ua/images/pdf/spravochnik-po-mettaloprokatu.pdf>
11. Укрваги. Кранові ваги. Режим доступу: [https://ukrvesi.com.ua/ua/g3983175-kranovye-vesy?srsltid=AfmBOorMFE-M3BzTaQ3eg0SDfw\\_SJ\\_Gv\\_AtYtLlsuVyCOoRNvv-HwIU1](https://ukrvesi.com.ua/ua/g3983175-kranovye-vesy?srsltid=AfmBOorMFE-M3BzTaQ3eg0SDfw_SJ_Gv_AtYtLlsuVyCOoRNvv-HwIU1)
12. Київський ваговий завод. Платформні ваги. Режим доступу: <https://kvz.in.ua/platformennyye-vesy/>
13. Безфундаментні ваги автомобільні на 40 тонн, довжина 8 метрів. Режим доступу: <https://vis-shop.com.ua/ua/besfundamentnye-vesy-avtomobilnye-na-40-tonn-dlina-8-metrov>
14. Рольгангові ваги. Режим доступу: [https://vis-shop.com.ua/ua/rolgangovye-vesy?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=21207951115&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw1NK4BhAwEiwAVUHPUEJWffXcBRITY8T4dUxfCdnE1FWouWJReqUT7uY-bKC\\_FpNWivh2tnxoC7hMQAvD\\_BwE](https://vis-shop.com.ua/ua/rolgangovye-vesy?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=21207951115&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw1NK4BhAwEiwAVUHPUEJWffXcBRITY8T4dUxfCdnE1FWouWJReqUT7uY-bKC_FpNWivh2tnxoC7hMQAvD_BwE)
15. Ваговимірювальні системи. Ваги рольганг із приводом на 150 кг 400\*500 мм. Режим доступу: <https://vis.ua/product/vahy-rolhanh-iz-pryvodom-na-150-kh-400-500-mm/>
16. Б.П. Серета М.Г. Прищип І.В. Кругляк Т.О.Васильченко. Прокатка листів та штаб. Навчально-методичний посібник. – Запорізька державна інженерна академія. Запоріжжя: «ЗДІА» 2012. – 186 с.
17. Павло Саварин. Комп'ютерні системи та мережі. – Електронний посібник з дисципліни. Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2022. Режим доступу: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/)
18. Індуктивний датчик Schneider XS8D1A1PAM12. Режим доступу: <https://peko.com.ua/sensors/inductive/schneider-electric-xs8d1a1pam12>
19. Ємнісний датчик наближення LJC18A3-H-Z/BX. Режим доступу: <https://uamper.com/Индуктивный-емкостной-бесконтактный-датчик-LJC18A3-H-Z-BX?srsltid=AfmBOorMOePVVYr13JA2IfZ-OxS0Y17GqmWFZR28WcQ91IiAyvIC7LzK>

20. Харків-прилад. Пірометр Optris CS LT. Режим доступу: [https://pribory.online/ua/p2149474158-piometr-optris.html?source=merchant\\_center&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw99e4BhDiARIsAISE7P\\_Rfh5cSaY7tQvskgE\\_ED\\_ZAyjsJUtlhWw3vrwUXEcgiIKVRkDW\\_OXYaAn73EALw\\_wcB](https://pribory.online/ua/p2149474158-piometr-optris.html?source=merchant_center&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw99e4BhDiARIsAISE7P_Rfh5cSaY7tQvskgE_ED_ZAyjsJUtlhWw3vrwUXEcgiIKVRkDW_OXYaAn73EALw_wcB)
21. Пе-Ко. Ультразвуковий датчик відстані SICK UC30-215162. Режим доступу: <https://peko.com.ua/distance-sensors/ultrasonic-distance-sensors/sick-uc30-215162>
22. JRT. RS232/RS485/USB/Bluetooth Лазерний модуль датчика відстані. Режим доступу: <https://ua.laserdistancemodule.com/laser-distance-sensor/short-range-laser-distance-sensor/rs232-rs485-usb-bluetooth-laser-distance.html>
23. Вага листа, сталевого листового проката ГОСТ 16523-89, ГОСТ 14637-89  
Режим доступу: <https://sbk.ltd.ua/uk/sortament-vaga-metaloprokatu/133-ves-lista-stalnogo-listovogo-prokata-gost-16523-89-gost14637-89.html>
24. Siemens. S7-1200 Programmable controller 16 System Manual, V4.5 05/2021, A5E02486680-AO. Режим доступу: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/241/109797241/att\\_1066673/v1/s71200\\_system\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/241/109797241/att_1066673/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf).
25. Кнопка АСКО-Укрем з підсвіткою жовта XB2-BW3571 A0140010053. Режим доступу: [https://epicentrk.ua/ua/shop/knopka-asko-ukrem-s-podstvetkoy-zheltaya-xb2-bw3571-a0140010053.html?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw7Py4BhCbARIsAMMx-JBnqtrPGrH6WMMecR-weIQsgI6wEZxGmsPEXMOp2SLRsvKlxlzCN4aAtcnEALw\\_wcB](https://epicentrk.ua/ua/shop/knopka-asko-ukrem-s-podstvetkoy-zheltaya-xb2-bw3571-a0140010053.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw7Py4BhCbARIsAMMx-JBnqtrPGrH6WMMecR-weIQsgI6wEZxGmsPEXMOp2SLRsvKlxlzCN4aAtcnEALw_wcB)
26. Корпус посту кнопки 1 місний 22мм білий NP2-BO1 CHINT. Режим доступу: [https://energyhouse.in.ua/korpus-knopochnogo-posta-1-mestnyy-22mm-belyy-573891-np2-bo1-chint-ru?gclid=Cj0KCQjw7Py4BhCbARIsAMMx-JAmb5mfc4G1XDv9PNzE6xAcqPssUoO7ZvZ8fvmp59HLi2xrvoHCA8aAhh5EALw\\_wcB&utm\\_source=google\\_nyzkomarzhynalni&utm\\_content=cid|20855770463|gid||kwid|](https://energyhouse.in.ua/korpus-knopochnogo-posta-1-mestnyy-22mm-belyy-573891-np2-bo1-chint-ru?gclid=Cj0KCQjw7Py4BhCbARIsAMMx-JAmb5mfc4G1XDv9PNzE6xAcqPssUoO7ZvZ8fvmp59HLi2xrvoHCA8aAhh5EALw_wcB&utm_source=google_nyzkomarzhynalni&utm_content=cid|20855770463|gid||kwid|)

27. Siemens SIWAREX WP231 Manuals. Режим доступу <https://www.manualslib.com/products/Siemens-Siwarex-Wp231-8938612.html>
28. ДСТУ 2853-94 Програмні засоби ЕОМ. Підготовка і проведення випробувань.
29. ДСТУ 2851-94 Програмні засоби ЕОМ. Документування результатів випробувань.
30. Величко О. М., Коцюба А. М., Новіков В. М. Основи метрології та метрологічна діяльність. Навчальний посібник. – Київ, вид.-во НаУКМА, 2000. — 228 с.

## **Додаток А**

Текст програми

програмного забезпечення кіберфізичної системи складського майданчика

НТУ «Дніпровська політехніка»

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА СКЛАДСЬКОГО МАЙДАНЧИКА**

**Текст програми**

**804.02070745.24014-01 12 01**

**Листів 15**

2024

## **АННОТАЦІЯ**

Даний документ містить ПЗ кіберфізичної системи складського майданчика.

Текст програми реалізовано мовою LAD для PLC Simatic.

Середовище розробки та налагодження – Siemens TIA Portal V15, сумісне з IBM PC2 у середовищі операційної системи Windows 10.

## ЗМІСТ

1. Таблиця тегів меркерної пам'яті Default tag table
2. Організаційний блок ModBusServe
3. Організаційний блок Main
4. Функціональний блок WeigthMeasurement
5. Функція WeightNorming
6. Функція LenghtNorming
7. Функція LenghtCorrection
8. Функція WidthCorrection
9. Функція IsNormal
10. Функція QuantCalculation
11. Блок даних CurrReceiptDB
12. Блок даних MeasSettingsDB
13. Блок даних ModBusServeDB
14. Блок даних ResultsDB
15. Блок даних WeightServeDB