

Міністерство освіти і науки України

Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

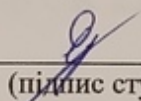
## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи  
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

на тему: Розробка вимірювача ваги відчепів для систем автоматизації  
сортувальної гірки

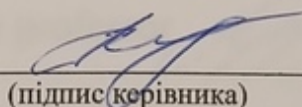
за освітньою програмою «Системи керування рухом поїздів»  
зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»

Виконав: студент групи СК2321 (969М)

  
(підпис студента)

/ Руслан ЯРУШИН /

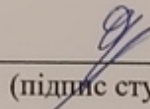
Керівник: доцент кафедри АТ

  
(підпис керівника)

/ Костянтин ГОНЧАРОВ /

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

Студент

  
(підпис студента)

Дніпро – 2025 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine  
Ukrainian State University of Science and Technologies**

**Faculty of Computer Technologies and Systems**

**Department of Automation and Telecommunication**

## **Explanatory Note**

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Development the weight meter of railway cars for the automation systems of sorting hump

according to educational curriculum «Train movement control systems»  
in the Specialty: 273 Railway transport

Done by the student of the group CK 2321 (969M)

/ Ruslan YARUSHYN /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Kostiantyn HONCHAROV /

**Dnipro – 2025**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем  
Кафедра: Автоматика та телекомунікації  
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)  
Освітня програма: Системи керування рухом поїздів  
Спеціальність: 273 Залізничний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

\_\_\_\_\_ Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу \_\_\_\_\_ магістра  
(ступінь вищої освіти)

студенту Ярушину Руслану Сергійовичу  
(Прізвище, Ім'я По батькові)

**1. Тема роботи:** Розробка вимірювача ваги відчепів для систем автоматизації сортувальної гірки

Керівник роботи: Гончаров Костянтин Вікторович, к.т.н., доцент  
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2023 р. № \_\_\_\_\_

**2. Строк подання студентом роботи:** 06.01.2025 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** вимоги до вимірювача ваги відчепів, технічні характеристики тензометричних датчиків

**4. Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: виконати аналітичний огляд існуючих систем автоматизації сортувальної гірки, огляд тензометричних датчиків.

4.2 Основна частина: 1) розробити структурну схему та алгоритм роботи системи автоматичного регулювання швидкості відчепів; 2) розробити структурну та принципову електричну схеми, а також алгоритм роботи вимірювача ваги відчепів; 3) виконати розрахунки вимірювача ваги

**5. Перелік графічного матеріалу:**

структурна схема та блок-схема алгоритму роботи системи автоматичного регулювання швидкості відчепів, структурна схема, блок-схема алгоритму роботи вимірювача ваги відчепів, принципові електричні схеми структурних вузлів вимірювача ваги

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд існуючих систем автоматизації сортувальної гірки	06.05.2024	
2	Розробка структури та алгоритму роботи вимірювача ваги відчепів	01.07.2024	
3	Вибір та дослідження первинних перетворювачів для вимірювача ваги	28.10.2024	
4	Розробка структурних вузлів вимірювача ваги відчепів	23.12.2024	
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	06.01.2025	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	13.01.2025	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	20.01.2025 – 24.01.2025	

Студент

Руслан ЯРУШИН

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

Костянтин ГОНЧАРОВ

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи :** 56 сторінок, 15 рисунків, 3 таблиці, 20 джерел літератури.

**Об'єкт розробки** – вимірювач ваги залізничних відчепів.

**Мета роботи** – підвищення ефективності систем автоматизації сортувальної гірки шляхом автоматичного вимірювання ваги відчепів та регулювання швидкості скочування.

**Методи дослідження** – аналіз існуючих методів вимірювання ваги; аналіз існуючих приладів та датчиків; методи розробки електронних схем та алгоритмів роботи.

В першому розділі роботи проведений аналітичний огляд існуючих систем автоматизації сортувальної гірки, а також методів вимірювання ваги відчепів. В другому розділі розроблена структурна схема та алгоритм роботи вимірювача ваги відчепів, запропонований також алгоритм підрахунку осей та вагонів у відчепі. В третьому розділі обґрунтовано вибір типу первинних перетворювачів: тензометричних датчиків та точкових колійних датчиків. Четвертий розділ присвячений розробці структурних вузлів вимірювача ваги. Розроблені принципові електричні схеми та виконано розрахунок підсилювача сигналів тензодатчиків, перетворювача для точкових колійних датчиків та цифрового модулю вимірювача ваги.

Результати роботи можуть бути використані для удосконалення систем автоматизації сортувальної гірки, зокрема при розробці сучасної системи автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів.

**Ключові слова:** СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІДЧЕПІВ, ВИМІРЮВАЧ ВАГИ, ТЕНЗОДАТЧИК, ТОЧКОВИЙ КОЛІЙНИЙ ДАТЧИК, ПІДСИЛЮВАЧ, АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, КОНТРОЛЕР.

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	5
<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГІРКИ</b> .....	9
1.1 Загальні принципи функціонування сортувальної гірки.....	9
1.2 Різновиди призначення систем автоматизації сортувальної гірки.....	12
1.3 Система автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів АРС.....	14
1.4 Принцип дії та різновиди тензометричних датчиків.....	18
1.5 Висновки за розділом 1.....	21
<b>2 СТРУКТУРА ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ ВИМІРЮВАЧА ВАГИ ВІДЧЕПІВ</b> .....	23
2.1 Структура та принцип дії вимірювача ваги відчепів.....	23
2.2 Алгоритм роботи вимірювача ваги відчепів.....	25
2.3 Алгоритм визначення кількості осей, візків та вагонів у відчепі.....	27
2.4 Висновки за розділом.....	31
<b>3 ПЕРВИННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ВИМІРЮВАЧА ВАГИ</b> .....	33
3.1 Вибір типу та кількості тензометричних датчиків.....	33
3.2 Структура, принцип дії та технічні характеристики точкового колійного датчика ДПД-01.....	37
3.3 Висновки за розділом 3.....	39

<b>4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ ВУЗЛІВ ВИМІРЮВАЧА ВАГИ ВІДЧЕПІВ.....</b>	<b>41</b>
4.1 Перетворювач сигналів точкових колійних датчиків.....	41
4.2 Підсилювач сигналів тензодатчиків.....	44
4.3 Цифровий модуль вимірювача ваги відчепів.....	48
4.4 Висновки за розділом 4.....	51
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>52</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>54</b>

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Одне з головних призначень сортувальної станції полягає у прийомі поїздів, які підлягають розформуванню, та проведенні розформування поїздів шляхом роз'єднання їх на групи вагонів, та напрямку кожної групи на певні шляхи, на яких складаються поїзди нових призначень, з подальшим відправленням їх за маршрутом. Автоматизація сортувальних гірок є важливою частиною роботи станцій. Керування рухом поїзда потребує отримання інформації, яка є надійною та достовірною, та потребує застосування сучасних методів керування. Застосування сучасних методів веде до підвищення ефективності системи керування, діагностики та підвищення рівня безпеки руху поїздів. Система АРШ забезпечує автоматичне регулювання швидкості скочування відчепів. Одним із головних елементів системи АРШ є вимірювач ваги відчепів. Від того, як ефективно функціонують механізовані та автоматизовані сортувальні гірничі комплекси, залежать підсумки роботи всієї мережі залізниць. У зв'язку з цим, розробка вимірювача ваги відчепів є актуальною задачею.

*Задачі дослідження* – розробити структурну схему та алгоритм роботи вимірювача ваги залізничних відчепів, обґрунтувати вибір первинних перетворювачів для вимірювача ваги, розробити принципові електричні схеми та виконати розрахунок структурних вузлів вимірювача ваги.

*Методи дослідження* – аналіз існуючих методів вимірювання ваги; аналіз існуючих приладів та датчиків; методи розробки електронних схем та алгоритмів роботи.

*Практична значимість роботи* – результати роботи можуть бути використані для удосконалення систем автоматизації сортувальної гірки, зокрема при розробці сучасної системи автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів.

# 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГІРКИ

## 1.1 Загальні принципи функціонування сортувальної гірки

Важлива роль сортувальних гірок (СГ) полягає в доставці вантажів клієнтам, скороченні простоїв вагонів, забезпеченні їх безпеки. Сортувальні станції поділяються на односторонні та двосторонні та включають три парки: парк прибуття, ще його називають парк прийому (ПП), парк, де відбувається сортування, або сортувальний парк (СП), парк відправлення (ПЗ). Між парком прийому та сортувальним парком розташовуються шляхи насуву та спускна частина гірки. Парки прибуття, сортувальний парк та парк відправлення, разом із сортувальною гіркою та витяжними шляхами, складають сортувальну систему.

Важливими елементами сортувальної гірки є насувна частина, перевальна (горб, вершина гірки А), спускна частина та підгірковий (сортувальний) парк (рисунок 1.1).

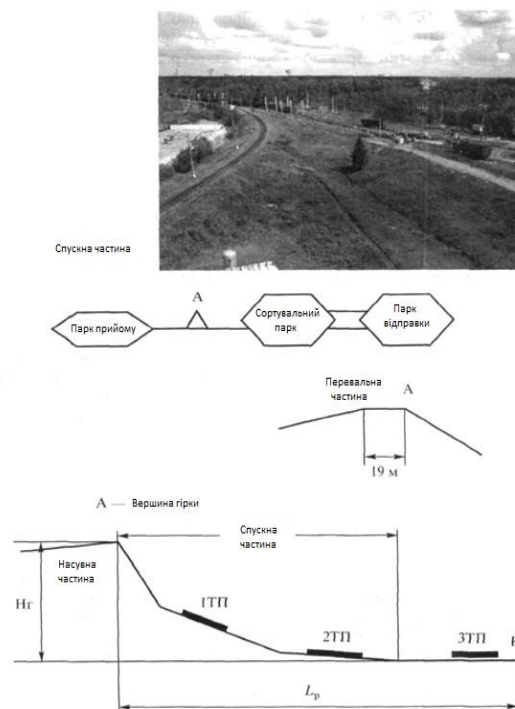


Рисунок 1.1 – Основні елементи сортувальної гірки

Склад, що належав розформуванню, насувається маневровим локомотивом з парку прийому на горб гірки, найвищу точку називають вершиною гірки, де склад розчіплюється на окремі групи вагонів (відчепа). Саме тут і починається автономне скачування розчеплених вагонів під дією власної ваги по спускній частині гірки на певні шляхи сортувального парку. Останній часто називають підгірковим парком [1].

Насувна частина гірки призначена для переміщення вагонів до вершини гірки з парку прийому та підготовки їх до вільного скочування. На насувній частині розміщуються шляхи з'єднання парку прийому з гірковою горловиною (шляху насуву) довжиною 200-600 м і частина парку прийому, що примикає до гірки. Насувна частина гірки забезпечує рух з місця важкого складу одним гірковим локомотивом, коли перший вагон складу знаходиться біля вершини гірки, а також запобігає скачуванню вагонів у разі термінового припинення розпуску складу. Насувній частині надається характерна особливість, якою є наявність, безпосередньо перед горбом гірки, протиухилу, який сприяє стиску складу, що насувається для виконання наступної операції розчепа вагонів.

Перевальну частину називають горбом сортувальної гірки, на якому відбувається сполучення за допомогою вертикальних кривих протиухилу насувної частини та швидкісного ухилу спускної частини. Кордон двох суміжних вертикальних кривих, точка А, називається вершиною гірки. Найменший радіус вертикальної кривої 350 м.

Функцією перевальної частини гірки є виконання плавного переходу вагона на спускну частину гірки, щоб не допускати саморозчеплення вагонів у відчепі. За наявності майданчика вершиною гірки вважається початок кривої спускної частини, що сполучає частини.

Спускна частина гірки служить для відриву вагонів від складу та їхнього швидкого переміщення із безпечними інтервалами. Спускною частиною вважають елемент довжиною  $L_p$ , який розташований між вершиною та розрахунковою точкою сортувальної гірки. Розрахункова точка К знаходиться на сортувальному шляху на віддаленні  $L_{рт}$  від граничного стовпчика за

найвіддаленішою від вершини гірки розділовою стрілкою. На проєктованих гірках ця відстань  $l_{рт}$  коливається в межах від 50 до 100 м, залежно від переробної здатності гірки, але не менше 12 м.

Висота спускної частини (відстань по вертикалі між вершиною гірки та горизонтальною прямою, проведеною через розрахункову точку) називається висотою гірки. Проектна висота гірки повинна визначатися за умовами пробігу розрахункового бігуна (поганого бігуна) в несприятливих обставинах від вершини гірки до розрахункової точки. На спускній частині гірки розташовують гальмівні позиції, на яких здійснюється гальмування відчепів, що скочуються. Щоб спускна частина гірки виконувала свої функції, їй надається певний профіль. У профілі спускної частини виділяють дві самостійні зони [2].

Першою вважається зона вільного руху на ділянці до I гальмівної позиції, в межах якої відчеп рухається з позитивним прискоренням; невольного руху від початку I гальмівної позиції до розрахункової точки. На цій ділянці в окремих місцях відчеп зазнає зовнішнього гальмування. Основне призначення першої зони полягає у формуванні просторового інтервалу між відчепами та забезпеченні прискореного руху наступних відчепів, не допускаючи їх нагонів у районі першої розділової стрілки.

Призначення другої зони полягає в забезпеченні необхідних інтервалів між відчепами протягом усієї спускної частини гірки, що залишилася. Сортувальний парк розташований безпосередньо за спускною частиною гірки. Він включає від 14 до 64 шляхів, залежно від обсягів вагонів, що переформовуються, і числа поїздів, що формуються на добу.

За способом виконання сортувальної роботи сортувальні пристрої на станціях діляться на: гіркові – сортувальні гірки підвищеної потужності (ГПП), гірки великої потужності (ГВП), гірки середньої потужності (ГСП) та гірки малої потужності (ГМП); негіркові – витяжні колії з горловинами на уклони, де використовується сила тяги локомотива та сила тяжіння вагонів; витяжні колії та стрілочні горловини на площадці, де використовується тільки

сила тяги локомотива. Для виконання функцій основних сортувальних пристроїв проектуються ГПП, ГВП, ГСП та ГМП із сортувальними парками. Для виконання функцій допоміжних сортувальних пристроїв можуть проектуватися ГСП, ГМП та негіркові сортувальні пристрої разом із сортувальними парками [3].

## **1.2 Різновиди та призначення систем автоматизації сортувальної гірки**

Для автоматизації та механізації гірок використовується комплекс технічних пристроїв:

- комплексна система автоматизованого управління сортувальним процесом (КСАУ СП), яка є частиною інтегрованої системи автоматизованого управління сортувальною станцією (АСУ СС);
- вагонні сповільнювачі для гальмування відчепів, що рухаються;
- стрілочні електроприводи для переключення стрілок при встановленні необхідних маршрутів;
- гіркові пульти для управління та контролю роботи гірничих пристроїв;
- гіркова автоматична централізація (ГАЦ) для автоматизації переведення стрілок за маршрутами скочування відчепів у процесі розпуску складів. ГАЦ координує роботу всіх інших підсистем та забезпечує загальний контроль над процесом сортування на сортувальній гірці.

Основні функції ГАЦ:

- планування сортування вагонів;
- координація роботи локомотивів та переключення стрілок;
- моніторинг та контроль руху вагонів у реальному часі;
- взаємодія з іншими системами автоматизації;
- система автоматизованого регулювання швидкості скочування відчепів з гірки (АРШ), яка дозволяє уникнути зіткень, забезпечує точне сортування.

Основні функції АРШ:

- контроль швидкості вагонів у різних секціях сортувальної гірки;
- автоматичне регулювання швидкості за допомогою гальмівних систем;
- підтримка заданих параметрів руху вагонів для забезпечення їхньої безпеки;
- система АЗШР обчислює та задає гранично допустиму швидкість насуву складу на гірку в момент відокремлення від складу чергового відчепу та забезпечує безпечне переміщення вагонів по сортувальній гірці.

#### Основні функції АЗШР:

- автоматичне закріплення вагонів перед підйомом на гірку;
- автоматичне розчеплення вагонів після їхнього спуску з гірки;
- підвищення безпеки та зниження ризику неконтрольованого руху вагонів;
- гіркова автоматична локомотивна сигналізація (ГАЛС), яка автоматизує управління локомотивами на сортувальній гірці та дозволяє оптимізувати процес формування та розформування составів.

#### Основні функції ГАЛС:

- автоматичне управління рухом локомотивів на гірці;
- координація роботи локомотивів з іншими підсистемами автоматизації;
- підвищення ефективності та точності маневрових операцій;
- телекерування гірковим локомотивом (ТГЛ). Ця система забезпечує автоматизацію всіх технологічних процесів на сортувальній гірці, включаючи управління переключенням стрілок, сигналами та іншими пристроями.

#### Основні функції ТГЛ:

- автоматичне управління переключеннями стрілок;
- контроль та управління сигналами для забезпечення безпеки руху;
- інтеграція з іншими системами автоматизації для забезпечення злагодженої роботи всієї сортувальної гірки;
- гірка з світлофорною сигналізацією;
- гірка з системою контролю заповнення шляхів;
- система устрою станційного зв'язку для переговорів чергових по гірці, операторів, машиністів, укладачів, регулювальників швидкості руху вагонів;

- компресорні станції та повітропровідна мережа для живлення стисненим повітрям пневматичних пристроїв;
- датчики та інші пристрої (фотоелектричні пристрої, дорожні датчики РТД-С, ПД, УСО тощо).

Системи ГАЦ, БДАЦ, ГАЦ-КР, які широко експлуатувалися у 70-80 рр. минулого століття, застаріли, не випускаються та не проектуються. До недоліків цих систем за функціональним рівнем відносять: відсутність функцій контролю та діагностики функціонування, низький рівень інтеграції з іншими системами, низька надійність та мала інформативність, великі експлуатаційні витрати на ремонт та обслуговування, дуже ненадійні рейкові ланцюги, яким у сучасних системах знайдено альтернативні рішення.

### **1.3 Система автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів АРШ**

Система автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів (АРШ) призначена для забезпечення безпечного і контрольованого руху вагонів на сортувальній гірці. Вона автоматично регулює швидкість відчепів, щоб запобігти їх зіткненню і забезпечити точне сортування.

Виділяють основні компоненти системи АРС:

**датчики швидкості та ваги відчепів;**

**контролери** – обробляють дані з датчиків і керують гальмівними пристроями;

**гальмівні пристрої** – використовуються для регулювання швидкості вагонів (вагонні уповільнювачі);

**система зв'язку** – забезпечує передачу даних між датчиками, контролерами і гальмівними пристроями;

**центральний комп'ютер** – координує роботу всіх компонентів системи і взаємодіє з іншими системами автоматизації сортувальної гірки.

Основні переваги системи АРС:

- **безпека** – запобігання зіткнень і аварій на сортувальній гірці;

- **точність** – забезпечення точного сортування вагонів відповідно до заданих параметрів;
- **ефективність** – підвищення швидкості та продуктивності сортувальних робіт;
- **зниження витрат** – скорочення витрат на ремонт та обслуговування вагонів і гіркової інфраструктури.

Основний принцип дії АРШ полягає в автоматичному коригуванні параметрів об'єкта керування для підтримання їх на заданому рівні, використовуючи зворотний зв'язок.

Система АРШ підтримує необхідні інтервали між відчепами, забезпечує необхідну дальність пробігу відчепів, а також безпечну швидкість їх зіштовхування з вагонами на сортувальних коліях сортувальної гірки. Система АРШ включає в себе уповільнювачі, пристрої автоматизованого управління гальмовими позиціями та пристрої для визначення ходових властивостей відчепів, а саме, їх вагові категорії, визначення відсотку заповнення вагонами сортувальних колій, розрахунок швидкості відчепів, з якою швидкістю слід випускати відчепи з гальмових позицій сортувальної гірки, вимірювання фактичної швидкості руху відчепів тощо [1; 4].

Система АРШ призначена для розрахунку та подальшого завдання значень швидкості відчепів під час виходу з гальмівних позицій, що забезпечують виконання умов розділення маршрутів скочування відчепів на стрілочних переведеннях (інтервальне регулювання), і безпечного з'єднання вагонів на сортувальних коліях (прицільне регулювання). Для реалізації вказаних швидкостей система АР здійснює автоматичне управління уповільнювачами, яке потрібне для забезпечення необхідної точності реалізації заданих значень швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій.

На автоматизованих гірках автоматично здійснюється контроль результатів розпуску составів. Під час контролю складається протокол з такими даними: час початку і закінчення розпуску состава, номер состава, номери колій, куди надходять відчепи, вагові категорії відчепів, фактичні

швидкості входу і виходу з гальмових позицій, режим гальмування, ходові якості відчепів, довжини вільних частин колій сортувального парку.

Ця інформація постійно контролюється і використовується для корекції режимів гальмування. Тобто відбувається фіксація проходження відчепу через ділянки сортувальних колій. Довжина кожної ділянки становить 25 м, це забезпечує точність допустимих відхилень при визначенні координат відчепа.

У системі АРШ-ЦНИИ (рисунок 1.2) друга гальмівна позиція здійснює інтервально-прицільне гальмування, завдяки чому з'явилася можливість враховувати наявність відчепів, що рухаються, у всій зоні нижче другої гальмівної позиції, а також особливості кожного маршруту і зупинку відчепів на уповільнювачах третьої гальмівної позиції.

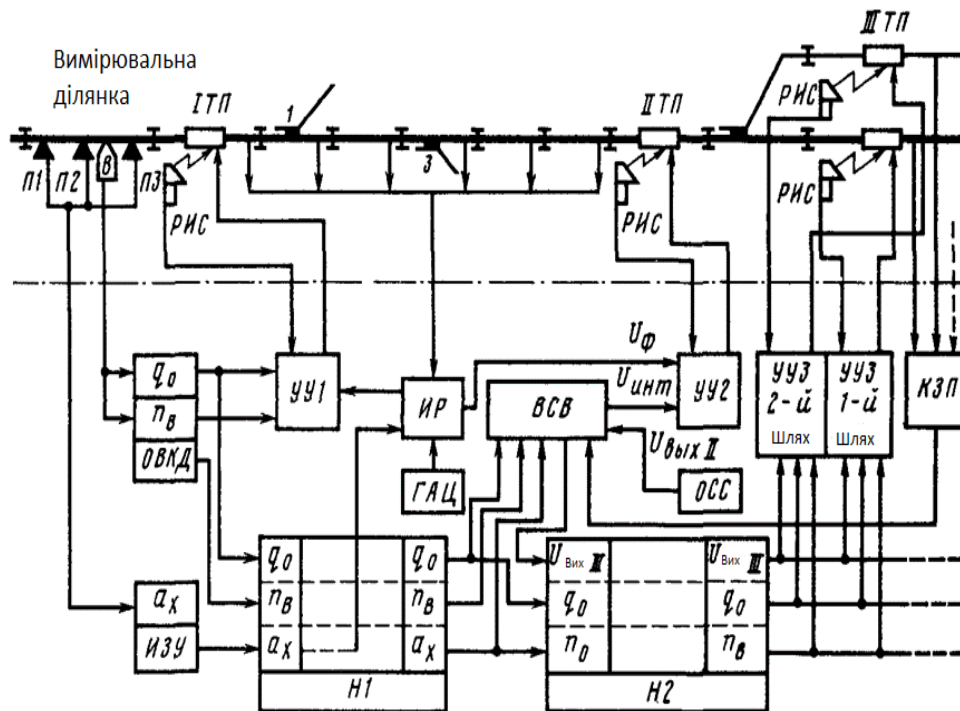


Рисунок 1.2 – Структурна схема АРШ-ЦНИИ

Система АРШ-ЦНИИ працює спільно з пристроями ГАЗ та побудована на безконтактних елементах, герконових та електромагнітних реле. Прискорення

руху відчепа, його довжина і вагова категорія визначаються на вимірjuвальній ділянці за вершиною гірки, де встановлені вагомір і шляхові датчики П1, П2, П3, пов'язані з пристроєм вимірjuвання прискорення ІЗУ і визначником вагової категорії  $q_0$  та довжини  $n_b$  [2; 5].

Вимірні дані надходять у пристрій управління 1ТП УУ1, де обчислюється швидкість виходу відчепа. Для цього передбачені пристрої інтервального регулювання ІР, котрі коригують розрахункові швидкості виходу відцепів з гальмівних позицій. Швидкість, обрана за умовами забезпечення інтервалу між відчепами, порівнюється з розрахунковою і вибирається оптимальна. У пристрої управління УУ1 порівнюються задана і фактична швидкості, вимірні швидкістю РІС, і, в залежності від їх різниці, здійснюється управління сповільнювачами 1ТП.

Інформація про прискорення, вагову категорію та довжину відчепа транслюється накопичувачами Н1 та Н2 за маршрутом скочування відчепа. Ця інформація з накопичувача надходить у пристрій обчислення швидкості виходу відчепа ВСВ з ПТП та ШТП.

Результати обчислення швидкості виходу відчепа з ВСВ надходять у пристрій управління ПТП УУ2 і транслюються за маршрутом проходження відчепа у пристрій управління ШТП УУ3, на якому остаточно коригується прицільне гальмування.

В основі системи лежить принцип автоматичного регулювання швидкості руху відцепів вагонними сповільнювачами із забезпеченням інтервалів між відчепами в розподільній зоні гірки та необхідної дальності пробігу відцепів при безпечній швидкості їхнього зіткнення на підгіркових шляхах [6].

Гальмівні позиції розташовуються у ряді локальних зон спускної частини гірки (дискретних точках), а не покриваючи всю довжину колій. Це означає, що пригальмувавши відчіп у зоні гальмівної позиції, треба добре прогнозувати його рух до наступної гальмівної зони і далі по сортувальному шляху.

Досвід експлуатації систем автоматичного регулювання швидкості (АРШ) руху відцепів свідчить про те, що якісне регулювання швидкості вагонів на

сортувальних гірках має забезпечувати добре прогнозування динаміки руху рухомих одиниць, оскільки більшу частину шляху відчепи скочуються поза зонами управління ними.

#### **1.4 Принцип дії та різновиди тензометричних датчиків**

Сучасні системи автоматичного управління безпеки і контролю руху поїздів та відчепів повинні давати більш повну інформацію про їх рух, особливо у складних умовах навколишнього середовища. Вони мають виконувати ще такі функції, як: контроль зайнятості залізничних колій вагонами різного типу; вимірювання швидкості руху відчепів під час входу та виходу із зони гальмування; контроль мимовільного відчепу вагонів; здатність ідентифікувати різні типи рухомого складу.

Існуючі датчики контролю руху залізничного транспорту, які зараз застосовують на залізниці, не відповідають більшості вимог. Тому в останні роки ведуться пошуки інших шляхів розв'язання цієї проблеми надійного контролю за рухом і розміщенням рухомого складу на територіях залізничних сортувальних гірок.

Тензометричний датчик (тензодат від лат. *tensus* — напружений датчик, який перетворює величину деформації у зручний для вимірювання сигнал (зазвичай електричний), основний компонент тензометра (прилад для вимірювання деформацій). Тензодатчик застосовується при дослідженні розподілу деформацій в деталях машин, конструкцій і споруд, а також при механічних випробуваннях матеріалів.

Існує багато способів вимірювання деформацій: тензорезистивні, оптико-поляризаційні, волоконно-оптичні, або прості зчитування показань з лінійки механічного тензодатчика. Найпоширенішими є електротензометри-опори, основним елементом яких служить тензорезисторний датчик.

Тензометричний датчик являє собою підкладку, на яку наклеєно декілька витків тонкого проводу (спеціальний сплав), або металевої фольги (рисунок

1.3 б). Датчик наклеюється на чутливий елемент, що сприймає навантаження  $F$ , з орієнтацією довгої осі датчика по лінії дії сили, що контролюється. Цим елементом може бути будь-яка конструкція, що перебуває під впливом сили  $F$  і працює в межах пружної деформації. Цієї ж деформації зазнає і тензодатчик, при цьому провідник датчика довшає або скорочується по довгій осі його установки. Останнє приводить до зміни його омичного опору.

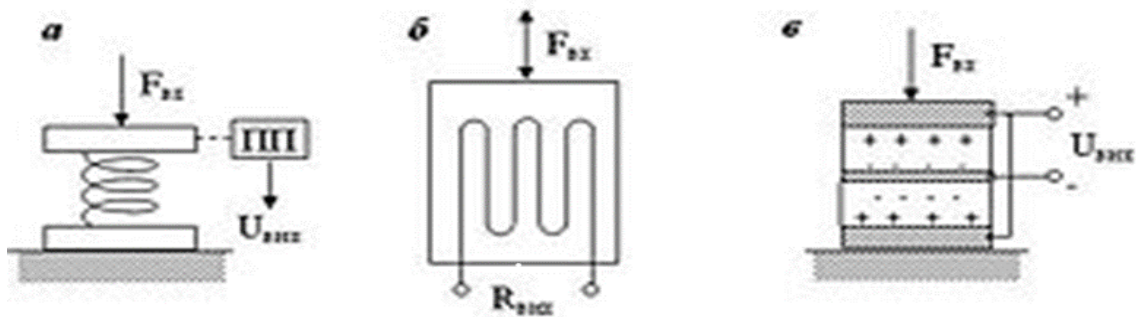


Рисунок 1.3 – Датчики механічних зусиль: а – з пружним елементом і перетворювачем переміщення (ПП); б – тензометричний; в – п'єзометричний

Тензорезистор є основною складовою частиною тензодатчиків, що застосовуються для непрямого вимірювання сили, тиску, ваги, механічних напружень тощо.

Види тензометричних датчиків за критеріями

За типом вимірюваної величини:

- **датчики деформації** – вимірюють деформацію матеріалу;
- **датчики сили** – вимірюють силу, що діє на матеріал;
- **датчики тиску** – вимірюють тиск на поверхню.

За конструкцією:

- **металеві фольгові тензометри** – виготовлені з тонкої металевої фольги, нанесеної на підкладку. Вони є найбільш поширеними завдяки своїй простоті та надійності;

- **плівкові тензометри** – виготовлені з тонких плівок, зазвичай на основі полімерних матеріалів, що робить їх гнучкими та придатними для використання на нерівних поверхнях;
- **напівпровідникові тензометри** – виготовлені з кремнію або інших напівпровідників. Вони мають вищу чутливість порівняно з металевими, але є більш дорогими та чутливими до температурних змін.

За способом монтажу:

- **поверхневі тензометри** – наклеюються на поверхню матеріалу;
- **вбудовані тензометри** – вмонтовуються безпосередньо в матеріал під час його виготовлення.

За застосуванням:

- **статичні тензометри** – використовуються для вимірювання постійних або повільно змінних навантажень;
- **динамічні тензометри** – призначені для вимірювання швидкозмінних навантажень і ударів.

Тензодатчики (рисунок 1.4) можуть бути використані при контролі продуктивності стрічкових конвеєрів, вимірюванні маси транспортних засобів (автомобілів, залізничних вагонів), маси матеріалу в бункерах тощо.

Оцінка продуктивності конвеєра заснована на зважуванні певної ділянки навантаженої матеріалом стрічки при постійній швидкості її руху. Вертикальне переміщення вагової платформи (2), встановленої на пружних зв'язках, викликане масою матеріалу на стрічці, передається на плунжер індукційно-трансформаторного перетворювача (ІТП), який формує інформацію на вторинний прилад ( $U_{\text{вих}}$ ). Для зважування залізничних вагонів, навантажених автомобілів вагова платформа (4) спирається на тензометричні блоки (5), що являють собою металеві опори з наклеєними тензометричними датчиками, які випробовують пружну деформацію, що залежить від маси об'єкта зважування [7; 8; 9].

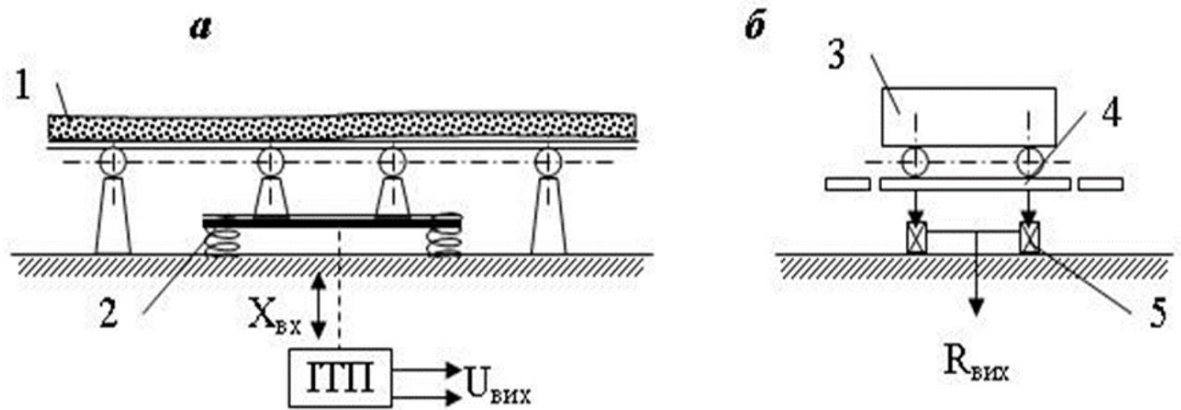


Рисунок 1.4 – Варіанти використання тензодатчиків: а – контроль продуктивності стрічкових конвеєрів; б – вимірювання ваги вагона; 1 – стрічковий конвеєр; 2 – вагова платформа з пружними елементами; 3 – вагон; 4 – вагова платформа; 5 – тензометричний блок

Тензометричні датчики є незамінними інструментами для забезпечення безпеки та ефективності в багатьох технічних і наукових сферах.

## 1.5 Висновки за розділом 1

Одне з головних призначень сортувальної станції полягає у прийомі поїздів, які підлягають розформуванню, потрібно провести розформування поїздів шляхом роз'єднання їх на групи вагонів та напрямку кожної групи на певні шляхи, на яких складаються поїзди нових призначень з подальшим відправленням їх за маршрутом.

В сучасних умовах ці показники необхідно оцінювати не лише для перегонів, а й окремо для станцій. Таким чином, для сортувальних станцій встановлюються наступні показники:

- 1) пропускна здатність горловин прийому сортувальних станцій;
- 2) провізна здатність горловин прийому сортувальних станцій.

Від того, як ефективно функціонують механізовані та автоматизовані сортувальні гірничі комплекси, залежать підсумки роботи всієї мережі залізниць.

Система АРШ підтримує необхідні інтервали між відчепами, забезпечує необхідну дальність пробігу відчепів, а також безпечну швидкість їх зіштовхування з вагонами на сортувальних коліях сортувальної гірки.

Система АРШ розраховує показники швидкості відчепів під час виходу з гальмівних позицій, що забезпечують виконання маршрутів скочування відчепів на стрілочних переведеннях, безпечного з'єднання вагонів на сортувальних коліях та здійснює автоматичне управління уповільнювачами. Це забезпечує реалізацію заданих значень швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій.

Аналіз систем управління розформуванням рухомого складу потягів показав, що існує багато автоматизованих систем управління, але усі вони дорогі в закупівлі та обслуговуванні. Для того, щоб ввести систему управління на сортувальну гірку, повинен бути спочатку проект, який повинен відповідати всім вимогам, відповідати завданням, які ця система повинна виконувати, відповідати умовам навколишнього середовища, де буде застосовуватися система управління, нормам та параметрам, які розраховані на підставі скочування розрахункової групи відчепів. Автоматизація сортувальних гірок є важливою частиною роботи станцій.

Тому для ефективного управління на сортувальних гірках використовують датчики. Датчики для використання в автоматизованій системі розпуску вагонів здатні проводити дистанційний контроль наявності рухомого складу на залізничних гірках і стрілках, а також контроль швидкості відчепів при проходженні гальмівної позиції.

## 2 СТРУКТУРА ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ ВИМІРЮВАЧА ВАГИ ВІДЧЕПІВ

### 2.1 Структура та принцип дії вимірювача ваги відчепів

В рамках даної дипломної роботи був розроблений вимірювач ваги відчепів, структурна схема якого представлена на рисунку 2.1.

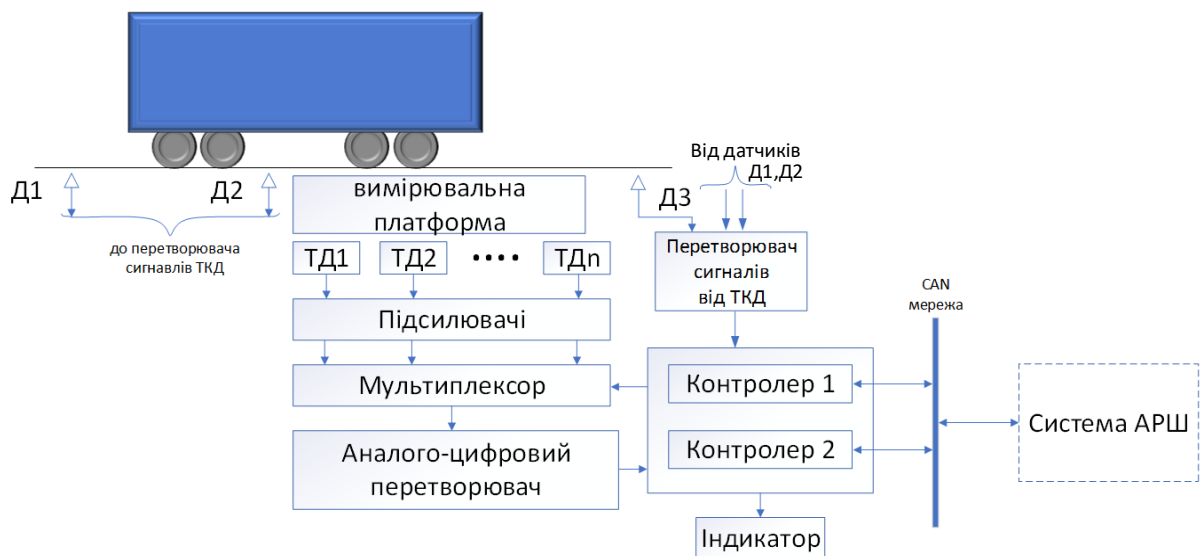


Рисунок 2.1 – Структура та принцип дії вимірювача ваги відчепів

Структурні вузли вимірювача:

Точкові колійні датчики Д1, Д2, Д3 використовуються для підрахунку колісних пар, візків та вагонів у відчепі, визначення моменту часу, коли візок вагона проїжджає по вимірювальній платформі.

Перетворювач сигналів від точкових колійних датчиків (ТДК) забезпечує перетворення вихідних сигналів датчиків у стандартні цифрові сигнали ТТЛ-рівня; забезпечує також гальванічну розв'язку між датчиками та контролером.

Особливості перетворювачів сигналів:

- компактність;
- висока швидкість перетворення сигналів;
- простота у використанні;

- тривалий термін служби.

Вимірювальна платформа забезпечує передачу механічного навантаження від вузла вагона до тензодатчиків. Зважування відбувається на вузлах, тобто, кожен візок зважується окремо, після цього визначається вага кожного вагона і відчепа вцілому. Довжина вимірювальної платформи обирається більше, ніж максимально можлива довжина візка вагона.

Тензометричні датчики ТД1, ТД2..., ТДn змінюють свій опір відповідно до механічного навантаження від вимірювальної платформи. За допомогою мостових перетворювачів формуються електричні сигнали, пропорційні змінні опорів датчиків.

Підсилювачі збільшують потужність вихідних сигналів тензодатчиків. Аналоговий сигнал з тензодатчиків перетворюється до рівнів 0...5 В. Це відбувається за допомогою підсилювачів та передається для перетворення сигналу у цифровий вигляд для здійснення аналізу. Цей аналіз відбувається у цифровому сигнальному процесорі.

Мультиплексор виконує комутацію одного із вхідних сигналів на загальний вихід, передає сигнал до АЦП. Тобто, це пристрій, який має в будові кілька входів і один вихід. Таке каскадування дає змогу здійснити комутацію довільного числа вхідних ліній на основі серійних мікросхем мультиплексора меншої розрядності.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) перетворює вихідні сигнали тензодатчиків у цифрові кодові комбінації. Оцифрування сигналів відбувається по черзі, відповідно до стану мультиплексора.

Індикатор забезпечує відображення інформації про вагу відчепа.

Контролер виконує наступні функції:

- за сигналами від точкових колійних датчиків фіксує наявність візка на вимірювальній платформі;
- керує мультиплексором;
- обробляє сигнали від тензодатчиків, визначає вагу кожного візка, кожного вагона та відчепа вцілому;

- керує індикатором для відображення інформації про вагу відчепа;
- передає інформацію про вагу відчепа до системи АРШ.

Для забезпечення високої надійності та достовірності даних використовуються два ідентичних контролери.

## **2.2 Алгоритм роботи вимірювача ваги відчепів**

Принцип алгоритму ґрунтується на циклічному отриманні, порівнянні та обробці даних, які надходять від колійних датчиків до системи АРШ (рисунок 2.2).

За рахунок того, що є два контролера, забезпечується висока надійність і більш висока достовірність даних, які отримуються, тобто, отримані дані більш достовірні. Залежно від того, які сигнали формують датчики, буде визначатись чи є або немає візка в зоні вимірювальної платформи. Отже, відбувається постійний моніторинг чи є візок, чи його немає на вимірювальній платформі. Якщо візка немає, то система і далі опитує датчики по лінії. Як тільки система визначає, що візок проїжджає по платформі вимірювання, то знову опитуються тензодатчики. Напруга вихідного сигналу тензодатчиків за допомогою пристроїв перетворюються на цифрові комбінації і визначається вага одного візка. Далі відбувається алгоритм підрахунку осей вагонів та відчепів, а також алгоритм розчепу. Як тільки система зчитує, що цей візок останній у відчепі, після цього визначається вага всього відчепу. Якщо візок не останній, то система чекає інший візок. Відбувається опитування датчиків знову і збирається інформація, чи є візок або його немає на вимірювальній платформі. Як тільки проїхали всі візки, визначається загальна вага відчепа. Щоб уникнути небезпечних ситуацій, які можуть статися з неправильним підрахунком і передачею сигналів, завжди визначається вага з двох контролерів. Інформація найбільшого значення ваги відчепа передається до системи АРШ. В залежності від ваги відчепа, система визначає ступінь гальмування.

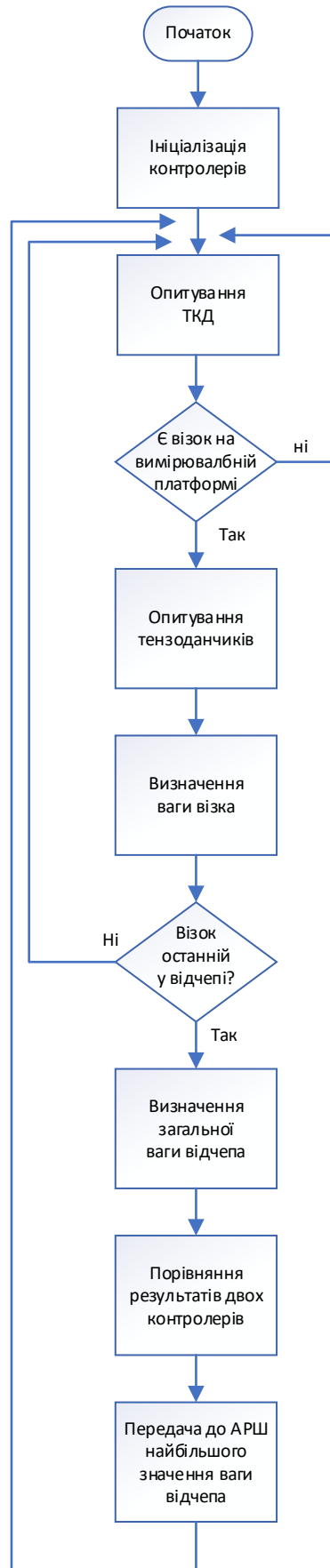
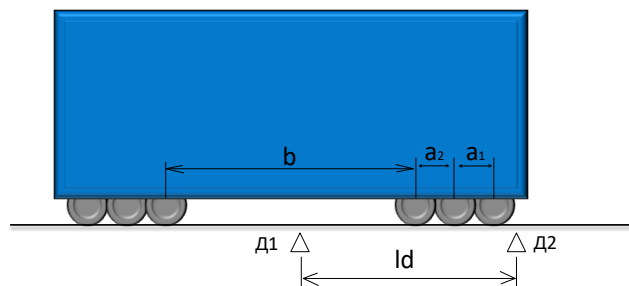


Рисунок 2.2 – Алгоритм роботи вимірювача ваги відчепів

### 2.3 Алгоритм визначення кількості осей, візків та вагонів у відчепі

В даній роботі був розроблений алгоритм підрахунку візків та вагонів у відчепі. Для підрахунку візків та вагонів використовуються два точкових датчика, схема розташування яких зображена на (рисунок 2.3). Датчики Д1 та Д2 визначають проїзд візка. Датчики визначають колісну пару – логічну одиницю, коли є колісна пара, та, відповідно, логічний нуль, коли немає колісних пар. Осі може визначати один датчик. Для того, щоб знати, чи проїхав візок в цілому або вагон, необхідно знати скільки всього осей колісних пар у візках. Існують різні конструкції вагонів з різною кількістю осей, тому наперед невідомо скільки осей у візку для вагону, який рухається. Відповідно, для того, щоб визначити скільки осей у візку даного вагону, проводять аналіз сигналів, які надходять з датчиків. Знаючи скільки осей у візку, можна підрахувати скільки всього візків у вагоні, тип вагона [13; 14; 15].

а)



б)

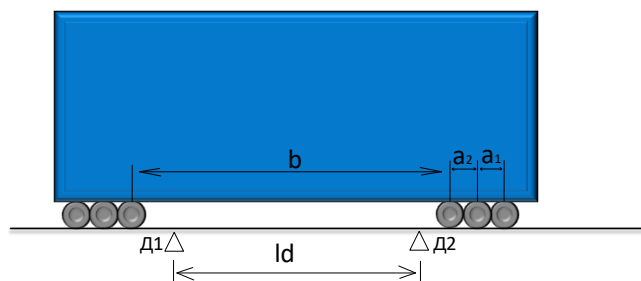


Рисунок 2.3 – Розташування візка на ділянці контролю: а – візок в зоні дії датчиків; б – проміжок між візками, перший візок проїхав, а інший візок не заїхав на ділянку контролю, тобто, проїхав повністю вагон

Два перші датчика використовуються для підрахунку візків та вагонів у відчепі (рис.2.3.а). Між осями у візку є певні міжосеві відстані  $a_1$  та  $a_2$  – це відстані між осями у візку, а  $b$  – це відстань між двома крайніми осями візків у вагоні, тобто, це значення внутрішньої відстані.

Дуже важливо розташувати датчики вірно для підрахунку осей у вагоні. Датчики розташовані на певній відстані ( $ld$ ) один від одного.

Існує принцип підрахунку осей у вагоні  $a_i < ld < b$ . Якщо число осей, які проїхали над першим датчиком, дорівнює числу осей, що проїхали над другим датчиком, то на цій ділянці немає осей. Тобто, ділянка є вільною.

Цей принцип полягає в тому, що підраховується число осей, які проїхали перший датчик та які проїхали другий датчик. Якщо ці числа не однакові на датчиках, то є ще одна колісна пара, одна ось, а якщо проїхав увесь візок, то утворюється великий інтервал між першим і другим візком, і між датчиками немає колісних пар. Як тільки це відбулось, звільняється ділянка Д1 та Д2.

Після цього можна зробити висновок, що візок проїхав повністю, і скільки осей має візок. Визначається осність першого візка і далі підраховується скільки осей у другому візку. Коли через ділянку контролю проїхав перший та другий візок, то можна зробити висновок, що проїхав вагон повністю, і так продовжується підрахунок вагонів і далі.

Проаналізувавши таблицю (таблиця 2.1), можна припустити, що за принципом  $a_1 < ld < b$ , оптимальна відстань між датчиками становить 2500 мм.

В даній роботі була розроблена блок-схема алгоритму для підрахунку візків у відчепі (рисунок 2.4).

Принцип дії алгоритму ґрунтується на циклічному отриманні, порівнянні та обробці даних, які надходять від колійних датчиків.

$N_1$  – кількість колісних пар, що пройшла над датчиком D1

$N_2$  – кількість колісних пар, що пройшла над датчиком D2

$N_t$  – кількість візків

$N_v$  – кількість вагонів

Таблиця 2.1 – Міжосьові відстані вантажних вагонів

Кількість осей у вагоні	Тип вагона	a1, мм	a2, мм	a3, мм	b, мм
4-х осні	12-7023	1850			8650
	12-783	1850			8650
6-осні	10-475	1850	1850		5650
	Вагон-самоскид (ДУМПКАР), модель 33-7141	1700	1700		9340
8-осні	Транспортер 14-6055 платформенного типу	1850	1350	1850	21050
	Транспортер 14-6056 колодецького типу	1850	1350	1850	21050

Всім змінним спочатку присвоюється значення 0, тобто немає жодних візків та осей в зоні дії системи.

Далі опитується перший датчик D1, якщо проїжджає колісна пара, то датчик видає 1, якщо ні, то датчик видає 0, тобто перевіряється, чи спрацював датчик D1 чи ні. Якщо датчик D1 не спрацював, то перевіряють другий датчик D2, чи спрацював він чи ні. Якщо датчик D2 не спрацював, то йде знову опитування датчиків. Як тільки D1 спрацював, то число осей, що проїхало над першим датчиком, збільшується на 1, тобто  $N1 := N1+1$  – це операція інкрементування.

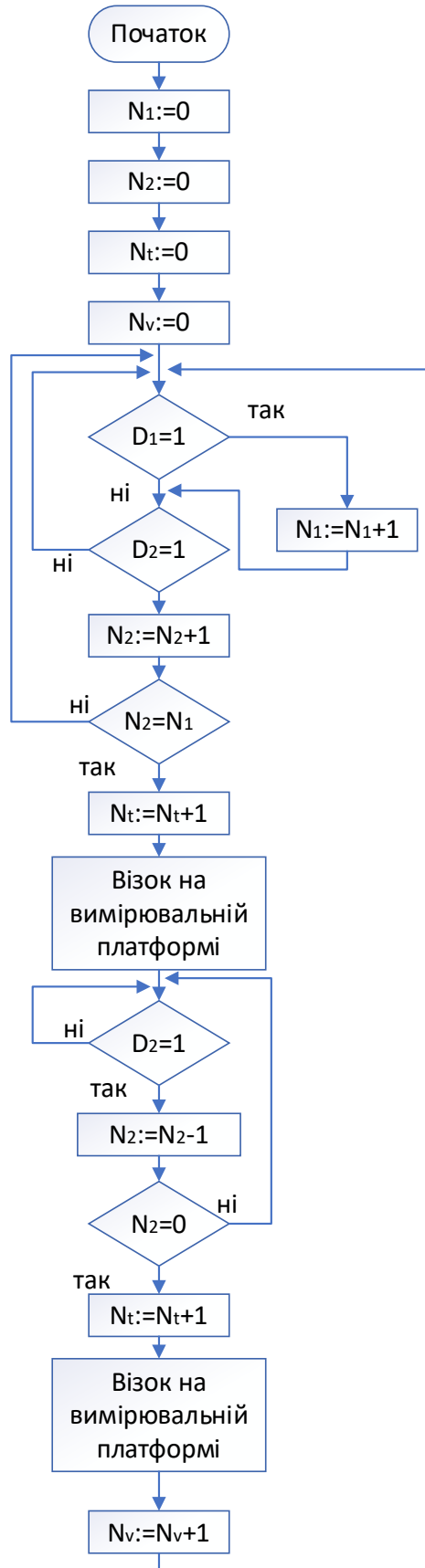


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму для підрахунку візків та вагонів у відчепі

Як тільки колісна пара проїхала над другим датчиком, то  $N2: = N2+1$ . Тільки візок проїхав контрольну ділянку, то  $N2 = N1$ , як тільки число осей вирівнюється, то можна зробити висновок, що візок повністю проїхав. До тих пір, поки цього не сталося, іде постійна перевірка датчиків. Як тільки число осей стає однаковим  $N2 = N$ , візок проїхав, і кількість візків збільшується на 1, тобто  $Nt: = Nt + 1$ .

Далі іде команда, що візок на внутрішній платформі проїхав датчики, заїжджає на вимірювальну платформу, і йде вимірювання ваги цього візка за допомогою тензодатчиків.

Далі йде опитування лише датчика D2. Після спрацювання другого датчика виконується операція декремент  $N2: = N2-1$ .  $N2$  – це фактичне число осей у візку. Як тільки проїхав другий візок над другим датчиком,  $N2 = 0$  – це означає, що проїхав другий візок, кількість візків збільшується ще на 1, тобто  $Nt: = Nt+1$ .

Це означає, що є інформація про те, що візок є на вимірювальній платформі, і те, що вагон проїхав вцілому. Знову система опитує датчики і чекає проїзду нового вагону.

## **2.4 Висновки за розділом 2**

В межах даної роботи була розроблена структурна схема вимірювача ваги. В будові вимірювача ваги відчепів можна виділити такі структурні вузли: точкові колійні датчики, перетворювач сигналів від точкових колійних датчиків, вимірювальна платформа, тензометричні датчики, підсилювачі потужності вихідних сигналів тензодатчиків, мультиплексор, аналого-цифровий перетворювач, індикатор забезпечення відображення інформації про вагу відчепа, контролер для надійності результатів.

Щоб уникнути небезпечних ситуацій, які можуть виникати на залізниці, пов'язаних з неправильним підрахунком і передачею сигналів, є алгоритм роботи вимірювання ваги відчепів. Принцип дії алгоритму ґрунтується на

циклічному отриманні, порівнянні та обробці даних, які надходять від колійних датчиків до системи АРШ. В залежності від ваги відчепа, система визначає ступінь гальмування відчепа для запобігання небезпечних ситуацій.

Саме від технічних характеристик точкових колійних датчиків, їх розташування на рейках залежить правильність підрахунку осей візку у вагоні, який рухається, аналізуючи сигнали, які надходять від датчиків. Знаючи скільки осей у візку, можна підрахувати скільки всього візків у вагоні та визначити тип вагона.

## 3 ПЕРВИННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ВИМІРЮВАЧА ВАГИ ВІДЧЕПІВ

### 3.1 Вибір типу та кількості тензометричних датчиків

В даній роботі розглянуто характеристики різних типів вантажних вагонів та визначено максимально можливе навантаження на один візок вагона (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристики різних типів вантажних вагонів

Тип вагону	Вага вагону, т	Завантаження, т	Максимальне навантаження на один візок, т
Критий вагон			
11-217	23	68	45,5
11-066	22	66	44
11-K001	23	68	45,5
11-264	25	68	46,5
11-270	24,5	69	46,7
11-276	26	68	47
11-260	26	68	47
Полувагон			
12-783	24	70	47
12-7023	23,7	70,3	47
12-7023-01	23,5	70,5	47
Платформа			
13-401	20,92	70	45,4
13-4012	20,92	72	46,4
13Н-541	21,3	63	42,1

Для побудови вимірювача ваги обираємо тензодатчики Zemic HM9B-C3-20t (рисунок 3.1, рисунок 3.2) [18; 19; 20].



Рисунок 3.1 – Тензодатчик HM9B

Тензодатчики (тензометричні датчики) є основним первинним пристроєм перетворення фізичної величини ваги в нормований електричний сигнал. Сигнал з тензодатчика згодом обробляється вторинними перетворювачами (аналого-цифровий перетворювач і т.д.).

Датчик навантаження з двома балками зсуву з легованої сталі IP68, має високу точність та підходить для вантажівок, треків та інших електронних ваг (таблиця 3.2) [13].

Тензодатчики (тензометричні датчики) представляють собою пружний елемент, на якому зафіксований тензорезистор, під дією сили (вага вантажу) відбувається деформація пружного елемента разом з тензорезистором. По зміні опору тензорезистора можна обчислити ступінь деформації, який буде пропорційним силі, яка додається до конструкції (рисунок 3.2).

Таблиця 3.2 – Специфікація тензодатчика НМ9В

Клас точності		OIML R60 C3	
Вихідна чутливість ( = FS )	mV/V	2.0 ± 0.002	
Максимальна місткість ( E <sub>max</sub> )	t	10, 20, 25	30, 40 SE, 40, 50
Максимальна кількість інтервалів тензодатчиків ( n <sub>LC</sub> )	n/c	3000	
Відношення мінімального інтервалу перевірки LC Y = E <sub>max</sub> / v <sub>min</sub>	Y	15000	7500
Комбінована помилка	%FS	≤ ± 0.023	
Мінімальне постійне навантаження	t	0	
Безпечне перевантаження	of E <sub>max</sub>	150 %	
Кінцеве перевантаження	of E <sub>max</sub>	300 %	
Нульовий баланс	of FS	≤ ± 1.5 %	
Збудження, рекомендована напруга	V	5 ~ 12	
Максимальне збудження	V	18	
Вхідний опір	Ω	700 ± 7	
Вихідний опір	Ω	700 ± 7	
Опір ізоляції	MΩ	≥ 5000 ( at 50VDC )	
Температурний діапазон, компенсований	°C	-10 ~ +40	
Температурний діапазон, експлуатаційний	°C	-35 ~ +65	
Матеріал елемента		Alloy steel	
Захист від проникнення (відповідно до EN 60529)		IP68	

Принцип вимірювання ваги за допомогою тензодатчиків заснований на врівноважуванні маси вантажу, що зважується з пружною механічною силою тензодатчиків, і подальшому перетворенні цієї сили в електричний сигнал для наступної обробки.

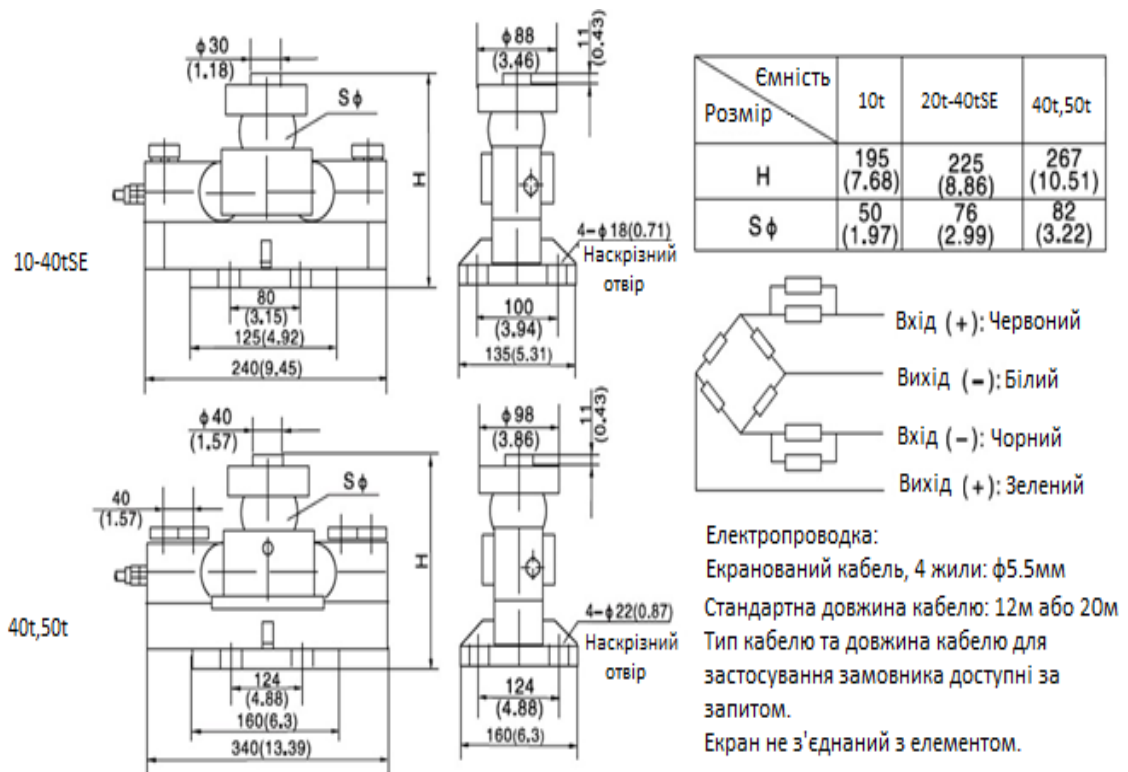


Рисунок 3.2 – Габаритні розміри тензодатчика в мм (дюймах)

В залежності від того, яке максимальне навантаження на візок, стільки потрібно взяти тензодатчиків. Кожний тензодатчик вимірює вагу до певного значення. Проаналізувавши характеристики різних типів вантажних вагонів та визначивши максимальне навантаження на один візок, т, можна розрахувати скільки тензодатчиків необхідно використовувати для вимірювальної платформи.

Для вимірювальної платформи обираємо п'ять датчиків Zemic NM9B-C3-20t, кожен з яких має максимальне навантаження у двадцять тонн.

### 3.2 Структура, принцип дії та технічні характеристики точкового колійного датчика ДПД-01

В якості точкових колійних датчиків пропонуємо використовувати датчики ДПД-01, які забезпечують високу точність фіксації осі колісної пари.

Сімейство датчиків серії ДПД-01 представлено датчиками ДПД-01-02, ДПД-01-03, які використовуються на рейках Р65, Р75 і датчиками ДПД-01М-02, ДПД-01М-03, які використовуються на рейках Р50 (рисунок 3.3). Вихідний сигнал – імпульс напруги (дві півхвилі позитивної і негативної полярності). Зміна полярності відбувається в момент проходження осі колеса над центром датчика. Порядок чергування полярності півхвиль визначається напрямком руху поїзда. Амплітуда вихідного сигналу і довжина зони чутливості датчика не залежать від швидкості рухомої одиниці. Датчики забезпечують автоматичне встановлення нульового рівня вихідного сигналу для компенсації впливу зовнішніх впливів. Датчик має обмеження по мінімальній швидкості рухомих одиниць, що реєструються – не менше 1 км/год.

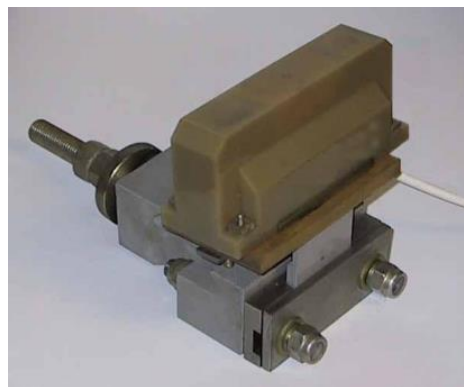


Рисунок 3.3. – Зовнішній вигляд точкового датчика

Мінімальна відстань між геометричними центрами, на які можна зближувати однотипні датчики (коливальні контури однакової частоти), становить 50 см. Зближення різнотипних датчиків (коливальні контури різної

частоти) обмежується лише габаритами самих датчиків і струбцин (можливе зближення до 20-25 см).

З урахуванням спотворення сигналу та перешкод, що наводяться в інформаційному каналі, його довжина від клем датчика до зовнішніх пристроїв обробки сигналу не повинна перевищувати 50 м (для кабелю типу СБПуэ-5 ТУ У 31.3-00214534-008-2001).

Датчик не вимагає частих додаткових профілактичних операцій підстроювання, проте, при використанні датчика на вантажонапружених маршрутах в якості елемента синхронізації вимірювальної апаратури, точність встановлення датчика на рейку повинна контролюватися не рідше одного разу на тиждень, аби забезпечити необхідну точність показів датчика та його захищеність (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики точкового датчика ДПД-01

Технічні характеристики	
Напруга живлення	12±10% В
Час готовності до роботи після подачі живлення, не більше	1 хв.
Максимальний струм споживання	30 мА
Максимальний рівень вихідного сигналу при наявності колеса:	
- для позитивної півхвилі	> 10 В
- для негативної півхвилі	< -9 В
Внутрішня частота генератору:	
ДПД-01-02, ДПД-01-02М	36 ± 5%
ДПД-01-03, ДПД-01-03М	40 ± 5%
Опір навантаження, не менше	20 кОм

У 2014 році додатково до серійного датчика ДПД-01 на ринок випущена його модернізація – датчик ДПД-01-1 з наступними відмінностями:

1. Збільшений діапазон робочих температур з  $(-40 \dots +85)^{\circ}\text{C}$  до  $(-50 \dots +85)^{\circ}\text{C}$ .
2. Збільшений діапазон припустимої напруги живлення з фіксованої 12 В до  $(12 \dots 24)$  В.
3. Введений захист кабелю гнучкою морозотривкою гофротрубкою, стійкою до впливу ультрафіолету, мастила і бензину .
4. Збільшена стійкість до впливу електромагнітного випромінювання.
5. Знижений розмах пульсаційної складової на виході датчика.
6. Нижня межа швидкості колеса, що реєструється, така ж, як і у датчика ДПД-01 — 1 км/год.

Датчик оснащений чотирьох провідним кабелем. Сигнал, який знімається з додаткового четвертого проводу, можна використати для виявлення:

1. зміни положення датчика відносно рейки;
2. наявності сторонніх металевих предметів на поверхні датчика;
3. відмови датчика або зміни його характеристик, на які слід звернути увагу;
4. факт зупинки колеса рухомої одиниці над датчиком. [9]

Переваги датчика ДПД-01: стабільність визначення моменту проходу осі симетрії колеса над центром датчика для рухомих одиниць поїзда; висока стійкість до ускладнень від зовнішніх електричних та магнітних полів; стійкість до тягових струмів і імпульсних перешкод, які створюються іскровим розрядом; стійкість до вібраційних та ударних навантажень на рейку; амплітуда вихідного сигналу і зона чутливості датчика не залежать від швидкості руху поїзда; швидка і проста установка на рейки.

### **3.3 Висновки за розділом 3**

В межах даної роботи була розглянута структура, принцип дії та технічні характеристики точкового колійного датчика ДПД-01, розглянуті

характеристики різних типів вантажних вагонів та визначено максимально можливе навантаження на один візок вагона.

Кожний тензодатчик вимірює вагу до певного значення. Проаналізувавши характеристики різних типів вантажних вагонів та визначивши максимальне навантаження на один візок, т, можна розрахувати скільки тензодатчиків необхідно використовувати для вимірювальної платформи.

Тензодатчики мають високу стійкість до ускладнень від зовнішніх електричних та магнітних полів; стійкість до тягових струмів і імпульсних перешкод, які створюються іскровим розрядом; стійкість до вібраційних та ударних навантажень на рейку; амплітуда вихідного сигналу і зона чутливості датчика не залежать від швидкості руху поїзда; швидка і проста установка на рейки.

## 4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ ВУЗЛІВ ВИМІРЮВАЧА ВАГИ ВІДЧЕПІВ

### 4.1 Перетворювач сигналів точкових колійних датчиків

В рамках даної роботи були розроблені структурні вузли вимірювача ваги відчепів: перетворювач сигналів ТКД, підсилювач сигналів тензодатчиків та цифровий модуль зі схемою індикації та CAN-трансивером.

Перетворювач датчика ДПД – 01 перетворює аналоговий вихідний сигнал датчика в стандартний цифровий сигнал, який передається до входу мікроконтролера. Датчик формує двополярний вихідний сигнал (рисунок 4.2).

Перетворювач містить наступні складові частини:

1. вхідний підсилювач на базі операційного підсилювача DA1;
2. компаратори напруги DA2 та DA3;
3. транзисторні оптрони DA4 та DA5;
4. RS-тригер DD1.

Операційний підсилювач DA1 включений за інвертуючою схемою. За допомогою змінного резистора R5 регулюється коефіцієнт підсилення підсилювача та змінюється рівень сигналу на виході підсилювача. Балансування схеми здійснюється за допомогою змінного резистора R3.

Для захисту операційного підсилювача від великої вхідної напруги використовується двохсторонній амплітудний обмежувач на стабілітронах VD1 та VD2.

На виході датчика ДПД-01 при проїзді колісної пари формується двополярний вихідний сигнал (рисунок 4.2).

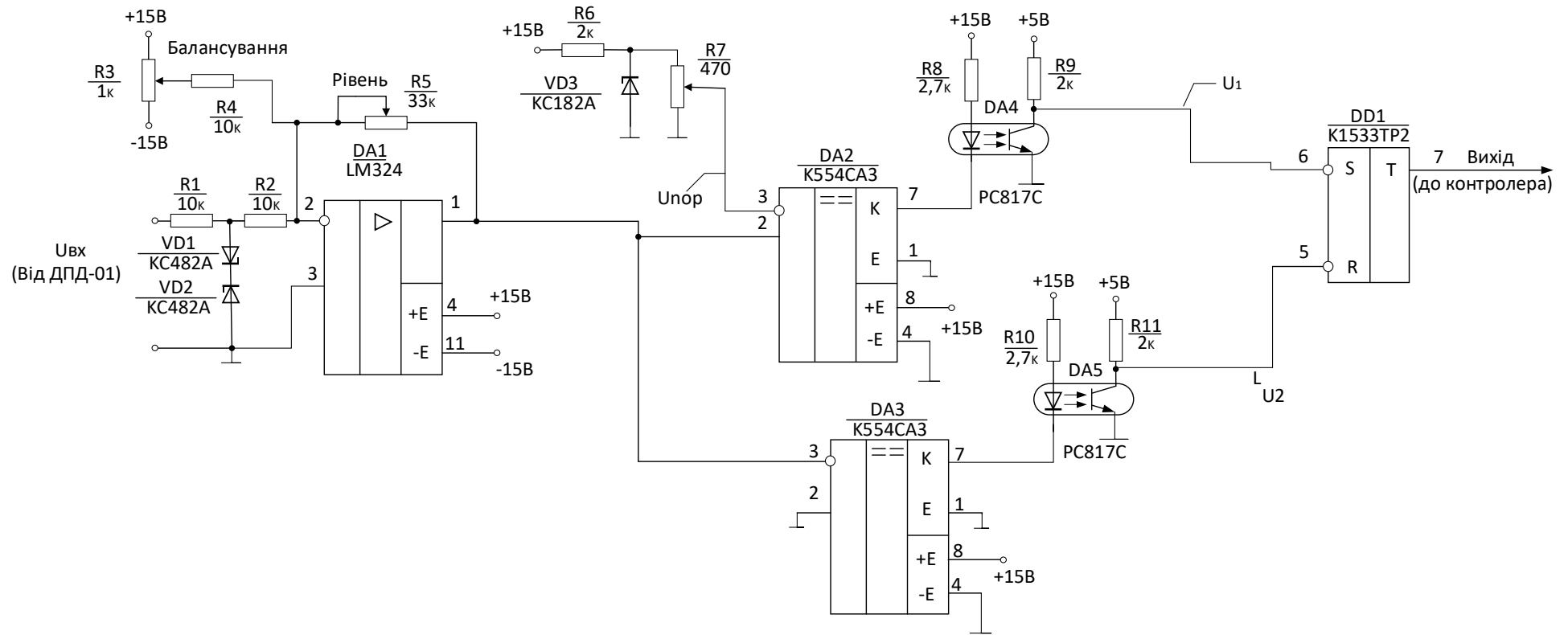


Рисунок 4.1 – Принципова електрична схема перетворювача сигналів точкового колійного датчика ДПД-01

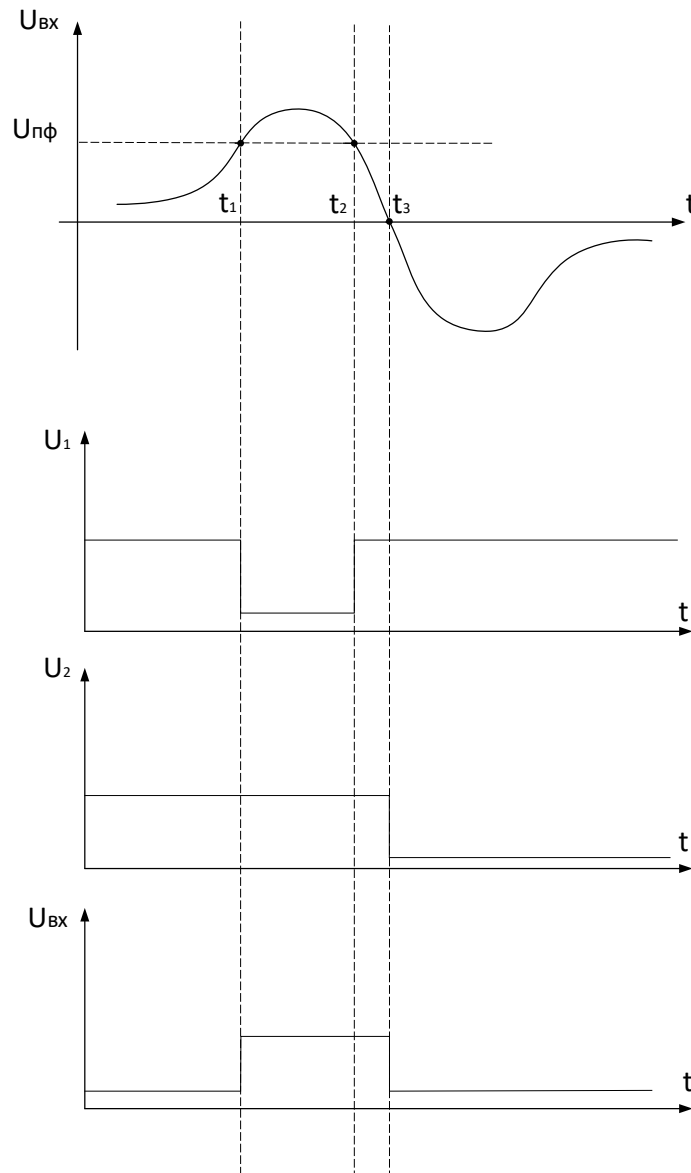


Рисунок 4.2 – Часові діаграми напруг

Коли напруга на виході датчика перевищує порогове значення  $U_{пор}$ , спрацьовує компаратор DA2, що призводить до включення оптрона DA4. На виході оптрона DA4 з'являється рівень логічного нуля. При цьому тригер DD1 переключається в стан логічної одиниці, на виході перетворювача формується рівень логічної одиниці. Для стабілізації та регулювання порогової напруги компаратора використовується стабілітрон VD3 та змінний резистор R7.

Коли на виході датчика ДПД-01 напруга стає менше нуля, спрацьовує компаратор DA3, включається оптрон DA5, на виході оптрона з'являється

рівень логічного нуля. При цьому відбувається скидання тригера DD1 і на виході перетворювача формується рівень логічного нуля.

Таким чином, при проходженні колісної пари над датчиком ДПД-01 на виході перетворювача формується прямокутний імпульс стандартного TTL-рівня. Зріз цього імпульсу відповідає моменту часу, коли колісна пара розташовується над центром датчика.

Завдяки використанню транзисторних оптронів DA4, DA5 забезпечується гальванічна розв'язка між аналоговою та цифровою частинами перетворювача.

#### **4.2 Підсилювач сигналів тензодатчиків**

Для підсилення сигналів тензодатчиків потрібен підсилювач сигналів, який суттєво впливає на точність вимірювання. Підсилювач повинен мати стабільний коефіцієнт підсилення. Вибір підсилювача залежить від чутливості тензодатчика та діапазону вхідного сигналу. Принципова електрична схема розробленого підсилювача сигналів тензодатчика представлена на рис. 4.3.

Підсилювач містить наступні елементи:

1. джерело опорної напруги 12 В на базі інтегрального стабілізатора DA3 78L12;
2. повторювач напруги на базі операційного підсилювача DA1.1;
3. диференційний підсилювач на операційних підсилювачах DA2.1 ; DA2.2;
4. підсилювач-обмежувач на базі операційного підсилювача DA1.2

Підсилювач забезпечує збільшення вихідного сигналу датчикі при повному навантаженні 20 тонн до рівня 5 В (максимального рівня напруги на вході аналого-цифрового перетворювача).

Для живлення тензодатчика використовується операційний підсилювач DA1.1, який включений за схемою повторювача напруги. Операційний

підсилювач подає на датчик опорну напругу  $U_0 = 12 \text{ В}$  та забезпечує необхідний струм для живлення датчика.

Диференційний підсилювач на DA2.1 та DA2.2 підсилює різницевий сигнал датчика. Для регулювання рівня сигналу на виході підсилювача використовується змінний резистор R1.

Остаточне підсилення виконує підсилювач-обмежувач DA1.2. Завдяки включенню стабілітронів VD1, VD2 в коло зворотного зв'язку підсилювача, виконується двохстороннє обмеження вихідного сигналу підсилювача на рівні 4,7 В, що забезпечує захист входу АЦП від перевантаження.

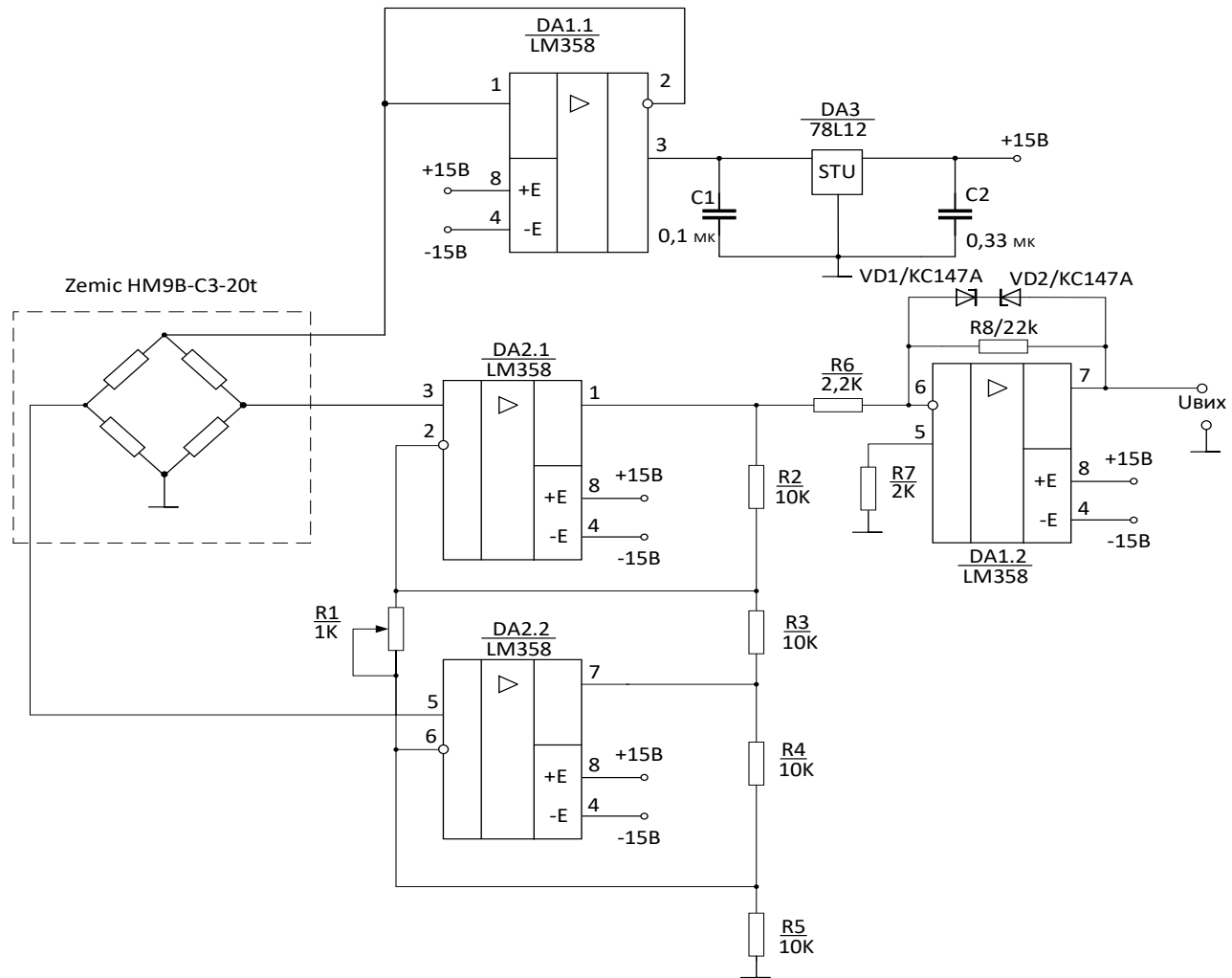


Рисунок 4.3 – Принципова електрична схема підсилювача сигналів тензодатчика

В даній роботі здійснений розрахунок підсилювача сигналів тензодатчика.

1. Визначаємо напругу на виході тензодатчика за умови максимального навантаження 20 тонн

$$U_g = K \cdot U_0 = 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 12 = 28,8 \cdot 10^{-3}(\text{В}) = 28,8(\text{мВ})$$

де  $K = 2,4 \text{ мВ/В}$  – чутливість тензодатчика;

$U_0 = 12$  – опорна напруга (напруга живлення тензодатчика).

2. Визначаємо необхідний коефіцієнт підсилення підсилювача

$$K_U = \frac{U_{\text{вих}}}{U_g} = \frac{5}{28,8 \cdot 10^{-3}} = 174$$

де  $U_{\text{вих}} = 5\text{В}$  – необхідна напруга на виході підсилювача (максимальна вхідна напруга для АЦП)

Будемо вважати, що диференціальний підсилювач на операційних підсилювачах  $DA2.1, DA2.2$  забезпечує коефіцієнт підсилення за напругою  $K_{U_1} = 20$ ; а підсилювач  $DA12$  має коефіцієнт підсилення  $K_{U_2} = 10$ . Тоді загальний коефіцієнт підсилення

$$K_{U_{\text{зар}}} = K_{U_1} \cdot K_{U_2} = 20 \cdot 10 = 200,$$

що більше ніж 174

3. Обираємо опір резистора  $R8 = 22 \text{ кОм}$

Визначаємо опір резистора  $R6$

$$R6 = \frac{R8}{K_{U_2}} = \frac{22}{10} = 2,2(\text{кОм})$$

4. Визначаємо опір резистора  $R7$

$$R7 = \frac{R6 \cdot R8}{R6 + R8} = \frac{2,2 \cdot 22}{2,2 + 22} = 2(\text{кОм})$$

5. Обираємо опори резисторів диференціального підсилювача

$$R2 = R3 = R4 = R5 = 10 (\text{кОм})$$

6. Визначаємо опір резистора  $R1$

$$R1 = \frac{R2}{0,5K_{U_1} - 1} = \frac{10}{0,5 \cdot 20 - 1} = 1,1(\text{кОм})$$

Для забезпечення регулювання коефіцієнту підсилення обираємо в якості  $R1$  змінний резистор  $R1$  з номінальним опором 1 кОм

7. Для побудови підсилювача будемо використовувати мікросхему  $LM358$ , яка представляє собою здвоєний операційний підсилювач та має наступні параметри:

коефіцієнт підсилення – 100 дБ;

коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу – 65 дБ;

частота одиничного підсилення - 1,1 МГц;

напруга живлення -  $\pm 1,5 \dots \pm 16$  В;

максимальний вихідний струм - 40 мА;

8. Визначаємо струм споживання тензодатчика

$$I_0 = \frac{U_0}{R_{\text{вх}}} = \frac{12}{700} = 0,017(A) = 17(\text{мА})$$

де  $U_0 = 12\text{В}$  – напруга живлення тензодатчика;

$R_{\text{вх}} = 700$  Ом – вхідний опір тензодатчика.

9. Для формування опорної напруги  $U_0$  будемо використовувати мікросхему  $78L12$ , яка представляє собою мікросхемний стабілізатор напруги на 12 В.

10. Для живлення тензодатчика будемо використовувати операційний підсилювач  $LM358$ , максимальний вихідний струм якого 40 мА, що більше ніж струм  $I_0$ .

### 4.3 Цифровий модуль вимірювача ваги відчепів

Цифровий модуль вимірювача ваги відчепів (рисунок 4.4) побудований на базі мікроконтролера  $PIC18F2682$ , який має вбудований десятирозрядний АЦП на вісім каналів та CAN-інтерфейс. Цифровий модуль також містить світлодіодний семисегментний індикатор із загальним анодом  $KL-4031-BSR$  та CAN-трансивер  $MCP2551$ .

Тактова частота мікроконтролера стабілізується за допомогою кварцевого резонатора Q1 на 8 МГц. Кнопка SA1, підключена до входу MCLR, забезпечує можливість апаратного скидання мікроконтролера.

Мікроконтролер PIC18F2682 має вбудований мультиплексор, вихід якого підключається до аналого-цифрового перетворювача. Сигнали тензодатчиків після підсилення передаються на входи мультиплексора AN0, AN1, AN2, AN3, AN4 та за допомогою АЦП по черзі перетворюються у цифрові двійкові комбінації. Для прийому сигналів від точкових колійних датчиків використовуються лінії RC0, RC1, RC2 мікроконтролера.

Світлодіодний індикатор використовується для відображення ваги відчепа. Використовується динамічна індикація. Мікроконтролер по черзі видає на інформаційні входи код для керування одним із розрядів індикатора, потім за допомогою транзисторних ключів VT1, VT2, VT3 подає напругу живлення +5В на відповідний розряд індикатора. Перемикання цифр відбувається з частотою більше ніж 25 Гц. Завдяки цьому, людське око не помічає ці перемикання і сприймає показання індикатора як неперервні.

Для перетворення рівня вихідних сигналів мікроконтролера в рівні, визначені CAN-протоколом, використовується CAN-трансивер MCP2551.

Мікроконтролер реалізує алгоритм, блок-схема якого представлена на (рисунок 4.4). За сигналами від точкових колійних датчиків фіксується знаходження візка на платформі вимірювання. Після обробки сигналів тензодатчиків визначається вага візка, а після проходження відчепа розраховується загальна вага всього відчепа. Отримане значення відображається на індикаторі та через CAN-мережу передається до системи АРШ.

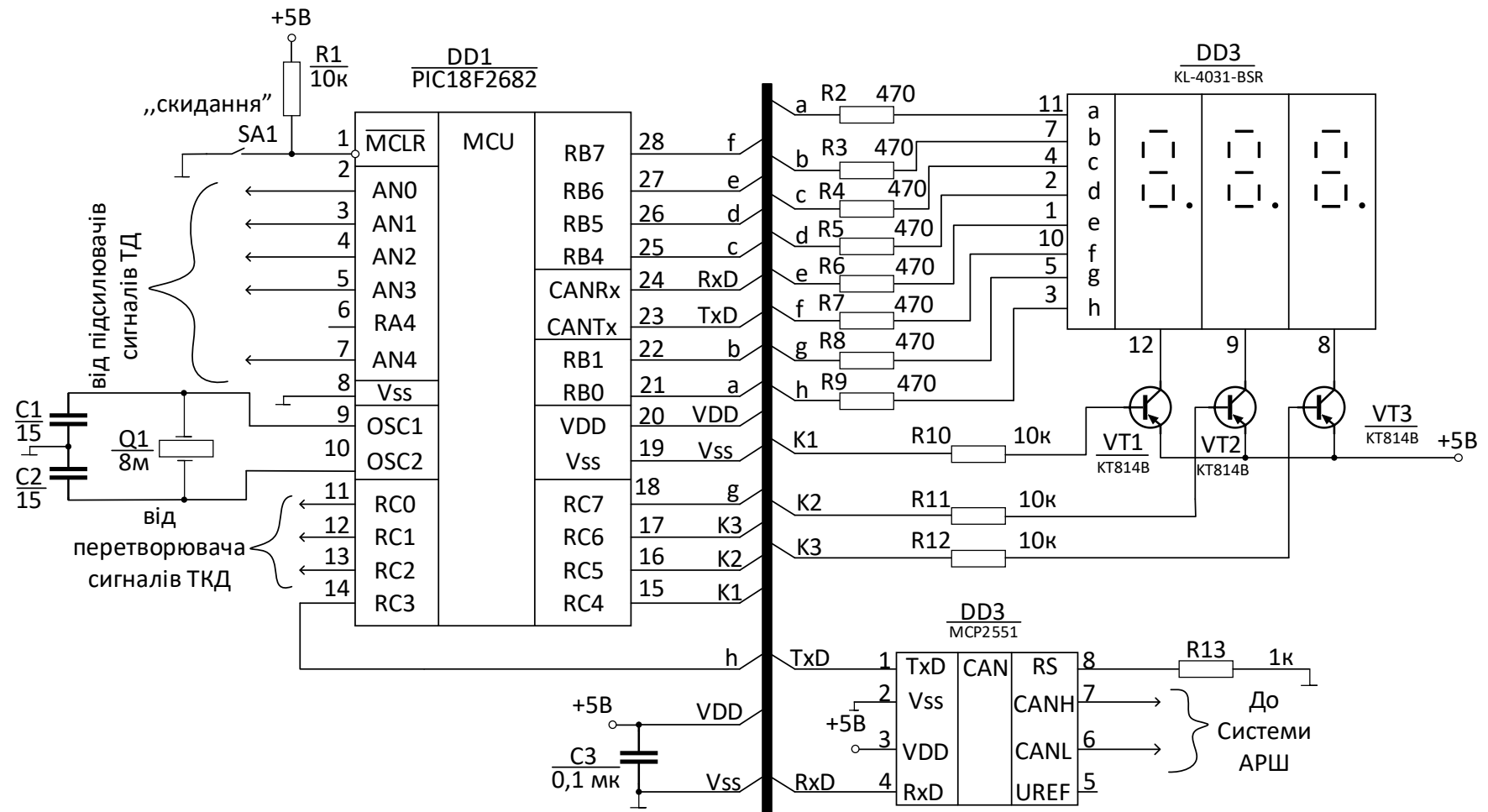


Рисунок 4.4 – Принципова електрична схема цифрового модуля вимірювача ваги відчепів (один канал)

#### 4.4 Висновки за розділом 4

В рамках даної роботи були розроблені структурні вузли вимірювача ваги відчепів: перетворювач сигналів ТКД, підсилювач сигналів тензодатчиків та цифровий модуль зі схемою індикації та CAN-трансивером.

Перетворювач датчика ДПД – 01 перетворює двополярний аналоговий вихідний сигнал датчика в стандартний цифровий сигнал, який передається до входу мікроконтролера.

Перетворювач містить наступні складові частини: вхідний підсилювач на базі операційного підсилювача; компаратори напруги; транзисторні оптрони; RS- тригер.

Підсилювач сигналів тензодатчика містить: джерело опорної напруги 12 В на базі інтегрального стабілізатора; повторювач напруги на базі операційного підсилювача; диференційний підсилювач на операційних підсилювачах; підсилювач-обмежувач на базі операційного підсилювача.

Підсилювач забезпечує збільшення вихідного сигналу при максимальному навантаженні двадцять тонн до рівня 5 В (максимального рівня напруги на вході аналого-цифрового перетворювача).

Цифровий модуль вимірювача ваги відчепів побудований на базі мікроконтролера PIC18F2682, який має вбудований десятирозрядний АЦП на вісім каналів та CAN-інтерфейс. Цифровий модуль також містить світлодіодний семисегментний індикатор із загальним анодом KL-4031-BSR та CAN-трансивер MCP2551.

Цифровий модуль за сигналами від точкових колійних датчиків фіксує знаходження візка на платформі вимірювання. Після обробки сигналів тензодатчиків визначається вага візка, а після проходження відчепа розраховується загальна вага всього відчепа. Отримане значення відображається на індикаторі та через CAN- мережу передається до системи АРШ.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для підвищення ефективності та безпеки сортувальної гірки використовуються різноманітні системи автоматики. Система автоматичного регулювання швидкості АРШ підтримує необхідні інтервали між відчепами, забезпечує необхідну дальність пробігу відчепів, а також безпечну швидкість їх зіштовхування з вагонами на сортувальних коліях сортувальної гірки. Ефективність системи АРШ багато в чому залежить від точності вимірювання ваги відчепів.

В рамках даної роботи був розроблений вимірювач ваги відчепів. В будові вимірювача ваги відчепів можна виділити такі структурні вузли: точкові колійні датчики, перетворювач сигналів від точкових колійних датчиків, вимірювальна платформа, тензометричні датчики, підсилювачі потужності вихідних сигналів тензодатчиків, мультиплексор, аналого-цифровий перетворювач, індикатор забезпечення відображення інформації про вагу відчепа, контролер для надійності результатів. Розроблений алгоритм роботи вимірювача ваги, який ґрунтується на циклічному отриманні, порівнянні та обробці даних, які надходять від колійних датчиків до системи АРШ. В залежності від ваги відчепа, система визначає ступінь гальмування відчепа для запобігання небезпечних ситуацій. Проведений аналіз існуючих первинних перетворювачів для вимірювання ваги відчепів, обґрунтовано вибір типу тензодатчиків та точкових колійних датчиків.

В дипломній роботі розроблені принципові електричні схеми та виконано розрахунок структурних вузлів вимірювача ваги: перетворювача сигналів ТКД, підсилювача сигналів тензодатчиків та цифрового модулю зі схемою індикації та CAN-трансивером.

Перетворювач містить наступні складові частини: вхідний підсилювач на базі операційного підсилювача; компаратори напруги; транзисторні оптрони; RS- тригер.

Підсилювач сигналів тензодатчика містить: джерело опорної напруги 12 В на базі інтегрального стабілізатора; повторювач напруги на базі операційного підсилювача; диференційний підсилювач на операційних підсилювачах; підсилювач-обмежувач на базі операційного підсилювача.

Підсилювач забезпечує збільшення вихідного сигналу при максимальному навантаженні двадцять тонн до рівня 5 В (максимального рівня напруги на вході аналого-цифрового перетворювача).

Цифровий модуль вимірювача ваги відчепів побудований на базі мікроконтролера PIC18F2682, який має вбудований десятирозрядний АЦП на вісім каналів та CAN-інтерфейс. Цифровий модуль також містить світлодіодний семисегментний індикатор із загальним анодом KL-4031-BSR та CAN-трансивер MCP2551.

Цифровий модуль за сигналами від точкових колійних датчиків фіксує знаходження візка на платформі вимірювання. Після обробки сигналів тензодатчиків визначається вага візка, а після проходження відчепа розраховується загальна вага всього відчепа. Отримане значення відображається на індикаторі та через CAN- мережу передається до системи АРШ.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Козаченко, Д. М. Організація роботи сортувальної станції [Текст]: навч. посібник для ВНЗ / Д. М. Козаченко, Р. Г. Коробйова, Ю. М. Германюк – Львів : СПОЛОМ, 2023. – 142 с.
2. Журавель, В. В. Аналіз досвіду використання технічних засобів сортувальних гірок [Текст] / В. В. Журавель, І. Л. Журавель // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 6. – С. 47-50.
3. Таранець О. І. Аналіз існуючих систем автоматизації процесу розформування рухомого складу [Електрон. ресурс] / О. І. Таранець – Дніпропетр. нац. ун-т залізн. Трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Режим доступу: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/7b5085b7-2134-475d-b707-87ae1d99d7f4/content>
4. Косолапов А. А. Системні характеристики автоматизованих сортувальних станцій [Електрон. ресурс] / А. А.Косолапов – Дніпропетр. нац. ун-т залізн. Трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Режим доступу: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6cb30a5a-88f1-4723-b019-f2e3f0d1e4ed/content>
5. Мойсеєнко В. І. Модернізація технічних засобів залізничної автоматики сортувальної станції [Електрон. ресурс] / В.І. Мойсеєнко, Б.В. Чегодаєв – Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Режим доступу: [https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/tht\\_141.pdf](https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/tht_141.pdf)
6. Сухостаєць А.В. Системи автоматичної ідентифікації рухомого складу на сортувальній гірці [Електрон. ресурс] / А. В. Сухостаєць, А. А.Клюев – Режим доступу: [https://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2012\\_5\\_20.pdf](https://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2012_5_20.pdf)
7. Колесник А.І. Оптимізація конструкції колійного розвитку сортувальних гірок малої потужності. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/>

8. Тензометр [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/>
9. ООО «ДСКТБ СКАТ» Датчик ДПД-01 [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://dsktb-scat.com/index.php/ua/>
10. Змій С. О. Розроблення точкового колійного датчика для визначення параметрів руху поїздів / С. О. Змій, І. Г. Воліченко, Р. В. Турчинов // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. - 2016. - № 11. - С. 73-75
11. Характеристика вантажних вагонів, платформ та контейнерів [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.metaljournal.com.ua/waggons/>
12. Крюківський вагонобудівельний завод. Каталог виробництва. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [https://www.kvsz.com/images/stories/doc/albom\\_teh\\_vozm\\_gruz2024ua.pdf](https://www.kvsz.com/images/stories/doc/albom_teh_vozm_gruz2024ua.pdf)
13. Вимірювач ваги [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/HM9B\\_Datasheet.pdf](https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/HM9B_Datasheet.pdf)
14. Тензодатчики [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/5>
15. Типи тензодатчиків, сфера застосування тензодатчиків. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://unipno.com.ua/ua/typy-tenrodatchyKiv-sfera-zastosuvannya-tenrodatchyKiv/>
16. CastroaF. G., SagazanaO., CoulonaN., CorberaA. H., Fassini D., Cramer J., BihanaF. L.  $\mu$ -Si strain gauge array on flexible substrate for dynamic pressure measurement // Sensors and Actuators A: Physical. - Univ Rennes, CNRS. – 2020. – V. 315. - P. 112–120
17. Fidrovska N., Slepuzhnikov E., Varchenko I. Preparation of tensoresistors and measuring equipment for experimental research // Norwegian Journal of development of the International Science. - Technical Sciences. 2020. -V. 1, № 45. P. 69–72.
18. Wheatstone bridge for strain gauges [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: <https://www.omega.com/en-us/resources/wheatstone-bridge>

19. Тензометричний датчик: види, принцип роботи і пристрій. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [https://hi-news.pp.ua/tehnka-tehnologyi/10814-tenzometrchniy-datchik-vidi-princip-roboti-pristry.html#google\\_vignette](https://hi-news.pp.ua/tehnka-tehnologyi/10814-tenzometrchniy-datchik-vidi-princip-roboti-pristry.html#google_vignette)
20. Ghimbaseanu I. Experimental research study on the use of a resistive tensometric// International Scientific Journal: Machines. Technologies. Materials. - Transilvania University of Brasov, Romania. - 2015. V. 1, №9. P. 44–47